

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



ALMACENAMIENTO DE CARBONO ORGÁNICO EN EL SUELO EN
PLANTACIONES DE *Camellia sinensis* (TÉ) EN EL DISTRITO DE DANIEL
ALOMÍA ROBLES – PUMAHUASI

Tesis

Para optar el título de:

INGENIERO EN CONSERVACIÓN DE SUELOS Y AGUA

PRESENTADO POR:

Bach. Tello Pinedo, Jeancan Stip

Tingo María – Perú.

2026



ACTA DE SUSTENTACION DE TESIS N° 009-2026-FRNR-UNAS

Los que suscriben, Miembros del Jurado de Tesis, reunidos con fecha 13 de enero de 2026, a horas 11:00 a.m. en la Escuela Profesional de Ingeniería en Conservación de Suelos y Agua de la Facultad de Recursos Naturales Renovables para calificar la tesis titulada:

“ALMACENAMIENTO DE CARBONO ORGÁNICO EN EL SUELO EN PLANTACIONES DE *Camellia sinensis* (TÉ) EN EL DISTRITO DE DANIEL ALOMÍA ROBLES - PUMAHUASI”

Presentado por el Bachiller: **TELLO PINEDO, JEANCAN STIP** después de haber escuchado la sustentación y las respuestas a las interrogantes formuladas por el Jurado, se declara **APROBADO** con el calificativo de “MUY BUENA”.


En consecuencia, el sustentante queda apto para optar el Título Profesional de **INGENIERO EN CONSERVACION DE SUELOS Y AGUA**, que será aprobado por el Consejo de Facultad, Tramitándolo al Consejo Universitario para el otorgamiento del Título Correspondiente.

Tingo María, 28 de enero de 2026


Dr. WILFREDