

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

ESCUELA DE POSGRADO

MAESTRÍA EN CIENCIAS EN AGROECOLOGÍA

MENCIÓN GESTIÓN AMBIENTAL



**“ALMACENAMIENTO DE CARBONO EN EL SUELO DE LAS
UNIDADES FISIAGRÁFICAS DEL FUNDO CIPTALD – TULUMAYO,
TINGO MARÍA - HUÁNUCO”**

Tesis

para optar el título de

MAESTRO EN CIENCIAS EN AGROECOLOGÍA

MENCIÓN: GESTIÓN AMBIENTAL

PRESENTADO POR

VICTORIA CAROLINA DÁVILA CUEVA

Tingo María – Perú

2022



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



“AÑO DEL FORTALECIMIENTO DE LA SOBERANÍA NACIONAL”

ACTA DE SUSTENTACION DE TESIS
Nro. 016-UPG-FRNR-UNAS

En la ciudad universitaria, siendo las 06:00 p.m. del viernes 11 de noviembre de 2022, reunidos virtualmente vía Microsoft Teams, se instaló el Jurado Calificador a fin de proceder a la sustentación de la tesis titulada:

“ALMACENAMIENTO DE CARBONO EN EL SUELO DE LAS UNIDADES FISIOGRAFICAS DEL FUNDO CIPTALD - TULUMAYO, TINGO MARÍA - HUÁNUCO”

A cargo del candidato al Grado de Maestro en Ciencias en Agroecología, mención: Gestión Ambiental **VICTORIA CAROLINA, DAVILA CUEVA**.

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 7:15 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.

.....
Ing. MSc. JOSE LEVANO CRISOSTOMO
Presidente del Jurado

.....
Dr. WILFREDO ALVA VALDIVIEZO
Miembro del Jurado

.....
Ing. MS.c. VICTOR QUIROZ RAMIREZ
Miembro del Jurado

.....
Dr. LUCIO MANRIQUE DE LARA SUAREZ
Asesor



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

Correo: repositorio@unas.edu.pe



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

CERTIFICADO DE SIMILITUD T.I. N° 015 - 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
ALMACENAMIENTO DE CARBONO EN EL SUELO DE LAS UNIDADES FISIOGRAFICAS DEL FUNDO CIPTALD – TULUMAYO, TINGO MARÍA - HUÁNUCO	VICTORIA CAROLINA DÁVILA CUEVA	22% Veintidós

Tingo María, 27 de enero de 2023


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

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

ESCUELA DE POSGRADO

MAESTRÍA EN CIENCIAS EN AGROECOLOGÍA

MENCIÓN GESTIÓN AMBIENTAL



“ALMACENAMIENTO DE CARBONO EN EL SUELO DE LAS UNIDADES FISIAGRÁFICAS DEL FUNDO CIPTALD – TULUMAYO, TINGO MARÍA - HUÁNUCO”

Autor	: DÁVILA CUEVA, Victoria Carolina
Asesor	: Dr. MANRIQUE DE LARA SUAREZ, Lucio
Programa de investigación	: Ciencias básicas
Línea de investigación	: Física y química de suelos
Eje temático	: Almacenamiento de carbono en ecosistemas
Lugar de ejecución	: Tingo María
Duración	: 05 meses
Financiamiento	: Propio

Tingo María – Perú, 2023

DEDICATORIA

A Dios:

Divino creador de todo lo que existe, quien me dio la vida y me dotó de inteligencia para poder conseguir uno de mis mayores anhelos.

A mis padres:

Seres a quien debo la vida, por su cariño y Aprecio. María Elena Cueva Aquije y Aquiles Dávila Sánchez mi más profundo agradecimiento y eterna gratitud por sus consejos y esfuerzo para la culminación de mi carrera profesional.

A mi querido hijo:

Sebastián Gabriel Pavis Dávila, gracias a él, por ser mi motivación para la culminación de la presente investigación.

A los docentes:

Por la enseñanza que nos brindan y el ejemplo que representan para nuestra formación como profesionales.

AGRADECIMIENTOS

- A la Universidad Nacional Agraria de la Selva, que a través de la Escuela de posgrado ha permitido cristalizar uno de mis anhelos profesionales.
- A los catedráticos de la escuela de posgrado – UNAS, por su contribución en mi formación académica.
- A los miembros del jurado de tesis: Ing. M. Sc. José D. Lévano Crisóstomo, presidente, Dr. Wilfredo Alva Valdivieso e Ing. M. Sc. Víctor Quiroz Ramírez miembros del jurado, por sus invaluable aportes y revisión del presente trabajo de investigación.
- Al Dr. Lucio Manrique de Lara Suarez, asesor de la presente investigación, por su apoyo incondicional en el proyecto, ejecución y culminación.
- Al Ing. Alberto Fonseca Díaz, por el apoyo incondicional del presente trabajo de investigación hasta su publicación.
- A los colaboradores anónimos, que en estos momentos sus nombres escapan de mi memoria, pero los tengo en mi corazón.

ÍNDICE

	Pág.
I. INTRODUCCION	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
2.1. El carbono	4
2.1.1. Sumideros de carbono	4
2.1.2. El carbono orgánico del suelo (COS)	5
2.2. Ciclo del carbono	6
2.2.1. El ciclo del carbono en el suelo	7
2.2.2. El ciclo del carbono en un bosque	7
2.2.3. El ciclo del carbono en la hojarasca	8
2.3. Captura de carbono	8
2.3.1. Cálculo de reservas de COS	9
2.3.2. Cálculo de reservas de carbono en hojarasca y raíces	9
2.4. El cambio climático	10
2.4.1. Factores que causan el cambio climático	11
2.4.2. Factores que dificultan la solución al cambio climático.....	12
2.4.3. El impacto del cambio climático	13
2.4.4. Las medidas para combatir el cambio climático	14
2.4.5. Biodiversidad, bosques y cambio climático en América Latina y el Caribe.	15
2.5. Trabajos de investigación relacionados	16
III. MATERIALES Y MÉTODOS	20
3.1. Lugar de ejecución	20
3.1.1. Características climatológicas	20
3.1.2. Fisiografía.....	20
3.2. Material y métodos.....	21
3.2.1. Materiales y equipos	21
3.2.2. Metodología.....	21
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	28
4.1. Almacenamiento de carbono en hojarasca en las unidades fisiográficas del fundo CIPTALD - Tulumayo	28
4.2. Almacenamiento de carbono en las raíces en las unidades fisiográficas del fundo Tulumayo	30

4.3. Almacenamiento de carbono orgánico en los suelos en las unidades fisiográficas	32
4.4. Almacenamiento de carbono total en el suelo del fundo Tulumayo.....	34
V. CONCLUSIONES	38
VI. PROPUESTAS A FUTURO.....	39
VII. REFERENCIAS.....	40
ANEXO	49

INDICE DE TABLAS

Tabla	Pág.
1. Impacto potencial y riesgos del cambio climático en América Latina y el Caribe	13
2. Unidades fisiografías con sus respectivas áreas	20
3. Descripción de los tratamientos en estudio	22
4. Modelo del análisis de variancia	23
5. Puntos de muestreo en la investigación.....	24
6. Análisis de variancia (ANOVA) del contenido de carbono en hojarasca en las unidades fisiográficas (tC/ha) del fundo CIPTALD - Tulumayo	28
7. Valores máximos, mínimos y media del contenido de carbono en la hojarasca en las unidades fisiográficas (tC/ha) del fundo CIPTALD - Tulumayo.....	28
8. Prueba de Duncan ($\alpha=0.05$) del contenido de carbono en hojarasca en las unidades fisiográficas del fundo CIPTALD - Tulumayo	29
9. Análisis de variancia (ANOVA) del contenido de carbono en las raíces en las unidades fisiográficas (tC/ha) del fundo CIPTALD - Tulumayo	30
10. Valores máximos, mínimos y media del contenido de carbono en las raíces en las unidades fisiográficas (tC/ha) del fundo CIPTALD - Tulumayo.....	31
11. Prueba de Duncan ($\alpha=0.05$) del contenido de carbono en las raíces en las unidades fisiográficas del fundo CIPTALD - Tulumayo	31
12. Análisis de variancia (ANOVA) del contenido de carbono orgánico en el suelo en las unidades fisiográficas (tC/ha) del fundo CIPTALD - Tulumayo.....	33
13. Valores máximos, mínimos y media del contenido de orgánico en el suelo en las unidades fisiográficas (tC/ha) del fundo CIPTALD - Tulumayo	33
14. Prueba de Duncan ($\alpha=0.05$) del contenido de carbono orgánico del suelo en las unidades fisiográficas del fundo CIPTALD - Tulumayo	33
15. Análisis de variancia (ANOVA) del contenido de carbono total en el suelo de las unidades fisiográficas (tC/ha) del fundo CIPTALD - Tulumayo.....	35
16. Valores máximos, mínimos y media del contenido de carbono total en el suelo de las unidades fisiográficas (tC/ha) del fundo CIPTALD - Tulumayo.....	35
17. Prueba de Duncan ($\alpha=0.05$) del contenido de carbono total en el suelo de las unidades fisiográficas del fundo CIPTALD - Tulumayo	36
18. Biomasa de la hojarasca en la parcela 1	50
19. Biomasa de raíces en la parcela 1	51

20. Carbono en el suelo de la parcela 1	51
21. Biomasa de la hojarasca en la parcela 2	52
22. Biomasa de raíces en la parcela 2	53
23. Carbono en el suelo de la parcela 2	53
24. Biomasa de la hojarasca en la parcela 3	54
25. Biomasa de raíces en la parcela 3	55
26. Carbono en el suelo de la parcela 3	55
27. Biomasa de la hojarasca en la parcela 4	56
28. Biomasa de raíces en la parcela 4	57
29. Carbono en el suelo de la parcela 4	57
30. Biomasa de la hojarasca en la parcela 5	58
31. Biomasa de raíces en la parcela 5	59
32. Carbono en el suelo de la parcela 5	59
33. Biomasa de la hojarasca en la parcela 6	60
34. Biomasa de raíces en la parcela 6	61
35. Carbono en el suelo de la parcela 6	61
36. Biomasa de la hojarasca en la parcela 7	62
37. Biomasa de raíces en la parcela 7	63
38. Carbono en el suelo de la parcela 7	63
39. Biomasa de la hojarasca en la parcela 8	64
40. Biomasa de raíces en la parcela 8	65
41. Carbono en el suelo de la parcela 8	65
42. Biomasa de la hojarasca en la parcela 9	66
43. Biomasa de raíces en la parcela 9	67
44. Carbono en el suelo de la parcela 9	67
45. Biomasa de la hojarasca en la parcela 10	68
46. Biomasa de raíces en la parcela 10	69
47. Carbono en el suelo de la parcela 10	69
48. Biomasa de la hojarasca en la parcela 11	70
49. Biomasa de raíces en la parcela 11	71
50. Carbono en el suelo de la parcela 11	71
51. Biomasa de la hojarasca en la parcela 12	72
52. Biomasa de raíces en la parcela 12	73
53. Carbono en el suelo de la parcela 12	73

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Pág.
1. Esquema general de muestreo de la parcela	24
2. Contenido de carbono en hojarasca en las unidades fisiográficas del fundo CIPTALD - Tulumayo.....	29
3. Contenido de carbono en las raíces en las unidades fisiográficas del fundo CIPTALD - Tulumayo.....	32
4. Contenido de carbono orgánico en el suelo en las unidades fisiográficas del fundo CIPTALD - Tulumayo	34
5. Contenido de carbono total en el suelo del fundo CIPTALD - Tulumayo.....	36
6. Equipos y materiales utilizados durante el muestreo en el fundo CIPTALD – Tulumayo	74
7. Materiales utilizados en el trabajo de tesis en el fundo CIPTALD - Tulumayo	74
8. Delimitación de parcelas de muestreo en el fundo CIPTALD – Tulumayo.....	75
9. Delimitación de sub parcelas de muestreo en el fundo CIPTALD - Tulumayo.....	75
10. Determinación de carbono almacenado en hojarascas del fundo CIPTALD – Tulumayo	76
11. Realización de las calicatas de 0.30 m x 0.30 m x 0.30 m	76
12. Obtención de muestras para el cálculo de densidad aparente.....	77
13. Extracción de muestra de suelo de 500 gr aproximadamente.	77
14. Obtención de datos de carbono en hojarascas	78
15. Obtención de datos de carbono en raíces	78

RESUMEN

En el fundo Tulumayo – CIPTALD – UNAS, se determinó el almacenamiento de carbono en las unidades fisiográficas: Terraza alta con cobertura de pastos y arbustos, terraza media con pastos, terraza baja cubierta de vegetación de arroz, aguaje, cacao, cítricos, capirona y terraza baja no inundable con capirona, bolaina y purma. Se seleccionó tres parcelas de muestreo por cada unidad fisiográfica. La metodología empleada es la de MacDicken 1997 para las parcelas de muestreo y para el carbono en hojarasca, raíces y C orgánico del suelo la del ICRAF. Los resultados obtenidos nos muestran que el C almacenado en hojarasca es mayor en la terraza baja no inundable (3.48 tC/ha), debido a que hay mayor deposición de restos vegetales aéreos por la presencia de árboles y arbustos. El contenido de C en raíces, nos indican que la terraza media es la que acumula mayor C (30.65 tC/ha), como consecuencia de que esta unidad fisiográfica en su totalidad está cubierta de pasto Camerun cuyas raíces fuertes y rizomatosas que cubren toda la parte sub-superficial del suelo. La acumulación del C orgánico del suelo siguiendo la tendencia es la terraza media (32.01 tC/ha) todos los residuos vegetales de la vegetación al caer al suelo son sometidos a procesos de humificación por la humedad, microorganismos y temperatura induciendo a una alta tasa de descomposición de la materia orgánica del suelo propia de las zonas de selva. El almacenamiento total de C en el suelo de Tulumayo es en la terraza media con 63.97 tC/ha, lo que demuestra que el sistema de pastura coadyuva en el suelo en la capacidad de almacenar carbono y una potencial mitigación del cambio climático.

Palabras claves: Carbono, Unidades fisiográficas, almacenamiento de carbono.

The Storage of Carbon in the Soil of the Physiographical Units from the CIPTALD – Tulumayo Farm in Tingo Maria, Huanuco

Abstract

On the Tulumayo – CIPTALD – UNAS farm (acronyms in Spanish) the carbon storage was determined from the physiographical units: high plateau with grass and bush covering, middle plateau with grass, low plateau covered with vegetation of rice, aguaje, cacao, citric, and capirona, and non-floodable low plateau with capirona, bolaina, and purma. Three sample plots were selected for each physiographic unit. The methodology that was used was that of MacDicken 1997 for plot sampling, and for the carbon in the leaf litter, roots, and organic carbon in the soil, that of ICRAF was used. The results that were obtained showed that the stored carbon in the leaf litter was greater in the non-floodable low plateau (3.48 tC/ac), due to the fact that there are greater deposits of aerial vegetative waste due to the presence of trees and bushes. It was indicated that the middle plateau was where the greatest accumulation of carbon content in the roots was with (30.65 tC/ac), as a consequence of the fact that this physiographic unit is completely covered by Camerun grass, the roots of which are strong and rhizomatous, which cover all of the below the surface part of the soil. The [greatest] accumulation of the organic carbon in the soil, following the tendency, was in the middle plateau (32.01 tC/ac), [where] all of the vegetative waste from the vegetation are submitted to the humification process once they have fallen on the ground, due to the moisture, microorganisms, and temperature, thus inducing a high rate of decomposition of the organic matter in the very soil of the jungle zones. The total carbon storage in the soil in Tulumayo was in the middle plateau with 63.97 tC/ac, which reveals that the pasture system helps the soil in its capacity to store carbon and is a potential mitigator in climate change.

Keywords: carbon, physiographic units, carbon storage

I. INTRODUCCION

El Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC) ha estado reportando información desde el siglo XVII. Los registros muestran que la temperatura de la parte superficial del suelo ha sido casi el doble del promedio mundial desde la época preindustrial. El cambio climático, también el incremento de la ocurrencia y de la violencia de los fenómenos atmosféricos, ha ocasionado la reducción de la alimentación al perjudicar los cultivos y los ecosistemas de la tierra, y ha provocado la desertificación y el deterioro del suelo en varias regiones (IPCC, 2020).

En particular, el cambio climático amenaza la seguridad alimentaria, dado su impacto negativo en la agricultura. Se cree que tiene un impacto negativo en la agricultura, la ganadería y la pesca a través de la reducción de los rendimientos, la migración de organismos y la pérdida de servicios ecosistémicos, lo que se traduce en menores ingresos agrícolas y precios más altos de los productos agrícolas. Por lo tanto, el carbono orgánico del suelo (COS) ayuda a mitigar estos problemas y es parte de la solución al calentamiento global. Por esta razón, se deben implementar varios métodos de conservación recomendados para maximizar la atenuación y adaptarnos al cambio climático, incluida la productividad alimentaria (Lefèvre et al., 2017). Varios estudios han demostrado que las pérdidas de carbono orgánico del suelo (ocurren entre el 30% y el 50% del registro original, desde la introducción de nuevas tierras en la agricultura hasta establecer un sistema agrícola intensivo (Reicosky, 2002).

Por otro lado, los cambios en el uso del suelo pueden cambiar radicalmente la cobertura vegetal, provocando cambios en las propiedades físico-químicas y microbianas del suelo, incluso de manera temporal. La adición continua de materia orgánica en forma de mantillo reduce la densidad aparente y el deterioro y mejora la fertilización, la infiltración y la detención de agua; manteniendo así la biomasa de la planta (Huang *et al.*, 2006; Jia *et al.*, 2011). Asimismo, la pérdida de carbono del suelo, uno de los principales contribuyentes al cambio global, puede atribuirse a numerosos niveles de perturbación antropogénica directa o indirecta (Smith *et al.*, 2016). Por ejemplo, entre 2007 y 2016, las actividades relacionadas con la agricultura, la silvicultura y otros usos del suelo resultando alrededor del 13 % de las emisiones de dióxido de carbono, el 44 % de las emisiones de metano (CH₄) y el 10 % de las emisiones de óxido nitroso (N₂O). % es causado por actividades humanas en todo el mundo y representa el 23% de todas las emisiones antropogénicas de gases de efecto invernadero. Cuando se incluyen en el análisis las emisiones de las actividades previas y posteriores a la producción en el sistema alimentario mundial, se estima que las emisiones oscilan entre el 21 % y el 37 % son

la totalidad de las emisiones antropógenas de gases de efecto invernadero (IPCC, 2020). Sin embargo, vale la pena mencionar que las actividades que cambian el uso del suelo causan no solo emisiones sino también secuestros (Rootzén *et al.*, 2010).

Por lo tanto, en el contexto de acuerdos internacionales como la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), el Protocolo de Kioto y el Acuerdo de París, se recomienda que los niveles de emisiones antropógenas de gases de efecto invernadero se reporten de manera continua por medio de inventarios que requieran cambios en acciones; por lo tanto, es necesario cuantificar el nivel de carbono almacenado-secuestrado por diferentes gases de efecto invernadero. Es bien sabido que los sumideros más importantes de gases de efecto invernadero son los bosques y humedales, los cuales almacenan grandes cantidades de carbono en sus ecosistemas a través de la fotosíntesis, absorben dióxido de carbono de la atmósfera y luego lo almacenan en diversos componentes; sin embargo, debido a su secuestro de carbono en biomasa, material necrótico y suelo, incluyendo especies leñosas perennes en sistemas de uso de suelo como bosques, plantaciones y agrosilvicultura, contribuye a la mitigación del cambio climático, convirtiéndose en una de las alternativas más importantes para sumideros de CO₂ atmosférico. (Alvarado *et al.* 2013). Este proceso dependerá de la composición de especies que conforman el sistema de uso del suelo, los niveles de precipitación y temperatura como principales factores climáticos, y las propiedades del suelo que determinan el crecimiento y la edad de los árboles. En nuestro país, el Ministerio del Ambiente (MINAM) realizó el primer método de análisis de carbono a nivel nacional en el año 2014, el cual se enmarcó sistemáticamente de acuerdo al método propuesto por la CMNUCC; Asimismo, en los últimos años, algunas instituciones no gubernamentales y privadas, así como algunos gobiernos regionales y departamentos, han desarrollado iniciativas para cuantificar las reservas de carbono en diferentes regiones y tipos de bosques. Sin embargo, estas iniciativas son insuficientes y se implementan de forma aislada y fragmentada; la mejor experiencia es en las regiones de San Martín, Cuzco y Madre de Dios, donde diferentes agencias generan información local sobre bosques y reservas de carbono. Se coordina, sistematiza y luego transforma en almacenamiento de carbono a nivel regional.

Dada la escasez de estudios de cuantificación de carbono y la falta de experiencia en la región Huánuco así como el aumento del cambio de uso de suelo; este estudio evaluó el carbono almacenado en el suelo agrícola del Centro de Investigación y Producción Tulumayo - La Divisoria (CIPTALD) para comprender el impacto de los cambios en el uso de suelo mediante la siembra de diferentes cultivos (por ejemplo, pasto, cacao, plátano, maíz, arroz, aguaje, capirona , plantaciones forestales de bolaina y por tanto conocer el comportamiento de estos

cultivos durante el periodo en el que contribuyen a reducir las consecuencias negativas del cambio climático) y proponer las acciones correctoras oportunas teniendo en cuenta los resultados correspondientes. Para ello se planteó la pregunta de investigación ¿Cuál es el nivel de carbono almacenado en el suelo en la unidad física geográfica de la finca CIPTALD – Tulumayo?

Objetivo general:

1. Estimar el carbono almacenado en el suelo de las unidades fisiográficas del fundo CIPTALD – Tulumayo.

Objetivos específicos:

1. Determinar el contenido del carbono almacenado en la hojarasca del suelo en las unidades fisiográficas del CIPTALD - Tulumayo.
2. Determinar el contenido del carbono almacenado en las raíces del suelo en las unidades fisiográficas del CIPTALD - Tulumayo.
3. Determinar el contenido del carbono orgánico en el suelo en las unidades fisiográficas del CIPTALD - Tulumayo.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. El carbono

Es un elemento químico básico de los compuestos orgánicos, se le puede encontrar en el océano, la atmósfera, el suelo y en las profundidades de la tierra, se consideran depósitos de carbono (reservorios). El carbono se transfiere de un reservorio a otro a través de métodos químicos, físicos y biológicos. La atmósfera es el que presenta mucha movilidad y es el más pequeño de los reservorios del ciclo del carbono. Al mismo tiempo, cualquier cambio en este reservorio está estrechamente relacionado con los cambios en el ciclo global del carbono y el clima. La mayor parte del carbono de la atmósfera se encuentra en forma de dióxido de carbono (CO_2 , también conocido como dióxido de carbono). En menor medida, el carbono atmosférico se encuentra en forma de metano (CH_4), perfluorocarbonos (PFC) e hidrofluorocarbonos (HFC). Todos estos se consideran gases de efecto invernadero (GEI) y favorecen al equilibrio térmico de la Tierra. Cualquier actividad de uso de la tierra que altere la vegetación y la biomasa del suelo puede trastornar la suma de carbono almacenado y emitido a la atmósfera, afectando de manera directa la dinámica climática de la Tierra (Rügnitz *et al.*, 2009). Ordóñez y Masera (2001) indicaron que el dióxido de carbono es uno de los gases de efecto invernadero más trascendental y es el segundo gas de efecto invernadero más importante del mundo debido a los cambios de uso de suelo en la atmósfera.

2.1.1. Sumideros de carbono

Los sumideros de carbono o captadores de CO_2 absorben el carbono de la atmósfera y ayudan a disminuir la cantidad de CO_2 en el aire. Los depósitos más importantes son los procesos biológicos de carbón, petróleo, gas natural, hidrato de metano y piedra caliza. Hoy, el mar y ciertos ambientes vegetales (se están formando bosques) (Rivera, 2018). La vegetación actúa como sumidero de carbono (C) a través de su función vital más importante, la fotosíntesis. A través de esta función, todas las plantas absorben dióxido de carbono (CO_2), compensando así las pérdidas de este gas por la respiración y las emisiones de otros procesos naturales, como la desintegración de la materia orgánica (Carvajal *et al.*, p. f.). Los sistemas naturales de suelos son considerados uno de los principales sumideros de carbono que ayudan a la atenuación del cambio climático (Rojas *et al.*, 2018), debido a su enorme capacidad para almacenar y secuestrar carbono de la atmósfera, por lo que el páramo es un sistema estratégico de conservación nacional e internacional (Fernández *et al.*, 2019). Los bosques tropicales naturales también tienen una alta capacidad de absorción de carbono. Es significativo señalar que el contenido de carbono de estos sistemas aumenta con el aumento del tamaño de los

árboles. Además, los bosques en áreas naturales protegidas pueden almacenar 9,7 millones de toneladas de carbono al año (Vicuña *et al.* 2018).

Cuantitativamente, el océano es el sumidero de carbono más importante de la Tierra (Burbano, 2018). Los océanos son ecosistemas que almacenan grandes cantidades de carbono debido a que los microorganismos marinos como el fitoplancton capturan el dióxido de carbono disuelto en el agua para la fotosíntesis y lo convierten en carbono orgánico. De manera similar, otros organismos marinos usan dióxido de carbono para convertirlo en carbonato de calcio (CaCO_3) y lo integran en sus estructuras, de modo que más tarde en la vida estos organismos se hunden en el fondo del océano, permitiendo que el océano continúe absorbiendo dióxido de carbono de la atmósfera (Gaviria, 2011) El sistema océano-atmósfera permite que el océano almacene 1,7-1,9 Pg C/año (Martínez y Fernández, 2004).

2.1.2. El carbono orgánico del suelo (COS)

Los suelos son importantes sumideros de carbono, tanto fuentes como sumideros de dióxido de carbono atmosférico (CO_2), y por lo tanto juegan un papel importante en el cambio climático global (Llorente, 2004). El carbono acumulado en el suelo es casi tres veces más que el de la biomasa aérea y aproximadamente el doble que en la atmósfera (Eswaran *et al.*, 1993). Ante el cambio climático, la degradación de la tierra y la pérdida de biodiversidad, el suelo se ha transformado en uno de los recursos más frágiles del mundo (Lefèvre *et al.*, 2017). El carbono en el suelo se debe en gran parte a la descomposición de la biomasa como resultado de la actividad bacteriana. Parte del carbono del suelo se devuelve a la atmósfera por medio de la mineralización del carbono orgánico. Otra parte del carbono orgánico es transportado naturalmente por los ríos llegando así al mar, donde se acumula como carbonato (CO_3). El comportamiento humano también puede contribuir a este proceso. El intercambio de carbono entre los océanos y las reservas atmosféricas se produce a través de técnicas químicas que crean un equilibrio entre las concentraciones en la superficie del mar y en el aire sobre la superficie. La cantidad de CO_2 absorbida por el océano dependería de la temperatura del océano y de las concentraciones preexistentes, por lo que las temperaturas más altas del agua provocan emisiones de CO_2 (Rügnitz *et al.*, 2009).

El carbono orgánico del suelo (COS) es una pequeña parte del ciclo global del carbono, incluidos los ciclos del carbono en el suelo, la vegetación, los océanos y la atmósfera; se estimaría que los depósitos de COS almacenan 1500 PgC en el primer metro de suelo, que es mayor que la atmósfera (alrededor de 800 PgC) y la vegetación terrestre (500 PgC) combinadas (FAO y GTIS, 2015).

El COS es dinámico, pero los impactos antropogénicos en el suelo podrían transformarlo en un sumidero neto o fuente de gases de efecto invernadero (GEI). Se ha alcanzado un gran avance científico para comprender y explicar la dinámica del COS, pese a ello, la defensa y el monitoreo de los almacenamientos a nivel nacional y mundial aún afrontan retos complejos que dificultan el desarrollo y la consumación de políticas efectivas sobre el tema acondicionadas a las regiones. Cuando el carbono ingresa al suelo como material orgánico de la flora y la fauna del suelo, puede permanecer en el suelo durante décadas, siglos o incluso miles de años. De manera eventual, puede volver a liberarse a la atmósfera como CO_2 o CH_4 , como material erosionado o como carbono orgánico disuelto que fluye hacia los ríos y océanos. En la dinámica de estos procesos destacaría lo importante que es medir los flujos globales de carbono para maximizar los beneficios del COS para el bienestar de la humanidad, en la obtención de alimentos y al tener un equilibrio en el clima. El COS es el componente principal de la materia orgánica del suelo (MOS) (Lefèvre *et al.*, 2017).

2.2. Ciclo del carbono

Es un término que representa el flujo de carbono en la atmósfera, hidrosfera, biosfera terrestre y océanos (por ejemplo, como dióxido de carbono (CO_2), carbono en biomasa y carbonatos y bicarbonatos disueltos en el océano) y litosfera; La unidad de referencia del ciclo global del carbono es GtCO_2 o GtC (kilotoneladas de carbono = 1 GtC = 1015 gramos de carbono; esto pertenece a 3667 GtCO_2) (IPCC, 2019). El dióxido de carbono en la atmósfera representa aproximadamente el 71,5% de los gases de efecto invernadero de la Tierra. Las comunidades de plantas tienen la facultad de almacenar fotosintéticamente carbono en su biomasa aérea, que luego se absorbe en el suelo a través de la descomposición de la capa superior del suelo, formando un almacén de carbono en el suelo (Rojas *et al.*, 2019).

El ciclo del carbono capta el flujo de este elemento y los procesos fisicoquímicos y biológicos que controlan su movimiento en el sistema Tierra entre los diversos reservorios de la atmósfera, hidrosfera, biosfera, rizosfera y litosfera. El acopio es muy inestable, fluctuando entre 6250×10^{18} moles de carbono en las rocas sedimentarias actuales y $0,05 \times 10^{18}$ moles de carbono en la biosfera continental (Chivelet, 2010). El ciclo comienza con la adherencia del dióxido de carbono atmosférico a través de la fotosíntesis de las plantas y de ciertos microbios. En la fotosíntesis, el dióxido de carbono y el agua reaccionarían formando así carbohidratos mientras liberan oxígeno a la atmósfera, lo que convierte a la fotosíntesis en el nacimiento de casi todo el oxígeno de la atmósfera global (Bennington, 2009).

Algunos carbohidratos se toman claramente para proporcionar energía a la planta y el dióxido de carbono es liberado por medio de sus hojas o raíces. Otra porción sería

acabada por los animales, que también emiten dióxido de carbono durante el metabolismo. Los microbios del suelo finalmente descomponen las plantas y los animales, generando como resultado que el carbono de sus tejidos se transforme a dióxido de carbono y se devuelva a la atmósfera (Orellana *et al.*, 2012).

2.2.1. El ciclo del carbono en el suelo

El carbono orgánico es esencial para los seres vivos ya que es uno de los elementos más relevantes que nos conforma. Los autótrofos obtienen carbono del aire en forma de dióxido de carbono y lo convierten en carbono orgánico, por otro lado los heterótrofos obtienen carbono al comerse a otros seres vivos (Rattan, 2008). El carbono sale del entorno terrestre de diferentes formas y en diferentes grados de tiempo. La quema o respiración de carbono orgánico liberaría carbono de manera rápida a la atmósfera. También puede llevarse al mar por los ríos o dejarse en el suelo como carbón inerte. El carbono acumulado en la tierra podría persistir durante miles de años antes de ser movido a los ríos por la erosión o antes de liberarse a la atmósfera gracias al proceso de respiración del suelo (Serrato *et al.*, 2014). Entre 1989 y 2008, la respiración del suelo se incrementó en más o menos un 0,1 % anual (Bond y Thomson, 2010).

Según Serrato *et al.* (2014), la cantidad total de dióxido de carbono se libera alcanzó alrededor de 98 mil millones de toneladas en 2008, que es aproximadamente 10 veces más que el carbono que las personas liberan a la atmósfera cada año. No se sabe con claridad porque ocurre esto, pero es más factible que sea porque las temperaturas más cálidas aumentan la tasa de descomposición de la materia orgánica del suelo, lo que aumenta los flujos de dióxido de carbono. El tiempo que tarda en suceder el secuestro de carbono en el suelo dependería de la condición climática local, es por esto, que cambiaría con el cambio climático.

2.2.2. El ciclo del carbono en un bosque

El ciclo del carbono depende del almacenamiento y la transferencia de moléculas de carbono elemental entre la atmósfera, la biosfera, la litosfera y el océano. Si pretendemos aprender este ciclo, lo más significativo es comprender las diferencias entre las existencias de carbono y los flujos de carbono (Honorio y Baker, 2010). Los bosques de Wisconsin y Carolina del Norte, por ejemplo, almacenan cerca de 104 gigatoneladas de carbono y han sido una de las mayores preguntas del cambio climático. Una vez que la tierra agrícola es ahora uno de los sumideros de carbono beneficiosos del planeta, que contiene casi 26 mil millones de toneladas. Esto a los climatólogos les preocupa que los árboles y el suelo puedan ser una fuente y no un sumidero de emisiones de gases de efecto invernadero (Hopkins *et al.*, 2012).

2.2.3. El ciclo del carbono en la hojarasca

La hojarasca se caracteriza por sus restos de plantas frescas que no se descomponen y son fácilmente identificables (por especie y tipo). Podría estar compuesta por hojas, conos, coníferas, ramitas, cortezas, semillas, nueces, tallos u órganos reproductivos (como los estambres de las plantas con flores). Las que tienen un diámetro mayor a 2 cm se denominan lecho grueso y las de menor tamaño se denominan mantillo fino o mantillo. Los tipos de desechos se ven más específicamente afectados por la clase de ecosistema, siendo un ejemplo, el tejido de las hojas que representa alrededor del 70 % de los desechos forestales, mientras que los residuos de madera se suelen incrementar con la edad del bosque (Londsdale, 1988 citado por Serrato *et al.*, 2008). De igual manera muchos guías conceptuales suelen distinguir entre tres formas de materia orgánica, materia orgánica del suelo activa y fácil de degradarse (materia orgánica lábil), sustancias húmicas que actúan de manera lenta y las que actúan de manera pasiva, suelen ser denominadas rebeldes. Estas fuentes recogen materia orgánica en estado fresco (basura) de entradas de desechos y también de retornos microbianos y de incendios. La basura y las sustancias húmicas que resultan son degradadas por una gran parte de microorganismos, incluidos principalmente bacterias, hongos y la meso y macrofauna del suelo. Esta actividad microbiana está relacionada con la respiración microbiana y la posterior liberación de CO₂ del suelo y la estructura química de la materia orgánica del suelo (MOS) (Kutsch *et al.*, 2009).

La descomposición o mineralización de los residuos orgánicos por parte de los microorganismos del suelo representa claramente una actividad de oxidación. El residuo orgánico después de la oxidación es el humus, un importante contribuyente a la capacidad de intercambio catiónico (CIC) de los suelos, oscuro y definido como una sustancia coloidal heterogénea (Burés, 2004; Casanova, 2005; Corbella y Fernández, 2006). La materia orgánica del suelo se origina en la hojarasca de la superficie y de las raíces, por lo que está más presente cerca de la superficie que en los suelos más profundos. La mayor parte del carbono y el nitrógeno está presente en los 30 a 50 cm superiores del suelo. Siendo esto muy relevante cuando se habla de manejo forestal, ya que estos centímetros contienen la capa superior del suelo más susceptible a daños durante el aprovechamiento y manejo forestal (Ecoplexity, 2010).

2.3. Captura de carbono

El secuestro de carbono es la absorción y la acumulación de CO₂ presente en la atmósfera en los bosques y otras tipologías de vegetación por medio de procesos físicos o biológicos. La fotosíntesis es clave en este suceso ya que usa el CO₂ como materia prima para los mecanismos de mantención, crecimiento y para la etapa reproductiva de las plantas. La

degeneración, conversión o el usar la tierra para la agricultura reduce el área total de la superficie foliar. Esto significa un secuestro de CO₂ mucho menor en comparación con el bosque original (citado por Panhwar, 1996; Ramírez, 2015). En el bosque, el secuestro de carbono no se limita a las fracciones aéreas de los árboles, sino que se extiende a las raíces y al suelo mismo, que pueden acumular cantidades significativas durante tiempos muy largos. Aun así, cantidades significativas de carbono permanecen almacenadas en suelos y raíces (Freitas, 1998). La medición de las reservas de carbono de los hábitats, especialmente los bosques, es esencial para comprender la correlación entre el cambio de uso de la tierra y las emisiones de carbono (Ryan *et al.*, 2011).

2.3.1. Cálculo de reservas de carbono orgánico en el suelo (COS)

Las existencias de carbono orgánico en el suelo se calculan multiplicando la fracción de carbono orgánico (es decir, %C en masa dividido por 100) por el incremento de profundidad, la densidad aparente (DA) y el incremento de profundidad sin fragmentos gruesos (es decir, fragmentos de menos de 2 mm). La proporción de suciedad gruesa se basa en la masa (es decir, masa de suelo sin residuos gruesos/masa total de suelo). Sin embargo, según el tipo de suelo, las existencias de COS se calculan utilizando diferentes parámetros. En general, la determinación de las existencias en turba y suelos orgánicos es muy difícil, el cálculo de las reservas de C en la turba requiere conocer el volumen (área) de la turba (y el tipo de turba), la profundidad de la turba, el % de C y la DA, que son difíciles de obtener (ITPS, 2016; Lefevre *et al.*, 2017).

2.3.2. Cálculo de reservas de carbono en hojarasca y raíces

La biomasa forestal es definida como la masa de materia orgánica, o una estimación equivalente, presente en un ecosistema forestal determinado por arriba y por debajo del suelo. Generalmente se mide en toneladas por hectárea de peso crudo o seco. Suele estar dividida en varias partes, la característica de las cuales que más corresponde al volumen de tallos, ramas, hojas, corteza, raíces, hojarasca y madera muerta. La biomasa aérea del componente leñoso se llama biomasa aérea y la biomasa asociada a la rizósfera del árbol se denomina biomasa subterránea (Rodríguez, 2013). La biomasa muerta es un componente que puede constituir una parte importante, y la medición de este componente dependerá de las circunstancias y objetivos específicos de cada proyecto. La madera muerta en pie tiene diversos grados de descomposición que deben tenerse en cuenta al estimar la biomasa y el carbono (Cisneros *et al.*, 2021). Especial para medir hojas caídas, como madera caída con $d < 2,5$ cm y otros materiales frágiles que yacen en el suelo (hojas, flores, etc.), estructura de PVC, madera o metal 0,25 m² (0,50 x 0,50) cm. necesario) adentro de la zona importante y cosechar todos

los materiales que se encuentren en ella. Si el material es muy abundante, recójalo todo, péselo "fresco" en el sitio con balanzas portátiles y tome una submuestra de unos 250 g. Esta submuestra se transportó al laboratorio y se secó en estufa hasta peso constante. Si el total de material es inferior a 1 kg, se recoge y se lleva al laboratorio para su secado completo y pesado. Pero, la basura generalmente no es una parte importantísima de los ecosistemas de manglares y puede ignorarse en los inventarios, ya que se ha descubierto que constituye solo el 0,02 % de la biomasa total (BIOMARCC, 2012).

Asimismo, un aspecto a considerar al momento de calcular la biomasa de los árboles es que sus componentes (tallos, ramas, hojas, flores, frutos, follaje y raíces subterráneas) se incluyen en los datos utilizados para construir la ecuación alométrica. Con pocas excepciones, la mayoría de los estudios disponibles mencionados anteriormente se han centrado en la biomasa aérea debido a los enormes desafíos logísticos que implica la recolección de la biomasa de raíces subterráneas en los manglares. Esto significa que se deben usar ecuaciones alométricas separadas para las partes aéreas (tallos, ramas, hojas, con raíces) y subterráneas (raíces subterráneas) de cada árbol para estimar la biomasa total de un árbol y luego se deben sumar los resultados parciales (Cifuentes *et al.*, 2018).

Muchos estudios han utilizado la biomasa leñosa para evaluar su contenido de carbono multiplicando el total utilizable en un área definida por un factor de 0,40 a 0,55 (Figueroa *et al.*, 2005). Es el tamaño de carbono que contiene toda especie vegetal (Díaz *et al.*, 2007). Según Husch (2001), para valorar la biomasa del sistema forestal y, por ello, la cantidad de carbono se necesita hacer: inventario de árboles en pie (vivos o muertos), medición de la parte vegetal no leñosa, estimación de la biomasa muerta (material necrótico) y determinación de raíces y biomasa en el suelo.

2.4. El cambio climático

El artículo 1 de la Convención Marco sobre el Cambio Climático (FCCC) aclara que "cambio climático" como el cambio climático relacionado directa o indirectamente con la acción humana que perturba la constitución de la atmósfera global y aumenta la probabilidad de que se observe un cambio climático en periodos de tiempo comparables. El Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés) se refiere a estos como cambios identificables en el estado del clima (por ejemplo, mediante análisis estadístico) causados por cambios medios y variabilidad en las propiedades del clima que persisten durante largos períodos de tiempo, generalmente una década o más en algunas criptas. (Díaz, 2012). Sin embargo, Miller (2007) argumenta que el cambio climático global se referiría a los cambios en toda variación del clima de la Tierra, como la temperatura, la cantidad e intensidad de lluvia

y la trayectoria de las tormentas. El bienestar y, en algunos casos, la supervivencia de gran parte de la humanidad se ve amenazada por el impacto ambiental de los patrones de desarrollo imperantes. El cambio climático es uno de los mayores desafíos que enfrentamos hoy porque amenaza los recursos compartidos del mundo: la atmósfera, los océanos, las regiones polares y la biodiversidad. El cambio climático más allá de los rangos sostenibles de temperatura y precipitación y los cambios en la composición de la atmósfera amenazan toda la vida en la tierra y en el mar. La certeza del calentamiento global es clara. Una de las principales causas de este fenómeno es el incremento de la concentración de gases de efecto invernadero provocado por las actividades humanas, especialmente la quema de combustibles fósiles y los cambios de uso del suelo. El cambio climático se manifiesta principalmente como un incremento de la temperatura media mundial, cambios en las precipitaciones, acrecentamiento del nivel del mar a largo plazo, disminución de la criósfera e engrandecimiento de los fenómenos climáticos extremos. Estos cambios han tenido impactos significativos en la actividad económica, en la comodidad del sector social y en el de los hábitats. Por ello, la más importante causa de la variación climática – las emisiones de gases de efecto invernadero– es un efecto global negativo, el más grande defecto de mercado jamás registrada (Bárcena *et al.*, 2020).

2.4.1. Factores que causan el cambio climático

Miller (2007) afirmó que los elementos que perturban la temperatura promedio de nuestro planeta y el cambio climático son las variaciones irregulares del mar, el impacto en las nubes, las emisiones de aerosoles en la atmósfera, el acrecentamiento de las emisiones de dióxido de carbono, el gas metano y el hidrato de metano. También cambios en los reflejos del suelo y cambios en los campos magnéticos externos. El autor señala que otros componentes incluyen la contaminación del aire, las variaciones en los casquetes polares, los niveles de vapor de agua y la cubierta de nubes, y la cantidad de energía solar que llega a nuestro planeta.

Por el contrario, la Cumbre de Poznań en Polonia en 2008 concluyó que el cambio climático fue causado por el uso de combustibles fósiles para emitir gases de efecto invernadero. El informe del IPCC también acentúa que el nacimiento del cambio climático son tanto naturales como provocadas por el hombre. Hay varias emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), concentraciones atmosféricas, allanamiento radiactivo, respuestas climáticas e impactos climáticos. El mayor aumento de las emisiones de gases de efecto invernadero entre 1970 y 2004 provino de la energía, el transporte y la industria, seguidos de la vivienda y el comercio, la silvicultura (comprendiendo la deforestación) y la agricultura. La actividad humana produce cuatro emisiones de gases de efecto invernadero a largo plazo: dióxido de carbono, metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O) y halógenos (un grupo de gases que

presentan flúor, cloro o bromo). Los modelos revelan un nivel de dióxido de carbono del 56,5% (Díaz, 2012).

2.4.2. Factores que dificultan la solución al cambio climático

El fenómeno del cambio climático tiene cuatro características que lo hacen difícil de abordar, especialmente en los países en vías de desarrollo, especialmente en América Latina y el Caribe (CEPAL, 2015):

- i) *Incongruencia del tiempo.* El cambio climático es un proceso cuyo impacto total se sentirá a largo plazo. Sin embargo, si bien los impactos son difíciles de cuantificar, existe una creciente conciencia de que sus soluciones requieren una acción inmediata y se centran tanto en los procesos de mitigación como de adaptación.
- ii) *Desigualdad básica entre emisiones y vulnerabilidad.* América Latina y el Caribe en conjunto representarían solo el 8,3% de las emisiones globales, Sin embargo la región es vulnerable al cambio climático gracias a sus particularidades geográficas, climáticas, socioeconómicas y demográficas. Por ejemplo, sus valores naturales como los bosques y la biodiversidad son muy sensibles a tales cambios. En 2050, se estima que los costos económicos del cambio climático en la región estarán entre el 1,5 % y el 5 % del producto interno bruto (PIB) regional actual, debido a la pérdida combinada de agricultura y energía hidroeléctrica y la propagación de enfermedades. Eventos medios y extremos y otros componentes disruptivos. Este efecto es no lineal y variado en subregiones y períodos (en los extremos del cono sur, incluso se puede esperar un efecto positivo en algunos períodos).
- iii) *Asimetría dentro de los países.* También existe asimetría a nivel nacional, lo que unido al punto anterior genera una doble desigualdad. En general, los pobres son más frágiles a las consecuencias negativas del cambio climático y contribuyen menos a las emisiones internas de gases de efecto invernadero que los grupos de altos ingresos. Este es el resultado de patrones de consumismo de combustibles fósiles segmentados y altamente diferenciados.
- iv) *La forzosa y urgente adaptación.* Dada la frecuente ocurrencia de eventos climáticos excesivos y el recorrido de los emitidos gases de efecto invernadero que podrían conducir a un incremento de la temperatura de al menos 2°C en el siglo XXI, es necesario la implementación de técnicas de arreglo para disminuir los perjuicios que se esperan. Pero, la adaptación

presentaría limitaciones, enfrentaría obstáculos y podría ser ineficaz: presentarían perjuicios que quedarán y algunos definitivos que estarán presentes en el futuro, estos generarían gastos de manera adicional. La adaptación podría conducir a tomar acciones para mejorar las situaciones sociales y ambientales en la región, como el control de la deforestación, la protección de la biodiversidad, el aumento de la capacidad de adaptación de la actividad económica y la protección de construcciones críticas. Esta obligación debe verse como una fuerza impulsora para una mejora más sostenible.

2.4.3. El impacto del cambio climático

Los impactos del cambio climático son significativos, no lineales y heterogéneos (incluso con unas consecuencias positivas en la agricultura en la parte sur del continente) y es posible que aumenten. Por ejemplo, hay evidencias de impactos en actividades agrícolas, agua, biodiversidad, nivel del mar, bosques, turismo, salud y áreas urbanas (Magrin *et al.*, 2014; Galindo *et al.*, 2014). La estimación de varias investigaciones revela que el impacto se acrecentará de manera exponencial con el incremento de la temperatura (Nordhaus y Moffat, 2017): un incremento de la temperatura de 2 °C a 3 °C reduciría el PIB mundial en aproximadamente un 1,5 %, y el impacto variaría de un país a otro (Bárcena *et al.*, 2020).

Los canales a través de los cuales se transmiten los impactos del cambio climático son muy diversos y podrían ocasionar posibles consecuencias accidentales o de retroalimentación (CEPAL, 2015). La siguiente tabla resume algunas de estas influencias:

Tabla 1. Impacto potencial y riesgos del cambio climático en América Latina y el Caribe

Impacto	Riesgos claves	Impulsores climáticos
Agricultura	La producción y la calidad de los alimentos y los ingresos están disminuyendo, los gastos están aumentando	<ul style="list-style-type: none"> - Aumento de temperatura y eventos extremos - Precipitaciones inestables fuera del rango biológico y eventos extremos - Fertilizantes al aumentar la presencia de dióxido de carbono
Agua	Disminución de la disponibilidad de agua en regiones semiáridas que dependen del derretimiento de los glaciares; inundaciones en áreas rurales y urbanas asociadas con lluvias extremas	<ul style="list-style-type: none"> - Tendencia a aumentar la temperatura - expuesto a la sequía - cubierto con nieve - incremento de las precipitaciones

Biodiversidad y bosques	Pérdida de bosques, blanqueamiento de corales, disminución de la biodiversidad y servicios ecosistémicos	<ul style="list-style-type: none"> - La deforestación aumentó - Fertilizante al aumentar la concentración de dióxido de carbono. - Tendencia a aumentar la temperatura - Acidificación oceánica
Salud	Propagación de enfermedades transmitidas por vectores a mayores altitudes y latitudes que en su distribución original	<ul style="list-style-type: none"> - Aumento de la temperatura - Incremento de las precipitaciones
Turismo	Perjuicio de las construcciones, incremento del nivel del mar, presencia de especies perjudiciales y alteración de los climas en zonas costeras	<ul style="list-style-type: none"> - elevación del nivel del mar - Temperaturas exageradas - Precipitaciones exageradas generando inundaciones
Pobreza	Reducción de los ingresos económicos de la población frágil, primordialmente los agricultores, y engrandecimiento de la diferencia de ingresos económicos.	<ul style="list-style-type: none"> - Incremento de la temperatura y de los incidentes intensos - Propensión a la sequía - Precipitación diferente o fuera de la necesidad fisiológica de los cultivos

Fuente: Tomado de Bárcena *et al.* (2020)

2.4.4. Las medidas para combatir el cambio climático

Los científicos y economistas dicen que los estudios relacionados al calentamiento global y el potencial del cambio climático no brindarán la seguridad que los políticos quieren porque el clima global es tremendamente extenso. Esta actitud fomenta el uso de estrategias preventivas (Díaz, 2012). Es más seguro tomar precauciones informales hasta que haya suficiente conocimiento científico que justificarían estas acciones. ¿Cuáles son estas medidas? Ciertos investigadores han sugerido incrementar el uso de energía nuclear, gas natural y eliminar las contribuciones gubernativas a los combustibles fósiles. Además, disminuir la deforestación mediante la implementación de programas globales de reforestación; perfeccionar la eficacia energética, migrar a energías renovables, adoptar una agricultura sostenible, plantar y mantener árboles y limpiar chimeneas y tubos de escape de los automóviles (Miller, 2007).

En el informe sobre el desarrollo de la nación 2007-2008, en el 2008, se destacó que el reto climático del siglo XXI es estabilizarse en 550 ppm de CO₂, lo que incrementaría la probabilidad de superar el umbral al 80%. Esto sugiere que los escenarios que se han proyectado para el siglo XXI apuntaban a un posible equilibrio del dióxido de carbono

en más de 750 ppm, con posibles variaciones de temperatura de más de 5 °C. También, el desarrollo de un cuadro legal multilateral para impedir un cambio en el clima que sea perjudicial en el contexto del Protocolo de Kioto después del 2012 es una de las prioridades para lograr este objetivo. Otra medida es llegar a estabilizar la presencia de dióxido de carbono en la atmósfera en 450 ppm (cuyo coste se estima en el 1,6% del PIB medio mundial en 2030). Asimismo, un informe del IPCC de 1995 indicó que para mantener los niveles de CO₂ en los valores actuales, las emisiones globales de CO₂ deberían reducirse en un 66-83% (Díaz, 2012). En este contexto, Enger y Smith (2006) argumentan que el enfoque para resolver el cambio climático implicaría cambiar la tecnología, así como la voluntad política y la situación económica.

2.4.5. Biodiversidad, bosques y cambio climático en América Latina y el Caribe

Diversos autores refieren que en América Latina y el Caribe presentan una diversidad de climas y ecosistemas que generan mucha diversidad biológica. Se ha reconocido 178 regiones ecológicas que representarían más del 50% de la biodiversidad del globo terrestre. Así también, en la región se encuentra el 21% de las ecorregiones terrestres, el 22% de las de agua dulce y el 16% de las marítimas (Uribe, 2014), así como los ambientes del 40% de las especies de flora y fauna del mundo (Galindo *et al.*, 2017). Aproximadamente el 25% y el 50% de las especies de América Latina y el Caribe son endémicas y son especialmente vulnerables a las consecuencias del cambio climático por las dificultades para obtener mayor adaptabilidad a diversos hábitats (IPCC, 2002; Herzog *et al.*, 2011). Asimismo, según la FAO existe un gran patrimonio forestal integrado por 935 millones de hectáreas de bosques, que en 2015 representaban el 23% de la totalidad en el mundo su superficie se reduce gracias al cambio de uso del suelo. El 47% de los bosques eran primarios, lo que era equivalente al 34% de los bosques primarios de nuestro planeta.

Las consecuencias negativas del cambio climático en la biodiversidad de la región son explicadas por la vulnerabilidad de los ecosistemas y las dificultades que enfrentan las especies para enfrentarse a las nuevas condiciones climáticas (Magrin *et al.*, 2014). Es por esto que se esperan resultados negativos para las poblaciones que dependerían del sector agrícola, la pesca y el turismo, que requieren que los recursos biológicos y ecosistémicos se atesoren. En la región se hallan 5 de los 20 países del mundo donde hay mayor abundancia de especies de fauna amenazadas (Brasil, Colombia, Ecuador, México y Perú), y 7 de los 20 presentan un mayor número de especies de plantas amenazadas (Brasil, Colombia, Cuba, Jamaica, México, Panamá y Perú) (PNUMA, 2010). Esto significa que la biodiversidad ya es frágil en la región y está siendo amenazada por la pérdida del hábitat y la sobreexplotación de

las especies, sumándose como consecuencia del cambio climático sobre la biomasa (Bárcena *et al.*, 2020). Por ejemplo, el cambio en el uso de la tierra ha contribuido al cambio climático, exacerbado por procedimientos como la deforestación, que afectan fuertemente a seis puntos críticos de pérdida de biodiversidad: América Central, la Ecorregión Terrestre Prioritaria Chocó-Darién-Ecuador Occidental, los Andes Tropicales, Chile Central, el Océano Atlántico Brasileño y el Cerrado Brasileño (Mittermeier *et al.*, 2007).). 2005). Como resultado de la deforestación, la selva amazónica podría superar un umbral crítico que causaría daños irreversibles a la biodiversidad, dado el incremento de las temperaturas y el permuta de las precipitaciones (IPCC, 2014). Como resultado, el cambio climático se apresurará la extinción de especies de plantas y animales, degradará los ecosistemas y se acrecentará la pérdida de los bienes y servicios que ofrecen. Los ecosistemas ya afectados negativamente por las actividades humanas sufrirán aún más (Bárcena *et al.*, 2020).

2.5. Trabajos de investigación relacionados

En la Reserva Indígena de Talamanca, Costa Rica, Ortiz y Riascos (2006) realizaron un estudio de 25 años en el que los sistemas de laurel y cacao acumularon de 43 a 62 t C/ha, el 80 del carbono total secuestrado en la biomasa, y el laurel representó el 85 %. Estos resultados son consistentes con los de otro estudio realizado en Talamanca, que encontró niveles de carbono en plantaciones de cacao cultivadas en colinas y valles o terrazas entre 42 y 61 t/ha (Segura, 2005). De manera similar, Albrecht y Kandji (2003) reportan existencias de carbono similares de 39 a 102 t C/ha en procedimientos forestales en regiones de baja humedad de América del Sur y de 10,6 a 10,6 en cafetales asociados con *Eucalyptus deglupta*. Mostrado desde 12,6 t C/ha en 4 y 10 años correspondientemente, al igual que Ávila *et al.* (2001), quienes indican que los sistemas cacao-laurel fijaron entre 1,7 y 2,5 t C/ha/año durante 25 años, mientras que Segura (2005) halló que las plantaciones de cacao tenían niveles equivalentes de acumulación de C, de 2,1 a 2,8 t/ha/año, 100-150 árboles/ha.

Muhammad *et al.* (2006) en su estudio tuvo como objetivo valorar la acumulación de carbono orgánico en el suelo y la biomasa de los árboles para otros usos de la tierra en paisajes de pastoreo en Colombia, Costa Rica y Nicaragua para comprender el impacto de los sistemas agroforestales en la mitigación del aumento de dióxido de carbono atmosférico en el clima global. A nivel del suelo, los pastos degradados en Costa Rica y Nicaragua tuvieron valores más bajos de COS a 1 m de profundidad, mientras que no se hallaron diferencias significativas en el COS entre los otros usos de suelo estimados. En Colombia no se hallaron diferencias significativas en el COS entre los usos de suelo analizados a nivel de suelo.

Ruiz (2010) determinó el contenido de carbono del suelo a otras elevaciones en el Parque Nacional Tingo María, y los resultados especificaron que la acumulación total de carbono en el suelo a diferentes elevaciones fue de 1162,55 MTn, siendo la elevación con el mayor almacenamiento de carbono estaba entre 1350-1450 msnm (303,94 MTn de carbono); el carbono en la hojarasca fue de 9,44 MTn en total, con la reserva más grande a una altura de 1350–1450 m (2,24 MTn de carbono). Se registró un total de 347,026 MTn de suelo en las raíces, siendo el mayor almacenamiento entre 1150-1250 m sobre el nivel del mar (67212 MTn de C); finalmente, el carbono total almacenado en el Parque Nacional Tingo María es de 1 518 516 M Tn.

Herrera (2011) en su trabajo determinó el nivel de carbono secuestrado en sistemas agroforestales de cacao guapa y cacao bolena; 4 y 4-5 años) parcelas determinadas por la cantidad de carbono acumulado en plantas de cacao (*Theobroma cacao* L.), guayaba (*Inga edulis* Mart.), bolaín (*Guazuma crinita* Lam.), suelos con diferente contenido de carbono, hojarasca y biomasa aérea de arbustos, carbono del suelo y carbono total en SAF. Los autores mencionan que el sistema agroforestal cacao-guaba tiene mayores reservas de carbono en la etapa de plantación, con edades de 2-3, 3-4 y 4-5 años promediando 39,00, 43,75 y 62,11 ton C/ha, mientras que el cacao de Bolen-sistema agroforestal en plantaciones de la misma edad alcanzó 33,99, 40,62 y 51,41 t C/ha. Considerando las especies, en el sistema forestal cacao-guayaba: Cacao: 6,78; 8,32 y 9,68 t C/ha a la edad de 2-3, 3-4 y 4-5 años (total de cacao y nivel de raíz); guayaba: 17,94; 24,31 y 40,36 t C/ha; por otro lado, en el sistema agroforestal cacao-bolaina alcanzó 5,36; 6,72 y 8,58 t C/ha; y bolaína 15,22; 20,21 y 29,48 t C/ha de la misma edad.

Bringas (2011) para establecer la cuanto de carbono acumulado hay en la biomasa aérea del sistema agroforestal Tingo María y bosques secundarios comparando la cantidad de carbono acumulado en diferentes componentes de la laurisilva cacao y bosques secundarios del SAF. almacenado en SAF cacao laureles y bosque Comparar carbono acumulado en biomasa aérea en los años 9, 10 y 11, comparar estimaciones de carbono almacenado en SAF cacao laureles con bosques secundarios en los años 9, 10 y 11 y determinar estimaciones económicas con SAF cacao y bosques secundarios . Los resultados mostraron que a la edad de 9 años, el almacenamiento de carbono total de laureles de cacao en SAF fue mayor - 114,51 t.ha⁻¹, mientras que en el bosque secundario - 110,56 t.ha⁻¹; mientras que bosque a los 11 años fue mayor, 198,25 t.ha⁻¹, mientras que el SAF cacao laurel fue menor, 152,34 t.ha⁻¹; la contribución promedio del suelo al carbono total en diferentes sistemas fue de 59,3%, mientras que el bosque secundario y SAF fue de 50,2%.

Mesijas (2014) en su trabajo trató de determinar cuánto de carbono almacenado hay en la biomasa aérea biológica de componentes leñosos, arbustivos y herbáceos en la unidad geomórfica BRUNAS – Tingo María. Calculado por la ecuación alométrica, se determinó que el almacenamiento biológico de aire total promedio estimado es de $109,97 \pm 25,42 \text{ t.ha}^{-1}$, dividido en montañas bajas ($91,98 \text{ t.ha}^{-1}$), montañas altas ($160,15 \text{ t.ha}^{-1}$) y en las montañas ($77,7 \text{ t.ha}^{-1}$), para determinar la composición de árboles ($100,40 \text{ t.ha}^{-1}$), arbustos ($8,51 \text{ t.ha}^{-1}$) y hierbas ($1,06 \text{ t.ha}^{-1}$) y finalmente para determinar el stock de biomasa aérea viva el contenido de carbono osciló entre 12 057,49 y 17 579,22 t C con un coeficiente de variación de 40,05%.

En su trabajo, Machuca (2014) propone una medida para estimar el stock de carbono acumulado en cuatro sistemas ganaderos: sistemas de pastoreo natural convencional (*Axonopus compressus*), sistemas silvopastoriles de pastoreo natural (*Axonopus compressus*), sistemas tradicionales con pastoreo mejorado (*Brachiaria brizantha*) y un sistema de pastoreo mejorado (*Brachiaria brizantha*) ubicado en el distrito de Iskosacsin Palcazú; Los resultados mostraron que el contenido de carbono del sistema de pastos naturales ($54,12 \text{ tC/ha}$) fue mayor que el del sistema tradicional de pastos mejorados ($49,69 \text{ tC/ha}$), mientras que el contenido de carbono del sistema tradicional de pastos naturales ($32,02 \text{ tC/ha}$) fue menor que el carbono subterráneo. Se concluyó que los sistemas silvopastoriles con pastos naturales tienen un mayor potencial de almacenamiento de carbono que los otros tres sistemas ganaderos.

Bardales (2015) estudió tres cultivos de naranja, guayaba y bambú en Tingo María para estimar el carbono del suelo y la repartición espacial de las características físicas y químicas de desiguales cultivos en la microcuenca del río Suptes; los resultados mostraron que la reserva promedio de carbono en suelo fue de $35,99 \text{ tc/ha}$ para naranja, $41,55 \text{ tc/ha}$ para guayaba y $30,39 \text{ tc/ha}$ para bambú; asimismo, la acumulación promedio de carbono en las raíces de los cultivos de naranja fue de $0,20 \text{ t/ha}$, de los cultivos de guayaba de $0,19 \text{ t/ha}$ del cultivo de bambú y de $2,62 \text{ t/ha}$ del cultivo de bambú; finalmente, la reserva de carbono promedio en la hojarasca de los cultivos de naranja fue de $118,67 \text{ t/ha}$, $212,83 \text{ t/ha}$ para la guayaba y $480,33 \text{ t/ha}$ para el bambú.

Quiñonez (2019) se propuso determinar el secuestro de carbono en biomasa seca, suelo y provecho de semilla para dos ecotipos de *Plukenetia volubilis* L. a cuatro densidades de plantas; los autores informan que el secuestro de carbono de hojas, tallos, frutos y la biomasa seca de raíces no afectaron a los ecotipos Pinto Recodo y Alto Mayo después de evaluar por 12 meses. Sin embargo, la densidad de plantas tuvo un efecto significativo con 1666 pl.ha^{-1} , y el ecotipo Pinto Recodo fue la mezcla con la mayor cantidad de secuestro de carbono, con un total

de 2,47 tC.ha⁻¹. El peor resultado para el ecotipo Pinto Recodo fue de 952 pl.ha⁻¹, secuestrando solo 1,38 tC.ha⁻¹ de carbono en biomasa seca.

Cóndor (2019) tuvo como objetivo evaluar el contenido de materia orgánica en suelo en diferentes unidades geográficas de BRUNAS - Tingo María. Sus resultados describen que la unidad de terreno montañoso almacenó 101,26 t/ha de carbono orgánico acumulado; alta montaña clase 2 fue de 95,64 t/ha; alta montaña clase 1 fue de 91,04 t/ha; Low hill grado 2 fue de 90,88 t/ha y low hill grado 185,75 t/ha. La estimación del carbono orgánico por capas sucesivas mostró que la profundidad no influyó en el secuestro de carbono del suelo. Los autores concluyeron que las unidades geográficas no pueden inferir la tasa de acumulación de carbono en los suelos.

En su estudio, Zavala y Vega (2021) tuvieron como objetivo determinar el efecto de la edad de siembra del cacao (*Theobroma cacao* L) en la captación y en la acumulación de carbono en la biomasa de cacao, el suelo y las especies forestales en sistemas agroforestales. Los autores concluyeron que los sistemas forestales de más de 16 años tenían la mayor acumulación total de carbono con 344,24 t C/ha, seguidos de los sistemas de 8 a 16 años y menos de 8 años con 178,61 y 154,91 t C/ha, correspondientemente. Asimismo, en la agrosilvicultura, para los sistemas de más de 16 años, el mayor almacenamiento de biomasa aérea fue de 285,16 t C/ha, seguido de los sistemas agroforestales de 8 a 16 años con 116,23 t C/ha, mientras que la mínima emisión de dióxido de carbono en el aire fue en los sistemas agroforestales de menos de 8 años donde se registra una biomasa de almacenamiento presentada de 88,75 t C/ha.

En un estudio realizado por Nieto (2015) en Tingo María, se determinaron las propiedades químicas y el carbono orgánico acumulado en el suelo en tres sistemas de uso de la tierra: café bajo sombra de guayaba (*Coffea arabica* L. *edulis* Mart.), café sin sombra y sistemas forestales; los resultados obtenidos especificaron que los sistemas CBS y CSS adquirieron mayor concentración de COS (respectivamente 81,30 y 71,53 t C/ha) que fueron comparables a las obtenidas con menores contenidos de COS (respectivamente 40,42 t C/ha). El sistema SSP fue estadísticamente diferente. En CBS, el COS estuvo altamente correlacionado con MO y N (0,96 y 0,95, respectivamente); El sistema CSS replicó el comportamiento anterior (0,99 para ambas propiedades); mientras que la MO mostró una alta correlación (0,82) en el sistema SSP, K₂O se obtuvo solo en este sistema con una correlación (0,55) con COS.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Lugar de ejecución

Este estudio se realizó en el CIPTALD - Tulumayo, Universidad Nacional Agraria de la Selva (UNAS), ubicada en la margen derecha del río Huallaga en el distrito de Pueblo Nuevo, provincia de Leoncio Prado, región de Huánuco; sus coordenadas UTM son:

Este (m) : 385814
Norte (m) : 8990862
Altitud (m.s.n.m.) : 607

El estudio abarcó un área de intervención de 448,83 hectáreas; las muestras obtenidas fueron analizadas en el Laboratorio de Protección de Suelos de la Facultad de Recursos Naturales Renovables de la UNAS.

3.1.1. Características climatológicas

El área de prueba está ubicada en la zona de vida bosque tropical extremadamente húmedo (Bmh-t), el clima en el área es cálido y húmedo, la precipitación anual es de 3000 mm, la temperatura promedio anual es de 26 °C (Observatorio Meteorológico FRNR).

3.1.2. Fisiografía

Prepare un mapa topográfico o un mapa base, descargue el mapa marítimo nacional y obtenga la cuadrícula de elevación y pendiente compatible con el software ArcGIS, donde la cuadrícula de pendiente se divide en 8 intervalos y la cuadrícula de elevación se divide en 4 intervalos. Usando la herramienta Calculadora de ráster de superposición para crear un nuevo ráster (mapa geográfico) con las categorías apropiadas asignadas y luego convertirlo en polígonos para el diseño de mapas en ArcGIS. Se preparó un mapa geográfico de Tulumayo identificando cuatro unidades geográficas y sus respectivas regiones (Tabla 2).

Tabla 2. Unidades fisiográficas con sus respectivas áreas

Unidad fisiográfica	Área
Terraza alta (Ta)	110,33 ha
Terraza media (Tm)	133,45 ha
Terraza baja (Tb)	86,27 ha
Terraza baja no inundable (Tbni)	118,78 ha

Fuente: Elaboración propia

3.1.2.1. Terraza alta (Ta)

Están conformados por las tierras con topografía de 2 – 8 %, suelos no tan profundos, capa orgánica en poco estado de descomposición.

3.1.2.2. Terraza media (Tm)

Conformados por tierras de pendiente de 2- 4%, compuesto por suelos de textura fina fundamentalmente arcilloso con deficientemente drenaje.

3.1.2.3. Terraza baja (Tb)

Presentan topografía plana están formados por tierras desarrolladas por degradación aluvial de material fino, dificultosamente se llegan a inundar

3.1.2.4. Terraza baja no inundable (Tbni)

Lo conforman tierras que están conformadas por expulsión aluvial de material fino, es muy difícil que se inunden.

3.2. Material y métodos

3.2.1. Materiales y equipos

Materiales y herramientas utilizadas en este estudio: cuadrado de madera de 0,5 m x 0,5 m, rafia, bolsas de plantas para almacenamiento de muestras, papel kraft, marcadores permanentes, cuadernos, estacas, machetes, martillos, palas, cabrestante de 50 m, cilindro de muestreo, alcance de 2 mm. También se utilizaron equipos adicionales: GPS, cámara digital, horno, balanza analítica y espectrofotómetro de absorción atómica.

3.2.2. Metodología

La metodología de este estudio tiene en cuenta las diferentes etapas (campo, campo, laboratorio y oficina), el establecimiento de parcelas de muestreo en las unidades geográficas físicas determinadas en el área de investigación; para ello se identificaron las siguientes variables, se utilizó el siguiente diseño estadístico y los siguientes procedimientos:

3.2.2.1. Tipo de investigación

Teniendo en cuenta el propósito, las preguntas y los objetivos del estudio, se trata de un estudio descriptivo no experimental, ya que se realizó sin manipulación deliberada de variables y se registró el fenómeno en su forma natural para su posterior análisis a partir de los datos recopilados. Nuevamente, esto es prospectivo ya que los datos requeridos para el estudio se recopilan para el propósito del estudio.

3.2.2.2. Variables en estudio

La toma de muestras de hojarasca, raíces y suelo de diferentes unidades fisiográficas como unidades experimentales arroja las siguientes variables

a. Variable independiente

- Unidades fisiográficas

b. Variable dependiente

- Contenido de carbono en la hojarasca
- Contenido de carbono en las raíces
- Contenido de carbono en el suelo

3.2.2.3. Tratamientos en estudio

Los tratamientos en la presente investigación estuvieron representados por las unidades fisiográficas identificados durante el análisis de las curvas de nivel del área en estudio; así se tiene:

Tabla 3. Descripción de los tratamientos en estudio

Clave	Tratamiento
T ₁	Terraza alta (Ta)
T ₂	Terraza media (Tm)
T ₃	Terraza baja (Tb)
T ₄	Terraza baja no inundable (Tbni)

Fuente: Elaboración propia

3.2.2.4. Diseño experimental

El estudio se realizó de acuerdo a un diseño no experimental, por ser un estudio premeditado que se configuro de acuerdo a la percepción y descripción del comportamiento de los contenidos naturales de carbono en los elementos vitales de las unidades fisiográficas del CIPTALD - Tulumayo de la Universidad Nacional Agraria de la Selva. El estudio no tuvo en cuenta el control de factores libres; nuevamente, las inferencias sobre las relaciones entre los factores se hicieron sin intervención ni efectos directos, y estas inferencias se encontraron en el entorno natural.

3.2.2.5. Análisis estadístico

Actualmente se utiliza un enfoque completamente aleatorizado (DCA), considerando cuatro tratamientos correspondientes a cada unidad de terreno (mesa alta, mesa media, mesa baja, mesa baja no inundable), cada uno considerando tres oportunidades de recreación (parcelas) diferentes.

El modelo de adición lineal utilizada es el siguiente:

$$Y_{ij} = \mu + S_i + e_{ij}$$

Donde:

- Y_{ij} : Variable respuesta en la j-ésima repetición de la i-ésima unidad fisiográfica
- μ : Media general de las observaciones.
- S_i : Efecto de la i-ésima unidad fisiográfica
- e_{ij} : Error aleatorio.

Este análisis utilizó el software de análisis estadístico IBM SPSS Statistics 22, versión en español, para encontrar el análisis de varianza (F. tab. = 0,01 y 0,05) (Cuadro 2); nuevamente, se utilizó la prueba de Shapiro-Wilks para los procedimientos que mostraron normalidad de la información; finalmente, las diferencias de medias se determinaron mediante la prueba de Duncan ($\alpha = 0,05$).

Tabla 4. Modelo del análisis de variancia

Fuente de variación	GL	CM	F Cal.	F Tab.
Tratamientos	t-1	$SC_{\text{trat}}/gl_{\text{trat}} = CM_{\text{trat}}$	$CM_{\text{trat}}/CM_{\text{ee}}$	$F_{\alpha}(gl_{\text{trat}}, gl_{\text{ee}})$
Error experimental	(t)*(b-1)	$SC_{\text{ee}}/gl_{\text{ee}} = CM_{\text{ee}}$		
Total	(t*b) - 1			

t = tratamientos; b = repetición

Posteriormente, los resultados se demostraron en tablas de frecuencias con sus histogramas por cada unidad fisiográfica y sus respectivos estadísticos.

3.2.2.6. Ejecución del experimento

a. Estratificación del área

Se elaboró el mapa base o fisiográfico del área en estudio para establecer las parcelas de muestreo.

b. Diseño de muestreo

Se delimitaron tres (03) parcelas de muestreo de 500 m² (50 x 10 m) por cada unidad fisiográfica identificada; dentro de ellas se establecieron sub parcelas de 50 x 5 m; para el muestreo del carbono contenido en la hojarasca se ubicaron 10 parcelas de 5 x 5m (Schlegel *et al.*, 2001; MacDicken, 1997).

Durante el muestreo del carbono en el suelo y raíces se ubicó una parcela de 25 x 10m en la que se establecieron dos (02) parcelas de 1 m² ubicadas al azar, el muestreo se realizó hasta una profundidad de 30 cm, en rangos de 0 - 10 cm; 10 - 20 cm y 20 - 30 cm. (Arévalo *et al.*, 2003).

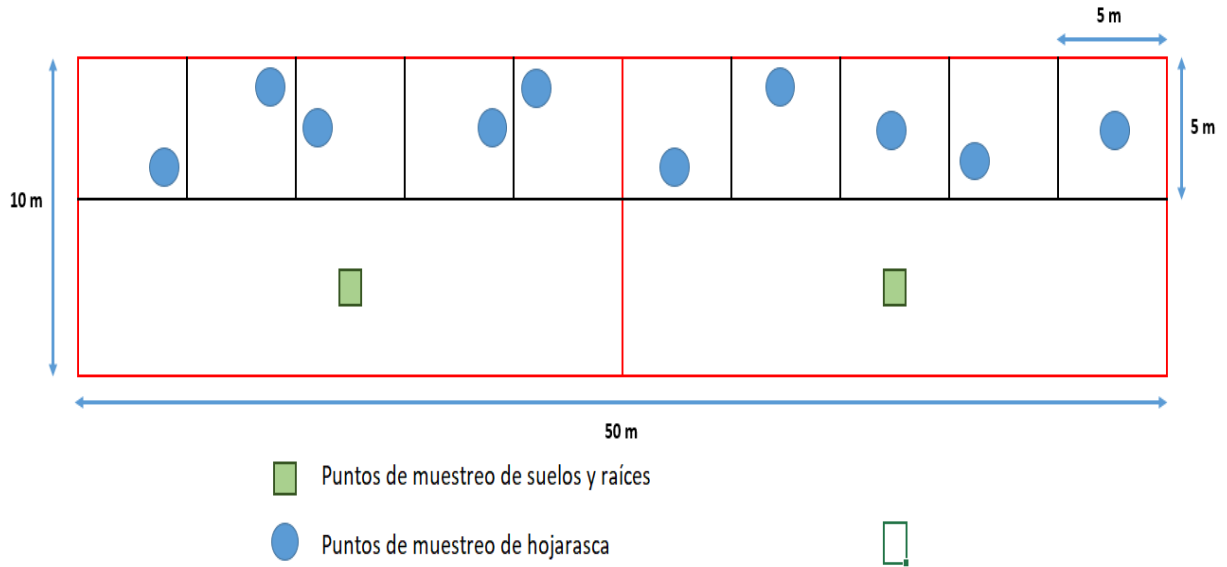


Figura 1. Esquema general de muestreo de la parcela

c. Delimitación de parcelas de muestreo

El método utilizado para apreciar la biomasa de hojarasca, raíces y suelo se basa en la propuesta del Centro Internacional de Investigación Agroforestal (Rügnitz et al., 2009). Se delimitaron doce parcelas y sus centroides tenían las siguientes coordenadas UTM (Tabla 4):

Tabla 5. Puntos de muestreo en la investigación

Unidad fisiográfica	Coordenadas UTM (WGS-84)		Altitud (msnm)
	Este (m)	Norte (m)	
Terraza alta	385398	8991840	609
	386612	8990488	609
	386693	8990641	609
Terraza media	385303	8991628	608
	385329	8991452	607
	386562	8990408	606
Terraza baja	385612	8991116	605
	385329	8990814	606
	385501	8990408	606
Terraza baja no inundable	385798	8989680	585
	385752	8990231	592
	386110	8989926	602

Fuente: Elaboración propia

d. Determinación del carbono almacenado en la hojarasca del suelo

➤ Obtención de la muestra de hojarasca

El procedimiento del muestreo radicó en recolectar de manera manual todo el material vegetal que estuviera ubicado adentro del cuadrante de área de 0,25 m² (0,50 x 0,50 m), se trabajó de forma aleatoria dentro de la sub-parcela temporal de 5 x 5 m (MacDicken, 1997); por esto, se colectó la hojarasca, ramitas y material leñoso menores a 4 cm de largo.

➤ Obtención de datos de carbono en hojarasca

La hojarasca húmeda fue pesada, posteriormente fue secada en una estufa a 70 °C por 48 horas aproximadamente, hasta obtener un peso constante. Una vez seca, la muestra fue pesada nuevamente para obtener el peso seco y calcular por diferencia de pesos la biomasa (Rügnitz *et al.*, 2009).

➤ Cálculos para la obtención de carbono almacenado en hojarascas

Para la determinación de carbono almacenado en la hojarasca se empleó la fórmula planteada por el Rügnitz *et al.* (2009):

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

$$CH = \text{Biomasa de hojarasca} * \left(\frac{t}{ha}\right) * 0.50$$

Donde:

CH = Carbono en hojarasca

0.50 = Valor propuesto por IPCC

e. Determinación del carbono almacenado en las raíces del suelo

➤ Obtención de la muestra de raíces

Para el muestreo de carbono almacenado en raíces se tuvo en cuenta la metodología planteada por el Centro Mundial Agroforestal (Rügnitz *et al.*, 2009). En las calicatas de 0.30 m x 0.30 m x 0.30 m de profundidad se consiguieron muestras, en diferentes profundidades como: la de 0 - 0,1 m; 0,1 - 0,2 m y 0,2 - 0,3 m, luego fueron almacenadas en bolsas plásticas para luego ir a laboratorio para su análisis.

➤ Obtención de datos de carbono en raíces

Las muestras de las profundidades fueron lavadas y tamizadas para separar las raíces y lograr el peso húmedo pasar luego a secado en la estufa a 70 °C por 48 horas (hasta conseguir un peso invariable), una vez conseguido el peso invariable, se pesó nuevamente la materia seca, y así se obtuvo la biomasa por diferencia de pesos.

➤ **Cálculo para el carbono almacenado en raíces**

Para el carbono almacenado en las raíces se usó la fórmula propuesta por el Rüginitz *et al.* (2009).

Biomasa = Peso húmedo de raíces – peso seco de raíces

$$CH = \text{Biomasa de raíces} * \left(\frac{t}{ha}\right) * 0.50$$

Donde:

CH = Carbono en raíces

0.50 = Valor propuesto por IPCC

f. Determinación del carbono orgánico en el suelo

➤ **Obtención de la muestra de suelo**

En la parcela de 5 x 50 metros se eligieron al azar dos (02) sub parcelas de 1 m² para efectuar las calicatas de 0,30 m x 0,30 m x 0,30 m de profundidad; las profundidades de muestreo fueron de: 0 - 0,1 m; 0,1 - 0,2 m y 0,2 - 0,3 m se extrajo una muestra de suelo de 500 gr aproximadamente por cada nivel de profundidad (Rüginitz *et al.*, 2009).

➤ **Obtención de muestras para el cálculo de densidad aparente**

Se insertó un cilindro de volumen conocido para muestrear el carbono orgánico del suelo usando un martillo; se tuvo cuidado de no dañar la muestra contenida en el mismo y se transportó al laboratorio para su análisis (MacDicken, 1997).

➤ **Obtención de datos de carbono almacenado en el suelo**

Para el cálculo del carbono acumulado en el suelo, se utilizó el método de Walkley y Black. Para obtener la densidad aparente se empleó la metodología propuesta por el Centro Mundial Agroforestal (Rüginitz *et al.*, 2009), las muestras conseguidas para la determinación de la densidad aparente pasaron por la estufa a una temperatura de 70 °C por 48 horas.

➤ **Cálculo para la obtención de carbono orgánico almacenado en el suelo**

Para determinar la presencia de carbono orgánico acumulado en el suelo, se empleó la fórmula propuesta por Walkley y Black (1938):

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

Donde:

COS = Carbono orgánico de suelos (t/ha)

%CO = 0.58 x %MO (Walkley y Black, 1938)

Da = Densidad aparente (g/cm³)

Ps = Profundidad del suelo (cm)

El contenido de carbono se reporta en kg/ha y transformado a ton/ha para su respectivo análisis de resultados.

➤ **Cálculos para “determinar la densidad aparente del suelo**

Para la determinación de la densidad aparente se usó las fórmulas propuestas por MacDicken (1997) y Rüginitz *et al.* (2009):

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

$$Da = W/V$$

Donde:

W = Peso (g)

V = Volumen (cm³)

π = 3.1416, valor constante

r = radio del cilindro (cm)

h = altura del cilindro (cm)

Da = densidad aparente (g/cm³)

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Almacenamiento de carbono en hojarasca en las unidades fisiográficas del fundo CIPTALD - Tulumayo

El análisis de varianza ($\alpha=0,05$) de la cantidad de carbono en la hojarasca en las unidades fisiográficas del fundo CIPTALD - Tulumayo, el cual detalla que, existen diferencias significativas entre las unidades, es decir, al menos una de las fisiografías identificadas registra niveles de C estadísticamente distintos (Tabla 6).

Tabla 6. Análisis de variancia (ANOVA) del contenido de carbono en hojarasca en las unidades fisiográficas (tC/ha) del fundo CIPTALD - Tulumayo

Fuentes de variación	SC	GL	CM	Fc	P-valor
Unidades fisiográficas	13,57	3	4,523	6,43	*
Error	5,628	8	0,704		
Total	19,198	11			

NS: No significativo al 5%

* Diferencia significativa al 5%

** Alta diferencia significativa al 5%

A continuación se muestra los principales estadísticos del carbono en la hojarasca; en ese sentido, se tiene que, el máximo valor está en la terraza baja no inundable con 4,47 tC/ha, en contraste, el mínimo registro se tiene en la terraza media con 0,62 tC/ha; asimismo, en relación a los valores medios se tiene 3,48 tC/ha y 0,89 tC/ha para la terraza “baja no inundable” y “alta” respectivamente (Tabla 7).

Tabla 7. Valores máximos, mínimos y media de la cantidad de carbono en la hojarasca en las unidades fisiográficas (tC/ha) del fundo CIPTALD - Tulumayo

Unidad fisiográfica	N	Mínimo	Máximo	Media	Error	Desviación estándar	CV (%)
Terraza alta	3	0,77	1,09	0,89	0,1	0,17	19,27
Terraza media	3	0,62	2,4	1,31	0,55	0,95	72,56
Terraza baja	3	2,31	3,54	2,85	0,36	0,63	22,12
Terraza baja no inundable	3	2,12	4,47	3,48	0,7	1,22	34,99
Total	12	0,62	4,47	2,13	0,38	1,32	

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a la prueba de Duncan, dada la existencia de diferencias significativas, existen dos grupos sub-homogéneos que agrupan tratamientos estadísticamente idénticos; el mayor valor se registra en la ‘terrazza baja no inundable’ con 3,48 tC//ha, teniéndose que, los territorios usados como plantaciones de capirona y bolaina, purma y maíz tienen mayor capacidad de almacenamiento; la relación se da también en la unidad ‘terrazza baja’ con 2,85 tC/ha, en contraste los menores valores se notan en las unidades que representan territorios de purma y pastizales (Tabla 8 y Figura 2).

Tabla 8. Prueba de Duncan ($\alpha=0.05$) del contenido de carbono en hojarasca en las unidades fisiográficas del fundo CIPTALD - Tulumayo

Mérito	Unidad fisiográfica	N	Media (tC/ha)	Significación
1	Terraza baja no inundable	3	3,48	a
2	Terraza baja	3	2,85	ab
3	Terraza media	3	1,31	ab
4	Terraza alta	3	0,89	b

Fuente: Elaboración propia

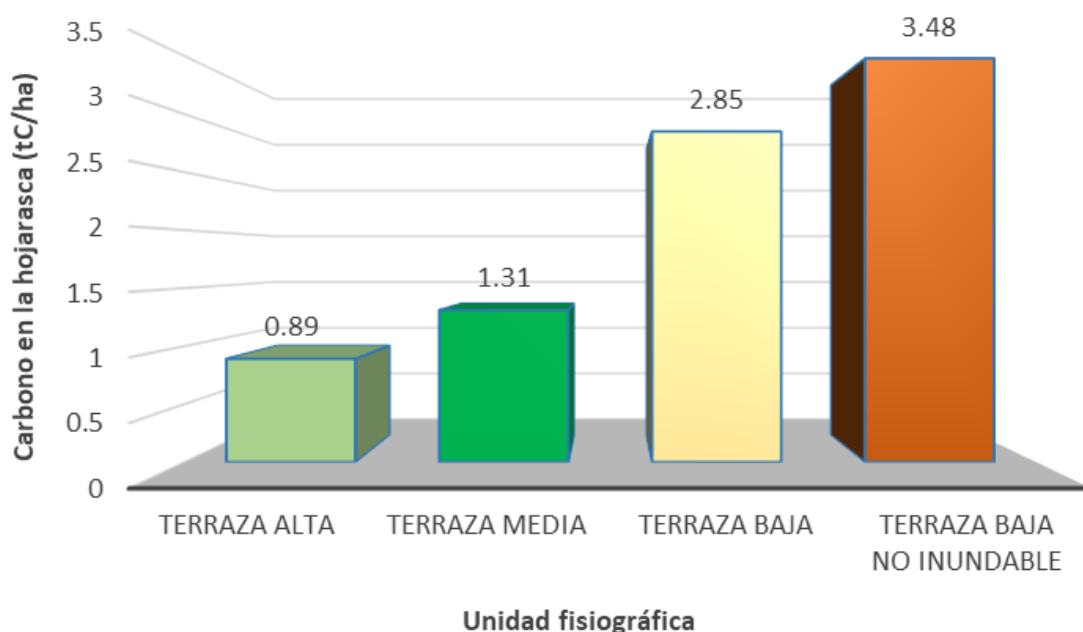


Figura 2. Contenido de carbono en hojarasca en las unidades fisiográficas del fundo CIPTALD - Tulumayo

Este comportamiento se justifica debido a que en las terrazas bajas, la cobertura vegetal está representada por cultivos y leñosas, además la presencia individuos es bastante densa lo que no permite áreas con suelo desnudo. A su vez, la presencia de arbustos y yerbas

perennes, como kudzu, malezas etc., lo que hace que la acumulación de hojarasca sea constante en el tiempo; por otro lado, las unidades fisiográficas como la terraza alta y media se son territorios que, dada la altitud y las condiciones geográficas, están sometidas a labores de labranza y pastoreo para los cultivos de arroz, maíz y pastos; actividades que no generan cantidades considerables de hojarasca en el suelo, los datos encontrados son menores a los de Bringas (2011) quienes registraron en un sistema agroforestal cacao + laurel de 9 años un nivel de 114,51 tC/ha y en bosque secundario de 110,56 tC/ha.

4.2. Almacenamiento de carbono en las raíces en las unidades fisiográficas del fundo Tulumayo

A continuación se detalla el análisis de varianza ($\alpha=0,05$) del contenido de carbono en las raíces de los vegetales de cada unidad fisiográfica del fundo CIPTALD - Tulumayo, el mismo refiere que no existen diferencias significativas entre los tratamientos. A partir se enuncia que el uso de suelos no afecta el contenido de carbono en el material radicular de cada tipo (Tabla 9).

Tabla 9. Análisis de variancia (ANOVA) del contenido de carbono en las raíces en las unidades fisiográficas (tC/ha) del fundo CIPTALD - Tulumayo

Fuentes de variación	SC	GL	CM	Fc	P-valor
Unidades fisiográficas	574,949	3	191,65	0,288	NS
Error	5315,388	8	664,424		
Total	5890,337	11			

NS: No significativo al 5%

* Diferencia significativa al 5%

** Alta diferencia significativa al 5%

En referencia a los principales estadísticos del carbono en las raíces se tiene que, el máximo registro se encuentra en la terraza media con 84,25 tC/ha; asimismo, en contraste, el mínimo valor se tiene en la terraza alta con 0,84 tC/ha; el análisis para los valores medios detalla el mayor y menor valor con 3,54 tC/ha y 26,85 tC/ha para la terraza “baja no inundable” y “media” respectivamente (Tabla 10).

Tabla 10. Valores máximos, mínimos y media del contenido de carbono en las raíces en las unidades fisiográficas (tC/ha) del fundo CIPTALD - Tulumayo

Unidad fisiográfica	N	Mínimo	Máximo	Media	Error	Desviación estándar	CV (%)
Terraza alta	3	0,84	21,46	13,16	6,28	10,88	82,69
Terraza media	3	0,96	84,25	30,65	26,85	46,51	151,77
Terraza baja	3	8,94	21,03	14,4	3,54	6,13	42,56
Terraza baja no inundable	3	2,87	39,61	20,68	10,62	18,4	88,95
Total	12	0,84	84,25	19,72	6,68	23,14	117,34

Fuente: Elaboración propia

Según la prueba de Duncan, a pesar de las diferencias numéricas y corroborando la inexistencia de diferencias significativas, se aprecia un único grupo sub-homogéneo que agrupa tratamientos estadísticamente idénticos; el mayor valor se registra en la ‘terrazza media’ con 30,65 tC/ha, teniéndose que, los territorios usados como pastizales tienen mayor capacidad de almacenamiento de C en su estructura radicular; en contraste, los menores valores se registran en las unidades ‘baja y alta’ las cuales están ocupadas por purmas, plantaciones forestales y cultivos (Tabla 11 y Figura 3).

Tabla 11. Prueba de Duncan ($\alpha=0.05$) del contenido de carbono en las raíces en las unidades fisiográficas del fundo CIPTALD - Tulumayo

Mérito	Unidad fisiográfica	N	Media (tC/ha)	Significación
1	Terraza media	3	30,65	a
2	Terraza baja no inundable	3	20,68	a
3	Terraza baja	3	14,4	a
4	Terraza alta	3	13,16	a

Fuente: Elaboración propia

El contenido de carbono de las raíces en las unidades fisiográficas tiene diferencias numéricas; el mayor contenido de raíces en áreas de pastizales es debido al tipo de vegetación, este territorio está ampliamente ocupado por el pasto Camerún, pasto perenne que se caracteriza por tener una raíz gruesa y rizomatosa que está en constante crecimiento para el consumo del ganado, esto provoca que exista una acumulación constante de raíces, por otro lado, en las otras unidades se verifica la presencia de vegetación que, en su mayoría, poseen raíces pivotantes propias de cultivos como arroz, aguaje y arboles forestales. Este contenido es

menor que lo encontrado por Machuca (2014) quien con la finalidad de estimar las reservas de carbono almacenado en el suelo en cuatro sistemas de manejo de pasturas en Puerto Inca registró que el sistema silvopastoril con pastura natural presenta mayor contenido de carbono (54,12 tC/ha) que el sistema tradicional con pastura mejorada (49,69 tC /ha), siendo el sistema tradicional con pastura natural (32,02 tC /ha) con menor carbono bajo suelo. En todos los casos, estos valores son superiores a los reportados debido a que, el manejo integrado, contempla la aplicación de diversas labores culturales con el fin de acelerar el crecimiento e incrementar el rendimiento, por lo que se supone un mayor desarrollo radicular.

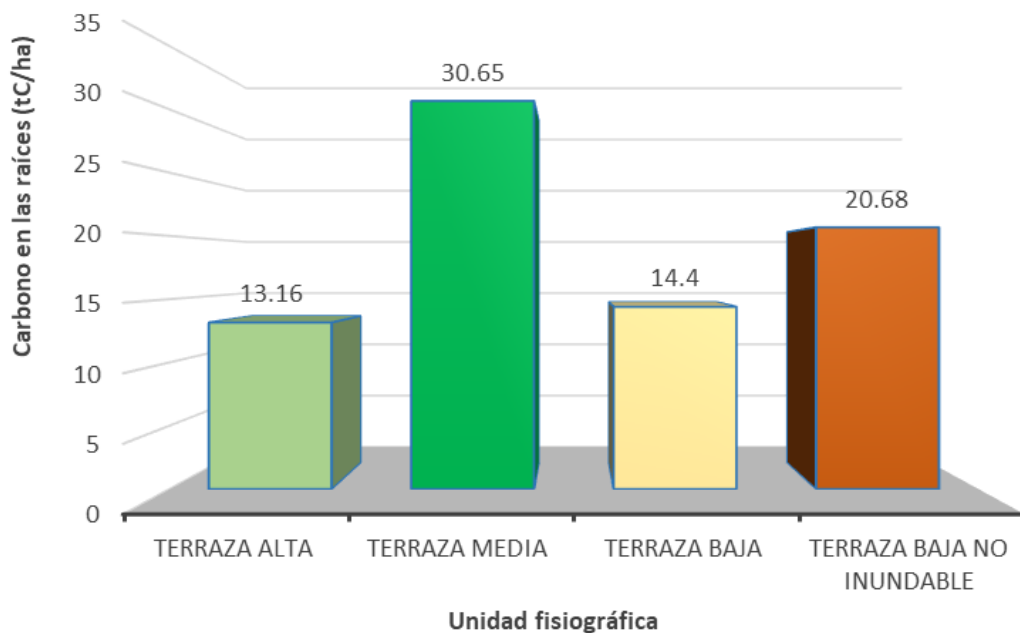


Figura 3. Contenido de carbono en las raíces en las unidades fisiográficas del fundo CIPTALD - Tulumayo

4.3. Almacenamiento de carbono orgánico en el suelo de las unidades fisiográficas

El siguiente análisis de varianza ($\alpha=0,05$) del contenido de carbono orgánico en el suelo de cada unidad fisiográfica del fundo CIPTALD - Tulumayo, detalla que existen altas diferencias significativas entre los tratamientos. Esto permite inferir que el uso de suelos afecta de manera significativa en el nivel de carbono en el suelo de cada tipo fisiográfico (Tabla 12).

De la misma manera, en relación a los estadísticos del carbono en el suelo se tiene que, el máximo valor se registró en la terraza media con 32,36 tC/ha; a diferencia de la terraza baja no inundable que registró el mínimo valor de 19,48 tC/ha; esto permite inferir que el suelo ocupado por pastizales retiene de mejor manera y significativamente en el nivel de carbono orgánico en el suelo (Tabla 13).

Tabla 12. Análisis de variancia (ANOVA) del contenido de carbono orgánico en el suelo en las unidades fisiográficas (tC/ha) del fundo CIPTALD - Tulumayo

Fuentes de variación	SC	GL	CM	Fc	P-valor
Unidades fisiográficas	223,689	3	74,563	60,208	**
Error	9,907	8	1,283		
Total	233,596	11			

NS: No significativo al 5%

* Diferencia significativa al 5%

** Alta diferencia significativa al 5%

Tabla 13. Valores máximos, mínimos y media del contenido de orgánico en el suelo en las unidades fisiográficas (tC/ha) del fundo CIPTALD - Tulumayo

Unidad fisiográfica	N	Mínimo	Máximo	Media	Error	Desviación estándar	CV (%)
Terraza alta	3	21,86	22,48	22,19	0,18	0,31	1,41
Terraza media	3	31,35	32,36	32,01	0,33	0,57	1,8
Terraza baja	3	24,33	27,6	26,08	0,95	1,65	6,32
Terraza baja no inundable	3	19,48	22,15	20,92	0,78	1,35	6,44
Total	12	19,48	32,36	25,3	1,33	4,61	18,21

Fuente: Elaboración propia

Tabla 14. Prueba de Duncan ($\alpha=0.05$) del contenido de carbono orgánico del suelo en las unidades fisiográficas del fundo CIPTALD - Tulumayo

Mérito	Unidad fisiográfica	N	Media (tC/ha)	Significación
1	Terraza media	3	32,01	a
2	Terraza baja	3	26,08	b
3	Terraza alta	3	22,19	c
4	Terraza baja no inundable	3	20,92	c

Fuente: Elaboración propia

La comparación de promedios con la prueba de Duncan, detalla la existencia de 03 grupos sub-homogéneos que agrupan, entre sí, tratamientos estadísticamente iguales; el mayor valor se tiene en la ‘terrazza media’ con 32,01 tC/ha, la misma que conforma el primer grupo; seguidamente se tiene la ‘terrazza baja’ con 26,08 tC/ha teniéndose que, los territorios

utilizados como pastizales, cultivos agrícolas, purmas y plantaciones forestales concentran de la misma manera (segundo sub-grupo), sin mucha diferencia numérica se encuentra la ‘terrazza baja no inundable’ con el menor promedio de 20,92 tC/ha (Tabla 14 y Figura 4).

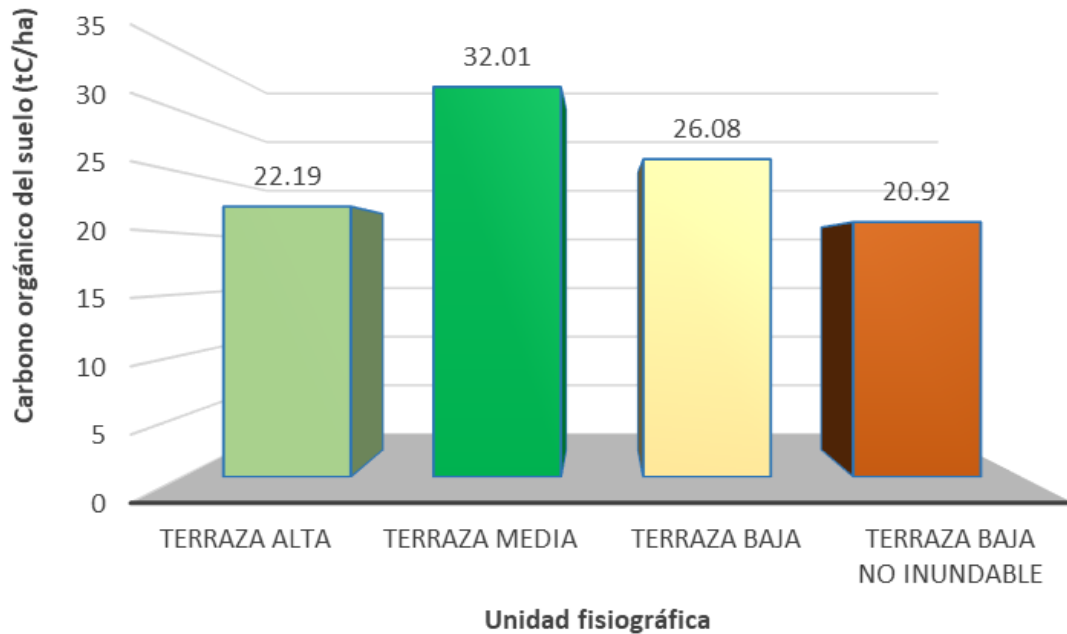


Figura 4. Contenido de carbono orgánico en el suelo en las unidades fisiográficas del fundo CIPTALD - Tulumayo

El suelo con mayor contenido de carbono orgánico se encuentra en la terraza media que contiene 32,01 tC/ha y la terraza baja no inundable con 20,92 tC/ha, como se había mencionado, la mayor acumulación de raíces gruesas y rizomatosas, así como las hojas secas del pasto Camerún y la humedad del suelo conjuntamente con la temperatura alta, hace que la tasa de descomposición sea mayor que las otras coberturas, incrementando el nivel en comparación con las otras unidades fisiográficas. Este dato es mayor que lo encontrado por Quiñónez (2017) quien determinó el contenido de COS en el sacha inchi teniéndose un mayor valor de 2,47 tC/ha de carbono en la biomasa en Tingo María. Sin embargo, es menor que lo reportado por Herrera (2011) quien refiere que los sistemas agroforestales de cacao + guaba registra un mayor acumulación de carbono a nivel de las plantaciones alcanzando promedios de 39,00; 43,75 y 62,11 t C/ha respectivamente, frente al sistema agroforestal de cacao + bolaina que alcanzó 33,99; 40,62 y 51,41 t C/ha en plantaciones con igual edades. Ello afianza la hipótesis de la diferencia altamente significativa.

4.4. Almacenamiento de carbono total en el suelo del fundo Tulumayo

El análisis de varianza ($\alpha=0,05$) del contenido de carbono total en el suelo de cada unidad fisiográfica del fundo CIPTALD - Tulumayo refiere la inexistencia de diferencias

significativas entre los tratamientos en estudio; a partir de esto se infiere que el uso de suelos no afecta de manera significativa en el total de carbono en el suelo de cada tipo fisiográfico (Tabla 15).

Tabla 15. Análisis de variancia (ANOVA) del contenido de carbono total en el suelo de las unidades fisiográficas (tC/ha) del fundo CIPTALD - Tulumayo

Fuentes de variación	SC	GL	CM	Fc	P-valor
Unidades fisiográficas	1262,731	3	420,91	0,623	NS
Error	5408,067	8	676,008		
Total	233,596	11			

NS: No significativo al 5%

* Diferencia significativa al 5%

** Alta diferencia significativa al 5%

A continuación, el análisis de los estadísticos del carbono en el suelo refiere que, el máximo valor se registró en la terraza media con 118 tC/ha; a diferencia de la terraza alta que registró el mínimo valor de 23.84 tC/ha; por lo que se puede decir que los territorios ocupados por pastizales presentan mejores condiciones para la concentración de carbono en el suelo considerando los componentes aéreo y del subsuelo (Tabla 16).

Tabla 16. Valores máximos, mínimos y media del contenido de carbono total en el suelo de las unidades fisiográficas (tC/ha) del fundo CIPTALD - Tulumayo

Unidad fisiográfica	N	Mínimo	Máximo	Media	Error	Desviación estándar	CV (%)
Terraza alta	3	23,84	44,14	36,24	6,28	10,87	30
Terraza media	3	33,91	118	63,97	27,07	46,89	73,29
Terraza baja	3	37,56	48,9	43,33	3,28	5,67	13,09
Terraza baja no inundable	3	26,19	63,88	45,07	10,88	18,85	41,81
Total	12	23,84	118	47,15	7,11	24,63	52,22

Fuente: Elaboración propia

El análisis de la prueba de Duncan, corrobora la inexistencia de diferencias estadísticas dada la existencia de 01 grupo sub-homogéneo, teniéndose el mismo comportamiento estadístico entre los tratamientos; el mayor valor se tiene en la ‘terrazza media’ con 63,97 tC//ha; en contraste, el menor registro se tiene en la ‘terrazza alta’ con 36,24 tC/ha

(Tabla 17 y Figura 5). Estos resultados evidencian un mejor comportamiento para la concentración de carbono en los pastizales.

Tabla 17. Prueba de Duncan ($\alpha=0.05$) del contenido de carbono total en el suelo de las unidades fisiográficas del fundo CIPTALD - Tulumayo

Mérito	Unidad fisiográfica	N	Media (tC/ha)	Significación
1	Terraza media	3	63,97	a
2	Terraza baja no inundable	3	45,07	a
3	Terraza baja	3	43,33	a
4	Terraza alta	3	36,24	a

Fuente: Elaboración propia

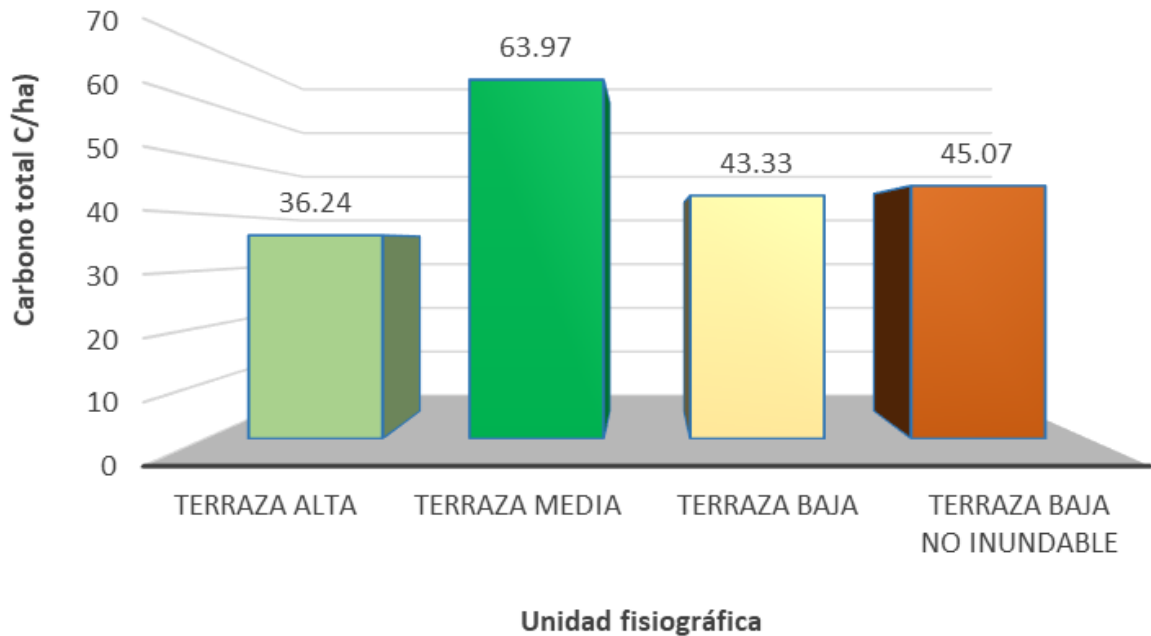


Figura 5. Contenido de carbono total en el suelo del fundo CIPTALD - Tulumayo

En resumen, la terraza media la terraza media almacena 63.97 tC/ha. y la terraza alta 36,24 tC/ha. Los pastizales son los territorios que mayor carbono almacenan siguiendo la tendencia de carbono en raíces y COS debido a la acumulación de material orgánico como raíces, hojas, ramas, fauna del suelo y residuos de guano del ganado que pastorea. Sin embargo, estos resultados son bastante menores que los reportados por Ruiz (2010) quien determinó el “carbono acumulado en el suelo a diferentes altitudes del Parque Nacional Tingo María”, concluyendo que el carbono acumulado total del parque es de 1162,55 tC /ha.

De igual manera, con los valores de Nieto (2015) quien investigó en Tingo María, el contenido de carbono “acumulado en el suelo en tres sistemas de uso café bajo sombra con

guaba, café sin sombra y sistema silvopastoril”, encontrando que el sistema café bajo sombra almaceno 81,30 tC/ha, café sin sombra 71,53 tC /ha y el sistema silvopastoril 40,42 tC /ha. Por otro lado, el reporte de la presente investigación es superior a lo encontrado por Bardales (2015) cuyos estudio en tres tipos de cultivos naranjo, guayabo y bambú en Tingo María, encontró que el suelo de guayabo almacena 42,05 tC/ha, el naranjo 35,99 y el bambú 30,39 tC/ha. De igual manera, De La Cruz (2015) con el propósito de evaluar el contenido de carbono en el suelo en el cultivo de cacao en tres sectores de Tingo María, concluyó que el rango de contenido fue de 26,14 tC/ha a 32,15 tC7ha.

V. CONCLUSIONES

1. La cantidad estimada de carbono en la hojarasca mostró diferencias significativas entre las unidades fisiográficas; teniéndose el mayor valor en la terraza baja no inundable con 3,48 tC/ha, el menor contenido se tiene en la terraza alta con 0,89 tC/ha.
2. La cantidad estimada de carbono en las raíces no mostró diferencias significativas entre las unidades fisiográficas; el mayor promedio se registró en la terraza media con 30,65 tC/ha, el menor valor se tiene en la terraza alta con 13,16 tC/ha.
3. La cantidad estimada de carbono en el suelo mostró altas diferencias significativas entre las unidades fisiográficas estudiadas; el mayor promedio se dio en la terraza media con 32,01 tC/ha, por otro lado, el menor contenido se tiene en la terraza baja no inundable con 20,92 tC/ha.
4. El almacenamiento de carbono total en el suelo no mostró diferencias significativas; el registro mayor se dio en la terraza media (63,97 tC/ha) y el menor en la terraza alta (36,24 tC/ha), a partir del cual se concluye que, dada las diversas condiciones del fundo, los terrenos ocupados por pastizales concentran de mayor manera el carbono orgánicos del suelos (COS).

VI. PROPUESTAS A FUTURO

1. Dar continuidad a la evaluación del contenido de carbono en el fundo CIPTALD – Tulumayo en sus distintas unidades fisiográficas con el objetivo de obtener información de mayor exactitud dada la amplitud de la superficie.
2. Realizar la recopilación de información en diversas épocas del año, considerando diversos aspectos de los cultivos agrícolas, plantaciones, purmas y pastizales como la fenología, las épocas de biomasa así como la creación de suplementos en las hojuelas y talluelos, para así perfeccionar la información del subsuelo y parte aérea.
3. Estudiar los sistemas usos de la tierra identificados considerando las épocas de estiaje y avenidas, a partir del cual se puedan implementar indicadores de la presencia de macrofauna y así, valorar la calidad del suelo para concentrar carbono en diversos contextos ambientales.
4. Proponer una estandarización de la metodología para medir el nivel de carbono en los diversos componentes del suelo, esto permite dar mayor validez científica, así como contribuir a los esfuerzos internacionales por mejorar los programas de mitigación de gases de efecto invernadero a través de inventarios de carbono eficientes.
5. Socializar la información obtenida con la comunidad universitaria, autoridades municipales e instituciones involucradas en el manejo sostenible de los bosques y la conservación del medio, esto permitirá, a través del debate, establecerla como fuente de información técnica y científica durante el diagnóstico de proyectos de inversión.

VII. REFERENCIAS

- Albrecht, A., Kandji, S.T. (2003). Carbon sequestration in tropical agroforestry systems. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 99 (1-3). 15-27 p.
- Alvarado, J., Andrade, H., Segura, M. (2013). Almacenamiento de carbono orgánico en suelos en sistemas de producción de café (*Coffea arabica* L.) en el municipio del Líbano, Tolima, Colombia. *Colombia Forestal*, 16 (1), 21-31 p.
<http://www.scielo.org.co/pdf/cofo/v16n1/v16n1a02.pdf>
- Arévalo, L., Alegre, J., Palm, CH. (2003). Manual de determinación de las reservas de carbono en los diferentes sistemas de uso de tierras en Perú. ICRAF, CODESU, INIA, INRENA. Ediciones Gráfica Miguel Álvarez. 24 p.
- Ávila, G; Jiménez, F., Beer J; Gómez, M; Ibrahim, M. (2001). Almacenamiento, fijación de carbono y valoración de servicios ambientales en sistemas agroforestales de Costa Rica. *Agroforestería en las Américas*. 8 (30): 32-35 p.
- Bárcena, A., Samaniego, J., Pérez, W., Alatorre, J.E. (2020). La emergencia del cambio climático en América Latina y el Caribe: ¿seguimos esperando la catástrofe o pasamos a la acción?, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). N° 160 (LC/PUB.2019/23-P) 383 p.
https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/45677/1/S1900711_es.pdf
- Bardales, C. (2015). *Carbono almacenado y distribución espacial de las propiedades del suelo en diferentes tipos de cultivo en la microcuenca del río Supte- Tingo María*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. Repositorio UNAS.
<http://repositorio.unas.edu.pe/handle/UNAS/1096>
- Bennington, J. (2009). The carbon cycle and climate change. Hofstra University – USA. 31 p.
http://custom.cengage.com/regional_geology.bak/data/Bennington_0495738557_LowRes.pdf
- BIOMARCC-SINAC-GIZ. (2012). Evaluación de carbono en el Humedal Nacional Térraba-Sierpe. San José. Costa Rica. 33 p. (Serie Técnica 01)
- Bond, B., Thomson, A. (2010). Temperature-associated increases in the global soil respiration record. *Nature* Vol. 464. 579–582 p. <https://www.nature.com/articles/nature08930>
- Bringas, H.A. (2011). *Estimación del carbono almacenado en un sistema agroforestal de cacao (Theobroma cacao L.) comparado con un bosque secundario de tres edades*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. Repositorio UNAS.
<https://repositorio.unas.edu.pe/handle/UNAS/119>

- Burbano, H. (2018). El carbono orgánico del suelo y su papel frente al cambio climático. *Revista de Ciencias Agrícolas*. 34(1), 82-96. doi: <http://dx.doi.org/10.22267/rcia.183501.85>
- Burés, S. (2004). La Descomposición de la Materia Orgánica. https://www.ulpgc.es/descargadirecta.php?codigo_archivo=3984
- Carvajal, M., Mota, C., Alcaraz, C., Iglesias, M., Martínez, M.C. (s. f.). Investigación sobre la absorción de CO₂ por los cultivos más representativos. CEBAS-Consejo Superior de Investigaciones Científicas. 43 p. http://www.lescco2.es/pdfs/noticias/ponencia_cisc_espanol.pdf
- Casanova E. (2005). Introducción a la Ciencia del Suelo. (2^oed.). Consejo de Desarrollo Científico y Humanístico de la Universidad Central de Venezuela, Caracas, Venezuela. 482 p.
- Chivelet, J. (2010). Ciclo del carbono y clima: la perspectiva geológica. *Enseñanzas de las Ciencias de la Tierra*, 18(1): 33-46 p.
- Cifuentes Jara, M., Brenes, C., Leandro, P., Molina, O., Romero, T. E., Torres Gómez, D., Velásquez, S. (2018). Manual centroamericano para la medición de carbono azul en manglares. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 92 p. Informe técnico, N° 141.
- Cisneros, D.J., Herrera, J. A., Teutli, C., Ramírez, S.A, Moreno, A., Pérez, O., Canul, A., Mendoza, J., Montero, J., Paz, F., Roman, R. M. (2021). Manual para la Medición, Monitoreo y Reporte del Carbono y Gases de Efecto Invernadero en Manglares en Restauración. Proyecto, Mainstreaming Wetlands into the Climate Agenda: A multi-level approach (SWAMP). CIFOR/CINVESTAV-IPN/UNAM-Sisal/PMC, 100pp. https://www.cifor.org/publications/pdf_files/Reports/Manual-SWAMP-sp.pdf
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe – CEPAL. (2015). La economía del cambio climático en América Latina y el Caribe: paradojas y desafíos del desarrollo sostenible (LC/G.2624). Santiago, <https://repositorio.cepal.org/handle/11362/37310>
- Cóndor, J. (2019). *Carbono orgánico del suelo en diferentes unidades fisiográficas del bosque reservado de la Universidad Nacional Agraria de la Selva (BRUNAS) Tingo María – Perú*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. Repositorio UNAS. <https://repositorio.unas.edu.pe/handle/UNAS/2057>
- Corbella, R., Fernández, J. (2006). Materia orgánica del suelo. Argentina. Facultad de Agronomía y Zootecnia – Universidad Nacional de Tucumán. 10 p. <https://www.edafologia.org/app/download/7953479876/Materia+Organica+del+Suelo.pdf?t=1563476239>

- De la Cruz, E. (2015). *Almacenamiento de carbono orgánico en suelos del cultivo de cacao en los sectores Puente Pérez, Naranjillo y Supte*. [Tesis de maestría, Universidad Nacional Agraria de la Selva].
- Díaz, G. (2012). El cambio climático. *Ciencia y Sociedad*, XXXVII (2): 227-240. ISSN: 0378-7680 p. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=87024179004>
- Díaz, R., Acosta, M., Carrillo, F., Buendía, E., Flores, E., Etchevers, J.D. (2007). Determinación de ecuaciones alométricas para estimar biomasa y carbono en *Pinus patula* Schl. et Cham. *Madera y Bosques*. 13(1): 25-34 p.
- Ecoplexity. (2010). Porcentaje de materia orgánica. Portland State University. Teaching ecological complexity, 2 p.
- Enger, E., Smith, B., (2006). *Ciencia ambiental: Un estudio de interrelaciones*. Editorial McGraw-Hill/Interamericana Editores, México.
- Eswaran, H., Van Den Berg, E., Reich, P. (1993). Organic carbon in soils of the world. Division S-5 notes. *Soil Science Society of America Journal* 57: 192-194 p.
- FAO - GTIS. (2015). Status of the World's Soil Resources, Roma, Italia. 650 p. <https://www.fao.org/3/i5199e/i5199E.pdf>
- Fernandez, C., Cely, G., Serrano, P. (2019). Cuantificación de la captura de carbono y análisis de las propiedades del suelo en coberturas naturales y una plantación de pino en el páramo de Rabanal, Colombia. Quantification of Carbon Sequestration and Analysis of Soil Properties in Natural Coverag. *Cuadernos de Geografía*, 28, 121–133 p. <https://doi.org/10.15446/rcdg.v28n1.66152.1>
- Figueroa C., Etchevers J.D., Velázquez A., Acosta M. (2005). Concentración de carbono en diferentes tipos de vegetación de la Sierra Norte de Oaxaca. *Terra*. 23: 57-64 p.
- Freitas, A. R. (1998). Contribución de las industrias forestales al desarrollo económico y social de América Latina. Primer Congreso Latinoamericano IUFRO. Valdivia, Chile. <https://bibliotecadigital.infor.cl/handle/20.500.12220/14355>
- Galindo, L., Reyes, O., Caballero, K. (2014). Climate change and agricultural activities in Mexico: A Ricardian analysis with panel data. Santiago de Chile, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), inédito.
- Galindo, L., Samaniego, J.L., Mostacedo, S., Ferrer, J., Alatorre, J.E., Reyes, O. (2017). El cambio climático y sus efectos en la biodiversidad de América Latina. Síntesis de Políticas Públicas sobre Cambio Climático. Santiago, Unión Europea/Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), División de Desarrollo Sostenible y Asentamientos Humanos. 17 p.

https://www.cepal.org/sites/default/files/news/files/sintesis_pp_cc_cc_y_sus_efectos_en_la_biodiversidad.pdf

- Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático – IPCC. (2020). El cambio climático y la tierra. OMM – PNUMA. 40 p.
https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/4/2020/06/SRCCL_SPM_es.pdf
- Herrera, J. (2011). *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 UNAS. <http://repositorio.unas.edu.pe/handle/UNAS/123>
- Herzog, S., Martínez, R., Jorgensen, P., Tiessen, H. (2011). Climate Change and Biodiversity in the Tropical Andes. París, Instituto Interamericano para la Investigación del Cambio Global/Comité Científico sobre los Problemas del Medio Ambiente (SCOPE).
https://museohn.unmsm.edu.pe/docs/pub_ictio/Josse%202011.pdf
- Honorio, E., Baker, T. (2010). Manual para el monitoreo del ciclo del carbono en bosques amazónicos. Instituto de Investigaciones de la Amazonia Peruana. Universidad de Leeds. Lima, 54 p.
https://rainfor.org/wp-content/uploads/sites/129/2022/06/Honorio_Baker2010-Manual-carbono.pdf
- Hopkins, M. F., Torn, S. M., Trumbore, E. S. (2012). Warming accelerates decomposition of decades-old carbon in forest soils. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, Vol. 109 N°26. <https://www.pnas.org/doi/epdf/10.1073/pnas.1120603109>
- Huang, Z.L., Chen, L.D., Fu, B.J., Lu, Y.H., Huang, Y.L., Gong, J. (2006). The relative efficiency of four representative cropland conversions in reducing water erosion: evidence from long-term plots in the loess Hilly Area, China. *Land Degradation & Development* 17: 615-627 p.
- Husch, B. (2001). Estimación del contenido de carbono de los bosques. Simposio Internacional Medición y Monitoreo de la Captura de Carbono en Ecosistemas Forestales, Valdivia, Chile.
- Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC (2014). Cambio climático 2014: Informe de síntesis. Suiza: Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático
- Jia, X.X., Shao, M.A., Wei, X.R., Horton, R. Li, X.Z. (2011). Estimating total net primary productivity of managed grasslands by a state-space approach in a small catchment on the Loess Plateau, China. *Geoderma* 160: 281-291 p.

- Kutsch W., Bahn M., Heinemeyer, A. (2009). *Soil Carbon Dynamic: an integrated methodology*. Cambridge, University Press. New York.
- Lefèvre, C., Rekik, F., Alcántara, V., Wiese, L. (2017). *Carbono Orgánico del Suelo: el potencial oculto*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura – FAO. Roma, Italia. 90 p. <https://www.fao.org/3/i6937s/i6937s.pdf>
- MacDicken, K. (1997). *A guide to Monitoring Carbon Storage in Forestry and Agroforestry Projects*. Arlington, VA: Winrock International Institute for Agricultural Development. 43 p.
- Machuca, M. (2013). *Carbono almacenado en cuatro sistemas ganaderos en el distrito de Palcazu. Iscozacín*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. Repositorio UNAS. <https://repositorio.unas.edu.pe/handle/UNAS/1314>
- Magrin, G., Marengo, J., Boulanger, J.P., Buckeridge, M., Castellanos, E., Poveda, G., Scarano, F., Vicuña, S. (2014). Chapter 27. Central and South America: Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part B: Regional Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. V.R. Barros y otros (eds.), Cambridge, Cambridge University Press. 68 p. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/WGIIAR5-Chap27_FINAL.pdf
- Martínez, J., Fernández, A. (2004). *Cambio Climático una visión desde México*. Instituto Nacional de Ecología, Secretaría del Medio Ambiente Recursos Naturales. 1° ed. México. 523 p. [http://www.data.sedema.cdmx.gob.mx/cambioclimaticocdmx/images/biblioteca_cc/Cambio-climatico-una-vision-desde-Mexico-\(Julia-Martinez-y-Adrian-Fernandez-Bremauntz-compilado.pdf](http://www.data.sedema.cdmx.gob.mx/cambioclimaticocdmx/images/biblioteca_cc/Cambio-climatico-una-vision-desde-Mexico-(Julia-Martinez-y-Adrian-Fernandez-Bremauntz-compilado.pdf)
- Mesías, A. (2015). *Estimación de carbono en biomasa aérea viva en las unidades fisiográficas del Bosque Reservado de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, Tingo María, Perú*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. Repositorio UNAS. <http://repositorio.unas.edu.pe/handle/UNAS/622>
- Miller, G. (2007). *Ciencia ambiental: Desarrollo sostenible, un enfoque integral*. (8va edición). México: Editores Internacional Thomson.
- Mittermeier, R. A., Robles, P., Pilgrim, J. (2005). *Hotspots Revisited: Earth's Biologically Richest and Most Endangered Terrestrial Ecoregions*. México, D.F. *Conservation International*. 200 p. https://www.researchgate.net/publication/275651117_Hotspots_Revisited_Earth's_Biologically_Richest_and_Most_Endangered_Terrestrial_Ecoregions

- Muhammad, I., Chacón, M., Cuartas, C., Naranjo, J. Ponce, G. Vega, P., Casasola, F., Rojas, J. (2006). Almacenamiento de carbono en el suelo y en la biomasa arbórea en sistema de uso de las tierras de paisajes ganaderos de Colombia, Costa Rica y Nicaragua. *Rev. Agroforestería en la Américas* N° 45. [Avance de investigación, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza]. Repositorio CATIE. <https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/7934>
- Nieto, J. (2015). *Efecto de las propiedades físicas, químicas y almacenamiento de carbono orgánico en tres sistemas agroforestales en el distrito de Nuevo Progreso*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. Repositorio UNAS. <http://repositorio.unas.edu.pe/handle/UNAS/402>
- Nordhaus, W., A. Moffat (2017). A survey of global impacts of climate change: replication, survey methods, and a statistical analysis. NBER Working Paper, N° 23646, Cambridge, Oficina Nacional de Investigaciones Económicas (NBER).
- Ordóñez, J.A.B., Masera, O. (2001). Captura de carbono ante el cambio climático. *Madera y Bosques* 7: 3-12 p.
- Orellana, G., Sandoval, M., Linares, G., García, N. y Tamariz, J. (2012). Descripción de la dinámica de Carbono en Suelos Forestales mediante un Modelo de Reservorios. *Avances en Ciencias e Ingeniería*. 3(1), 123-135 p. <https://www.uv.mx/personal/tcarmona/files/2010/08/Orellana-et-al-2012.pdf>
- Ortiz, G., Riascos, C. (2006). Almacenamiento y fijación de carbono del sistema agroforestal cacao (*Theobroma cacao* L.) y laurel (*Cordia alliodora*) (Ruíz & pavón) en la reserva indígena de Talamanca, costa rica. [Tesis de pregrado, Universidad de Nariño]. Repositorio CATIE. <https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/245>
- Quiñónez, S. (2019). *Carbono secuestrado en biomasa y suelo de dos ecotipos de *Plukenetia volubilis* L. "sacha inchi" a cuatro densidades de siembra en Tingo María*. [Tesis de maestría, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. Repositorio UNAS. <https://repositorio.unas.edu.pe/handle/UNAS/1565>
- Ramírez, M.A. (2015). *Estimación del carbono retenido en la biomasa aérea, en una selva tropical de Yucatán, México*. [Tesis de maestría, Centro de Investigación Científica de Yucatán]. Repositorio CICY. <https://cicy.repositorioinstitucional.mx/jspui/handle/1003/360>
- Rattan, L. (2008). Sequestration of atmospheric CO₂ in global carbon pools. *Energy and Environmental Science* 1: 86–100 p.

- Reicosky, D.C. (2002). Long - term effect of moldboard plowing on tillage - induced CO₂ loss, in J. M. Kimble, R. Lai and R. F. Follet: Agricultural Practices and Policies for Carbon Sequestration in Soil. Lewis Publishers. Papers from symposium held July 1999 at Ohio State University, Columbus, Ohio, 87-96 p. https://www.researchgate.net/publication/327250173_Long-term_effect_of_moldboard_plowing_on_tillage-induced_CO2_loss
- Rivera, E. (2018). *Evaluación del potencial almacenamiento de carbono en la especie Stipa ichu (Ichu) en la microcuenca Chaclatacana – Huancavelica*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Federico Villareal]. Repositorio UNFV. <http://repositorio.unfv.edu.pe/bitstream/handle/UNFV/2505/RIVERA%20TICLLACONDOR%20EDVIN.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Rodríguez, N. (2013). Guía para la cuantificación de la biomasa y el carbono forestal, generación de modelos y uso de herramientas para su estimación. Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca – CAR. <https://sie.car.gov.co/handle/20.500.11786/37642>
- Rojas, A. S., Andrade, H., Segura, M. (2018). Los suelos del paisaje Alto-Andino de Santa Isabel (Tolima, Colombia) ¿son sumideros de carbono orgánico? *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 21(1), 51–59 p. <https://doi.org/10.31910/rudca.v21.n1.2018.662>
- Rojas, E. P., Silva, E. D., Guillén, A. Y., Motta, P. A., Herrera, W. (2019). Carbono almacenado en estrato arbóreo de sistemas ganaderos y naturales del municipio de Albania, Caquetá, Colombia. *Ciencia y Agricultura*. 16(3), 35–46 p. <https://doi.org/10.19053/01228420.v16.n3.2019.9515>
- Rootzén, J. M., Berndes, G., Ravindranath, N. H., Somashekar, H. I., Murthy, I. K., Sudha, P., Ostwald, M. (2010). Carbon Sequestration versus Bioenergy: A Case Study from South India Exploring the Relative Land-Use Efficiency of Two Options for Climate Change Mitigation. *Biomass and Bioenergy*, 34, 116-123 p. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0961953409002116>
- Rügnitz, M. T., Chacón, M. L., Porro R. (2009). Guía para la Determinación de Carbono en Pequeñas Propiedades Rurales 1° ed. Lima, Perú: Centro Mundial Agroforestal (ICRAF) / Consórcio Iniciativa Amazônica (IA). 2009. 79 p. http://www.aecidcf.org.co/Ponencias/2016/septiembre/MI120916-1/Ref.7.Guia_Carbono.pdf

- Ruiz, A. (2010). *Carbono almacenado en el suelo a diferentes altitudes del Parque Nacional de Tingo María*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. Repositorio UNAS. <http://repositorio.unas.edu.pe/handle/UNAS/947>
- Ryan, C.M., Williams, M., Grace, J. (2011). Above and belowground carbón stocks in a miombo Woodland landscape of Mozambique. *Biotropica*. 43(4): 423-432 p. https://www.researchgate.net/publication/227759431_Above-and-Belowground-Carbon-Stocks-in-a-Miombo-Woodland-Landscape-of-Mozambique
- Segura, M. (2005). Proyecto captura de carbono y desarrollo de mercados ambientales en sistemas agroforestales indígenas con cacao en Costa Rica. 120-128 p.
- Serrato, R., Adame, S., López, J. Flores, D. (2014). Carbono orgánico de la hojarasca en los bosques de la reserva de la Biósfera Mariposa Monarca, caso santuario sierra Chincua, México. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*. Vol. 5 N° 1. 29-45 p. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5344964>
- Smith, P., House, J. I., Bustamante, M., Sobock, J., Harper, R., Pan, G., West, P. C., Clark, J. M., Adhya, T., Rumpel, C., Paustian, K., Kuikman, P., Cotrufo, M. F., Elliott, J. A., McDowell, R., Griffiths, R. I., Asakawa, S., Bondeau, A., Jain, A. K., Meersmans, J., Pugh, T. A. M. (2016). Global change pressures on soils from land use and management. *Global Change Biology* 22:1008-1028 p.
- Uribe, E. (2014). El cambio climático y sus efectos en la biodiversidad en América Latina. Comisión Económica para América Latina y el Caribe – CEPAL, Unión Europea. Santiago. 86 p. https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/39855/S1501295_en.pdf?sequence=1
- Vicuña, E., Baker, T. R., Banda, K., Honorio, E., Monteagudo, A., Phillips, O. L., Del Castillo, D., Farfán, W., Flores, G., Huamán, D., Huamán, K., Hidalgo, G., Lojas, E., Melo, J., Pickavance, G., Ríos, M., Rojas, M., Salinas, N., Vásquez, R. (2018). El sumidero de carbono en los bosques primarios amazónicos es una oportunidad para lograr la sostenibilidad de su conservación. *Folia Amazónica*, Vol. 27(1): 101–109 p. <https://doi.org/10.24841/fa.v27i1.456>
- Walkley, A; Black, C. 1938. An examination of the Degtjareff's method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science*. 38 p.

Zavala, J., Vega, L. (2021). *Captura y almacenamiento de carbono en distintas edades del cultivo de cacao bajo sistemas agroforestales de Tingo María*. [Libro de investigación, Universidad Nacional Hermilio Valdizán]. Repositorio UNHEVAL. <https://www.unheval.edu.pe/portal/wp-content/uploads/2021/10/Zavala-Vega.-2021.pdf>

ANEXO

Anexo 1. Datos obtenidos

Parcela 1

ORIENTACIÓN : E 0385303 O 8991116
FISIOGRAFÍA : Terraza baja
ALTITUD : 605 msnm
VEGETACIÓN : Arroz, capirona, purma, cacao

Tabla 18. Biomasa de la hojarasca en la parcela 1

N° CUADRANTE	HOJARASCA	HOJARASCA	HOJARASCA	HOJARASCA
	PESO FRESCO (gr)	PESO SECO (gr)	PESO FRESCO (Kg)	PESO SECO (Kg)
1	153.3	77.8	0.1533	0.0778
2	62.8	43.5	0.0628	0.0435
3	83	50.6	0.083	0.0506
4	85.1	53.7	0.0851	0.0537
5	50.5	33.3	0.0505	0.0333
6	50.6	34.3	0.0506	0.0343
7	51.7	33.3	0.0517	0.0333
8	54.6	34.9	0.0546	0.0349
9	50.5	31.4	0.0505	0.0314
10	82.8	50.9	0.0828	0.0509
TOTAL	724.9	443.7	0.7249	0.4437
PROMEDIO	72.49	44.37	0.07249	0.04437
BIOMASA (ton/ha)			7.09	
CARBONO (ton/ha)			3.54	

Tabla 19. Biomasa de raíces en la parcela 1

PROFUNDIDAD	PESO HÚMEDO (g)	PESO SECO (g)	BIOMASA (ton/ha)	CARBONO (ton/ha)
0 - 10 cm	78.3	46.4	20.62	10.91
10 - 20 cm	29.7	8.4	9.84	4.92
20 - 30 cm	4.2	1.4	11.6	5.8
TOTAL	112.2	56.2	42.06	21.63
PROMEDIO	37.4	18.73	14.02	7.21

Tabla 20. Carbono en el suelo de la parcela 1

PROFUNDIDAD	D.A.	M.O.	PESO	M.O./Ha	C/Ha
10 cm	1.2	2.38	1200	30.94	17.95
20 cm	1.2	0.69	1200	8.28	4.8
30 cm	1.2	0.21	1200	2.73	1.58
TOTAL:				41.95	24.33

Parcela 2

ORIENTACIÓN : E 0385329 O 8990814
 FISIOGRAFÍA : Terraza baja
 ALTITUD : 605 msnm
 VEGETACIÓN : Arroz, capirona, purma, cacao

Tabla 21. Biomasa de la hojarasca en la parcela 2

N° CUADRANTE	HOJARASCA	HOJARASCA	HOJARASCA	HOJARASCA
	PESO FRESCO (gr)	PESO SECO (gr)	PESO FRESCO (Kg)	PESO SECO (Kg)
1	21.6	17.7	0.0216	0.0177
2	31.4	25.9	0.0314	0.0259
3	49	38.1	0.049	0.0381
4	22.2	19	0.0222	0.019
5	26.6	20.8	0.0266	0.0208
6	34.5	26.7	0.0345	0.0267
7	52	41.3	0.052	0.0413
8	33.7	26.3	0.0337	0.0263
9	48.7	35.1	0.0487	0.0351
10	57.3	38.6	0.0573	0.0386
TOTAL	377	289.5	0.377	0.2895
PROMEDIO	37.7	28.95	0.0377	0.02895
BIOMASA				
tn/ha			4.63	
CARBONO				
tn/ha			2.31	

Tabla 22. Biomasa de raíces en la parcela 2

PROFUNDIDAD	PESO HÚMEDO (g)	PESO SECO (g)	BIOMASA (ton/ha)	CARBONO (ton/ha)
0 - 10 cm	52.4	14.3	6.36	3.18
10 - 20 cm	25.7	3.8	3.44	1.72
20 - 30 cm	9.5	2.6	8.07	4.04
TOTAL	87.6	20.7	17.87	8.94
PROMEDIO	29.2	6.9	5.96	2.98

Tabla 23. Carbono en el suelo de la parcela 2

PROFUNDIDAD	D.A.	M.O.	PESO	M.O./Ha	C/Ha
10 cm	1.2	2.4	1200	31.2	18.1
20 cm	1.2	0.8	1200	9.6	5.57
30 cm	1.2	0.35	1200	4.55	2.64
TOTAL:				45.35	26.31

Parcela 3

ORIENTACIÓN : E 0385501 O 8989637
 FISIOGRAFÍA : Terraza baja
 ALTITUD : 606 msnm
 VEGETACIÓN : Arroz, capirona, purma, cacao

Tabla 24. Biomasa de la hojarasca en la parcela 3

N° CUADRANTE	HOJARASCA	HOJARASCA	HOJARASCA	HOJARASCA
	PESO FRESCO (gr)	PESO SECO (gr)	PESO FRESCO (Kg)	PESO SECO (Kg)
1	41.5	34.6	0.0415	0.0346
2	40.4	22	0.0404	0.022
3	47.4	30.6	0.0474	0.0306
4	38.9	29.2	0.0389	0.0292
5	38.5	27.1	0.0385	0.0271
6	33.8	23	0.0338	0.023
7	86.5	59.2	0.0865	0.0592
8	56.9	41.7	0.0569	0.0417
9	33.1	24.4	0.0331	0.0244
10	64.9	44.7	0.0649	0.0447
TOTAL	481.9	336.5	0.4819	0.3365
PROMEDIO	48.19	33.65	0.04819	0.03365
BIOMASA				
tn/ha			5.39	
CARBONO				
tn/ha			2.69	

Tabla 25. Biomasa de raíces en la parcela 3

PROFUNDIDAD	PESO HÚMEDO (g)	PESO SECO (g)	BIOMASA (ton/ha)	CARBONO (ton/ha)
0 - 10 cm	60.5	33.9	15.07	7.53
10 - 20 cm	20.3	8.6	11.39	5.7
20 - 30 cm	0	0	0	0
TOTAL	80.8	42.5	26.46	13.23
PROMEDIO	26.93	14.17	8.82	4.41

Tabla 26. Carbono en el suelo de la parcela 3

PROFUNDIDAD	D.A.	M.O.	PESO	M.O./Ha	C/Ha
10 cm	1.2	2.41	1200	31.33	18.17
20 cm	1.2	0.85	1200	11.05	6.41
30 cm	1.2	0.4	1200	6.2	3.02
TOTAL:				48.58	27.6

Parcela 4

ORIENTACIÓN : E 0385398 O 8991840
 FISIOGRAFÍA : Terraza alta
 ALTITUD : 609 msnm
 VEGETACIÓN : Purma, pasto

Tabla 27. Biomasa de la hojarasca en la parcela 4

N° CUADRANTE	HOJARASCA PESO FRESCO (gr)	HOJARASCA PESO SECO (gr)	HOJARASCA PESO FRESCO (Kg)	HOJARASCA PESO SECO (Kg)
1	22.3	12.4	0.0223	0.0124
2	3.8	3.4	0.0038	0.0034
3	6.6	5.5	0.0066	0.0055
4	9.7	8.6	0.0097	0.0086
5	17.1	13.1	0.0171	0.0131
6	8.9	7.7	0.0089	0.0077
7	11.3	9.9	0.0113	0.0099
8	15.5	13.1	0.0155	0.0131
9	20	11.1	0.02	0.0111
10	20.2	11.8	0.0202	0.0118
TOTAL	135.4	96.6	0.1354	0.0966
PROMEDIO	13.54	9.66	0.01354	0.00966
BIOMASA				
tn/ha				
CARBONO				
tn/ha				

Tabla 28. Biomasa de raíces en la parcela 4

PROFUNDIDAD	PESO HÚMEDO (g)	PESO SECO (g)	BIOMASA (ton/ha)	CARBONO (ton/ha)
0 - 10 cm	6.7	2.2	0.98	0.49
10 - 20 cm	1.4	0.2	0.43	0.21
20 - 30 cm	1.1	0.1	0.27	0.14
TOTAL	9.2	2.5	1.68	0.84
PROMEDIO	3.07	0.83	0.56	0.28

Tabla 29. Carbono en el suelo de la parcela 4

PROFUNDIDAD	D.A.	M.O.	PESO	M.O./Ha	C/Ha
10 cm	1.2	2.26	1200	27.12	15.73
20 cm	1.2	0.64	1200	7.68	4.45
30 cm	1.2	0.25	1200	3	1.75
TOTAL:				37.8	21.93

Parcela 5

ORIENTACIÓN : E 0386612 O 8990488

FISIOGRAFÍA : Terraza alta

ALTITUD : 609 msnm

VEGETACIÓN : Purma, pasto

Tabla 30. Biomasa de la hojarasca en la parcela 5

N° CUADRANTE	HOJARASCA	HOJARASCA	HOJARASCA	HOJARASCA
	PESO FRESCO (gr)	PESO SECO (gr)	PESO FRESCO (Kg)	PESO SECO (Kg)
1	15.1	14.1	0.0151	0.0141
2	8.3	7.5	0.0083	0.0075
3	7.8	7.3	0.0078	0.0073
4	8.9	8.2	0.0089	0.0082
5	10.2	9.3	0.0102	0.0093
6	10.7	9.6	0.0107	0.0096
7	15	14.6	0.015	0.0146
8	10.4	9.5	0.0104	0.0095
9	15.1	13.7	0.0151	0.0137
10	10	9.1	0.01	0.0091
TOTAL	111.5	102.9	0.1115	0.1029
PROMEDIO	11.15	10.29	0.01115	0.01029
BIOMASA				
tn/ha			1.64	
CARBONO				
tn/ha			0.82	

Tabla 31. Biomasa de raíces en la parcela 5

PROFUNDIDAD	PESO HÚMEDO (g)	PESO SECO (g)	BIOMASA (ton/ha)	CARBONO (ton/ha)
0 - 10 cm	104.7	45.7	20.31	10.16
10 - 20 cm	49.2	15.1	14.28	7.14
20 - 30 cm	9.5	1.7	8.33	4.16
TOTAL	163.4	62.5	42.92	21.46
PROMEDIO	54.47	20.83	14.31	7.15

Tabla 32. Carbono en el suelo de la parcela 5

PROFUNDIDAD	D.A.	M.O.	PESO	M.O./Ha	C/Ha
10 cm	1.2	2.2	1200	26.4	15.31
20 cm	1.2	0.7	1200	7.7	4.46
30 cm	1.2	0.3	1200	3.6	2.09
TOTAL:				37.7	21.86

Parcela 6

ORIENTACIÓN : E 0386693 O 8990641
 FISIOGRAFÍA : Terraza alta
 ALTITUD : 609 msnm
 VEGETACIÓN : Purma, pasto

Tabla 33. Biomasa de la hojarasca en la parcela 6

N° CUADRANTE	HOJARASCA PESO FRESCO (gr)	HOJARASCA PESO SECO (gr)	HOJARASCA PESO FRESCO (Kg)	HOJARASCA PESO SECO (Kg)
1	17.1	15.5	0.0171	0.0155
2	13.1	11.7	0.0131	0.0117
3	16.9	15.3	0.0169	0.0153
4	10.7	9.3	0.0107	0.0093
5	17	15	0.017	0.015
6	21.6	19.2	0.0216	0.0192
7	10.2	8.9	0.0102	0.0089
8	15.7	12	0.0157	0.012
9	25	22.9	0.025	0.0229
10	7.8	7.3	0.0078	0.0073
TOTAL	155.1	137.1	0.1551	0.1371
PROMEDIO	15.51	13.71	0.01551	0.01371
BIOMASA tn/ha			2.19	
CARBONO tn/ha			1.09	

Tabla 34. Biomasa de raíces en la parcela 6

PROFUNDIDAD	PESO HÚMEDO (g)	PESO SECO (g)	BIOMASA (ton/ha)	CARBONO (ton/ha)
0 - 10 cm	98.8	42.2	18.76	9.38
10 - 20 cm	6.2	1.1	7.79	3.9
20 - 30 cm	4.5	0.8	7.81	3.9
TOTAL	109.5	44.1	34.36	17.18
PROMEDIO	36.5	14.7	11.45	5.73

Tabla 35. Carbono en el suelo de la parcela 6

PROFUNDIDAD	D.A.	M.O.	PESO	M.O./Ha	C/Ha
10 cm	1.2	2.25	1200	27	15.66
20 cm	1.2	0.68	1200	8.16	4.73
30 cm	1.2	0.3	1200	3.6	2.09
TOTAL:				38.76	22.48

Parcela 7

ORIENTACIÓN : E 0385798 O 8989680
 FISIOGRAFÍA : Terraza baja no inundable
 ALTITUD : 585 msnm
 VEGETACIÓN : Capirona, bolaina, purma, maíz

Tabla 36. Biomasa de la hojarasca en la parcela 7

N° CUADRANTE	HOJARASCA	HOJARASCA	HOJARASCA	HOJARASCA
	PESO FRESCO (gr)	PESO SECO (gr)	PESO FRESCO (Kg)	PESO SECO (Kg)
1	104.9	69.5	0.1049	0.0695
2	90.2	53.7	0.0902	0.0537
3	67	43.8	0.067	0.0438
4	63	42.6	0.063	0.0426
5	60.5	38.4	0.0605	0.0384
6	53.9	36.5	0.0539	0.0365
7	45	35.2	0.045	0.0352
8	68.9	46.8	0.0689	0.0468
9	79.7	51.9	0.0797	0.0519
10	85.2	61.8	0.0852	0.0618
TOTAL	718.3	480.2	0.7183	0.4802
PROMEDIO	71.83	48.02	0.07183	0.04802
BIOMASA				
tn/ha			7.68	
CARBONO				
tn/ha			3.84	

Tabla 37. Biomasa de raíces en la parcela 7

PROFUNDIDAD	PESO HÚMEDO (g)	PESO SECO (g)	BIOMASA (ton/ha)	CARBONO (ton/ha)
0 - 10 cm	35.4	7.4	3.29	1.64
10 - 20 cm	11.5	0.9	1.23	0.62
20 - 30 cm	10.3	0.9	1.22	0.61
TOTAL	57.2	9.2	5.74	2.87
PROMEDIO	19.07	3.07	1.91	0.96

Tabla 38. Carbono en el suelo de la parcela 7

PROFUNDIDAD	D.A.	M.O.	PESO	M.O./Ha	C/Ha
10 cm	1.2	1.1	1200	15.4	8.93
20 cm	1.2	0.85	1200	11.05	6.41
30 cm	1.2	0.51	1200	7.14	4.14
TOTAL:				33.59	19.48

Parcela 8

ORIENTACIÓN : E 0385798 O 8989637
 FISIOGRAFÍA : Terraza baja no inundable
 ALTITUD : 592 msnm
 VEGETACIÓN : Capiroña, bolaina, purma, maíz

Tabla 39. Biomasa de la hojarasca en la parcela 8

N° CUADRANTE	HOJARASCA	HOJARASCA	HOJARASCA	HOJARASCA
	PESO FRESCO (gr)	PESO SECO (gr)	PESO FRESCO (Kg)	PESO SECO (Kg)
1	103	73.5	0.103	0.0735
2	120.2	95.2	0.1202	0.0952
3	66.9	46.4	0.0669	0.0464
4	119	63.7	0.119	0.0637
5	63.7	43.4	0.0637	0.0434
6	70.2	40.3	0.0702	0.0403
7	72.2	55	0.0722	0.055
8	57.8	36.3	0.0578	0.0363
9	107.5	77.1	0.1075	0.0771
10	52.3	28.7	0.0523	0.0287
TOTAL	832.8	559.6	0.8328	0.5596
PROMEDIO	83.28	55.96	0.08328	0.05596
BIOMASA				
tn/ha			8.95	
CARBONO				
tn/ha			4.47	

Tabla 40. Biomasa de raíces en la parcela 8

PROFUNDIDAD	PESO HÚMEDO (g)	PESO SECO (g)	BIOMASA (ton/ha)	CARBONO (ton/ha)
0 - 10 cm	36.4	8.8	39.11	19.56
10 - 20 cm	0.1	0	0	0
20 - 30 cm	0	0	0	0
TOTAL	36.5	8.8	39.11	19.56
PROMEDIO	12.17	2.93	13.04	6.52

Tabla 41. Carbono en el suelo de la parcela 8

PROFUNDIDAD	D.A.	M.O.	PESO	M.O./Ha	C/Ha
10 cm	1.2	1.15	1200	16.1	9.34
20 cm	1.2	0.9	1200	12.6	7.31
30 cm	1.2	0.55	1200	7.7	4.47
TOTAL:				36.4	21.12

Parcela 9

ORIENTACIÓN : E 0386110 O 8989926
 FISIOGRAFÍA : Terraza baja no inundable
 ALTITUD : 602 msnm
 VEGETACIÓN : Capiroña, bolaina, purma, maíz

Tabla 42. Biomasa de la hojarasca en la parcela 9

N° CUADRANTE	HOJARASCA	HOJARASCA	HOJARASCA	HOJARASCA
	PESO FRESCO (gr)	PESO SECO (gr)	PESO FRESCO (Kg)	PESO SECO (Kg)
1	42.1	30.6	0.0421	0.0306
2	32.4	25.6	0.0324	0.0256
3	46.3	36.3	0.0463	0.0363
4	30.6	19.9	0.0306	0.0199
5	33.1	17.7	0.0331	0.0177
6	22	16	0.022	0.016
7	48.9	28.7	0.0489	0.0287
8	30.9	22.7	0.0309	0.0227
9	43.4	31.8	0.0434	0.0318
10	54.5	36.8	0.0545	0.0368
TOTAL	384.2	266.1	0.3842	0.2661
PROMEDIO	38.42	26.61	0.03842	0.02661
BIOMASA tn/ha		4.25		
CARBONO tn/ha		2.12		

Tabla 43. Biomasa de raíces en la parcela 9

PROFUNDIDAD	PESO HÚMEDO (g)	PESO SECO (g)	BIOMASA (ton/ha)	CARBONO (ton/ha)
0 - 10 cm	136.2	97.2	43.2	21.6
10 - 20 cm	38.3	18.6	29.4	14.7
20 - 30 cm	24.7	9.7	6.62	3.31
TOTAL	199.2	125.5	79.22	39.61
PROMEDIO	66.4	41.83	26.41	13.2

Tabla 44. Carbono en el suelo de la parcela 9

PROFUNDIDAD	D.A.	M.O.	PESO	M.O./Ha	C/Ha
10 cm	1.2	1.2	1200	16.8	9.74
20 cm	1.2	1	1200	13	7.54
30 cm	1.2	0.6	1200	8.4	4.87
TOTAL:				38.2	22.15

Parcela 10

ORIENTACIÓN : E 0385303 O 8991628
 FISIOGRAFÍA : Terraza media
 ALTITUD : 608 msnm
 VEGETACIÓN : Pasto

Tabla 45. Biomasa de la hojarasca en la parcela 10

N° CUADRANTE	HOJARASCA	HOJARASCA	HOJARASCA	HOJARASCA
	PESO FRESCO (gr)	PESO SECO (gr)	PESO FRESCO (Kg)	PESO SECO (Kg)
1	47.9	25	0.0479	0.025
2	58.4	27.8	0.0584	0.0278
3	52.2	27	0.0522	0.027
4	72.9	36.9	0.0729	0.0369
5	61.6	36.6	0.0616	0.0366
6	30.6	23.8	0.0306	0.0238
7	35.7	25.7	0.0357	0.0257
8	37.1	29	0.0371	0.029
9	50.8	33.1	0.0508	0.0331
10	52.3	40.4	0.0523	0.0404
TOTAL	499.5	305.3	0.4995	0.3053
PROMEDIO	49.95	30.53	0.04995	0.03053
BIOMASA				
tn/ha			4.8	
CARBONO				
tn/ha			2.4	

Tabla 46. Biomasa de raíces en la parcela 10

PROFUNDIDAD	PESO HÚMEDO (g)	PESO SECO (g)	BIOMASA (ton/ha)	CARBONO (ton/ha)
0 - 10 cm	430.8	167.6	74.49	37.24
10 - 20 cm	12.6	2.9	44.07	22.03
20 - 30 cm	2.3	0.6	49.95	24.97
TOTAL	445.7	171.1	168.51	84.24
PROMEDIO	148.57	57.03	56.17	28.08

Tabla 47. Carbono en el suelo de la parcela 10

PROFUNDIDAD	D.A.	M.O.	PESO	M.O./Ha	C/Ha
10 cm	1.2	2.6	1200	31.2	18.1
20 cm	1.2	1.18	1200	14.16	8.21
30 cm	1.2	0.79	1200	8.69	5.04
TOTAL:				54.05	31.35

Parcela 11

ORIENTACIÓN : 0385329 O 8991628
 FISIOGRAFÍA : Terraza media
 ALTITUD : 607 msnm
 VEGETACIÓN : Pasto

Tabla 48. Biomasa de la hojarasca en la parcela 11

N° CUADRANTE	HOJARASCA PESO FRESCO (gr)	HOJARASCA PESO SECO (gr)	HOJARASCA PESO FRESCO (Kg)	HOJARASCA PESO SECO (Kg)
1	18.4	10.5	0.0184	0.0105
2	12	10.4	0.012	0.0104
3	11.2	13.9	0.0112	0.0139
4	17.9	13.7	0.0179	0.0137
5	14.2	11.8	0.0142	0.0118
6	14.9	11.9	0.0149	0.0119
7	14.9	12.5	0.0149	0.0125
8	12	10	0.012	0.01
9	10.3	8	0.0103	0.008
10	13.9	12.4	0.0139	0.0124
TOTAL	139.7	115.1	0.1397	0.1151
PROMEDIO	13.97	11.51	0.01397	0.01151
BIOMASA				
tn/ha				
CARBONO				
tn/ha				

Tabla 49. Biomasa de raíces en la parcela 11

PROFUNDIDAD	PESO HÚMEDO (g)	PESO SECO (g)	BIOMASA (ton/ha)	CARBONO (ton/ha)
0 - 10 cm	44.1	11.9	5.29	2.64
10 - 20 cm	13.3	3.1	4.57	2.28
20 - 30 cm	4.9	0.9	3.6	1.8
TOTAL	62.3	15.9	13.46	6.72
PROMEDIO	20.77	5.3	4.49	2.24

Tabla 50. Carbono en el suelo de la parcela 11

PROFUNDIDAD	D.A.	M.O.	PESO	M.O./Ha	C/Ha
10 cm	1.2	2.65	1200	31.8	18.44
20 cm	1.2	1.2	1200	14.4	8.35
30 cm	1.2	0.8	1200	9.6	5.57
TOTAL:				55.8	32.36

Parcela 12

ORIENTACIÓN : E 0386562 O 8990408

FISIOGRAFÍA : Terraza media

ALTITUD : 607 msnm

VEGETACIÓN : Pasto

Tabla 51. Biomasa de la hojarasca en la parcela 12

N° CUADRANTE	HOJARASCA	HOJARASCA	HOJARASCA	HOJARASCA
	PESO FRESCO (gr)	PESO SECO (gr)	PESO FRESCO (Kg)	PESO SECO (Kg)
1	11.1	9.9	0.0111	0.0099
2	12	10	0.012	0.01
3	4.6	4.2	0.0046	0.0042
4	5.3	5.1	0.0053	0.0051
5	7.7	6.7	0.0077	0.0067
6	10.4	9.4	0.0104	0.0094
7	5.4	4.9	0.0054	0.0049
8	11.3	10.4	0.0113	0.0104
9	14	12.8	0.014	0.0128
10	7.2	6.4	0.0072	0.0064
TOTAL	89	79.8	0.089	0.0798
PROMEDIO	8.9	7.98	0.0089	0.00798
BIOMASA				
tn/ha			1.28	
CARBONO				
tn/ha			0.62	

Tabla 52. Biomasa de raíces en la parcela 12

PROFUNDIDAD	PESO HÚMEDO (g)	PESO SECO (g)	BIOMASA (ton/ha)	CARBONO (ton/ha)
0 - 10 cm	10.3	2.1	0.93	0.47
10 - 20 cm	3.8	0.5	0.6	0.3
20 - 30 cm	1.2	0.1	0.38	0.19
TOTAL	15.3	2.7	1.91	0.96
PROMEDIO	5.1	0.9	0.64	0.32

Tabla 53. Carbono en el suelo de la parcela 12

PROFUNDIDAD	D.A.	M.O.	PESO	M.O./Ha	C/Ha
10 cm	1.2	2.7	1200	32.4	18.79
20 cm	1.2	1.25	1200	13.75	7.97
30 cm	1.2	0.8	1200	9.6	5.57
TOTAL:				55.75	32.33

Anexo 2. Panel fotográfico

Figura 6. Equipos y materiales utilizados durante el muestreo en el fundo CIPTALD – Tulumayo



Figura 7. Materiales utilizados en el trabajo de tesis en el fundo CIPTALD - Tulumayo



Figura 8. Delimitación de parcelas de muestreo en el fundo CIPTALD – Tulumayo



Figura 9. Delimitación de sub parcelas de muestreo en el fundo CIPTALD - Tulumayo



Figura 10. Determinación de carbono almacenado en hojarascas del fundo CIPTALD – Tulumayo



Figura 11. Realización de las calicatas de 0.30 m x 0.30 m x 0.30 m



Figura 12. Obtención de muestras para el cálculo de densidad aparente



Figura 13. Extracción de muestra de suelo de 500 gr aproximadamente.



Figura 14. Obtención de datos de carbono en hojarasca



Figura 15. Obtención de datos de carbono en raíces

Anexo 3. Croquis de ubicación de parcelas de muestreo

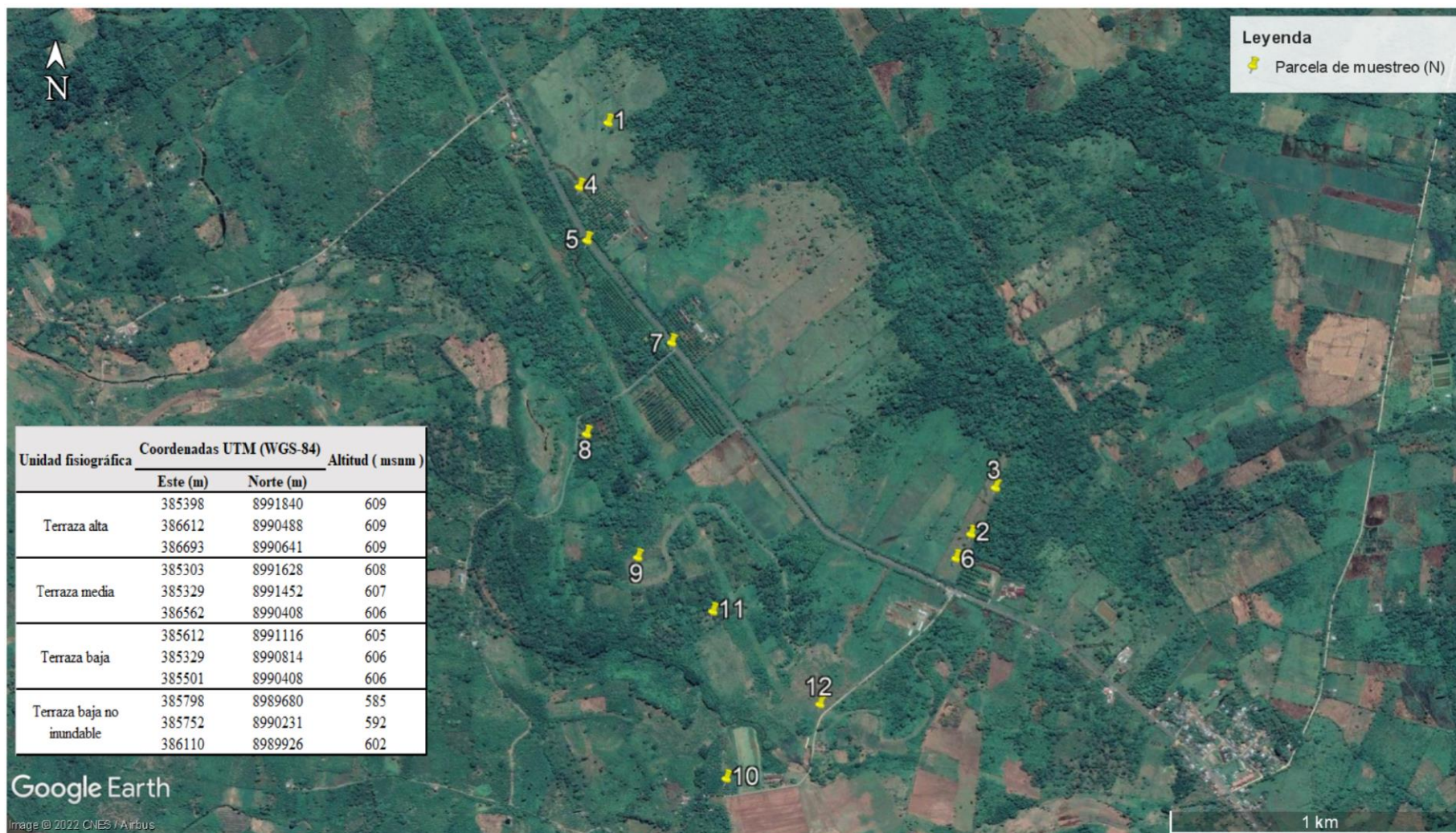


Figura 16. Mapa de ubicación de parcelas de muestreo.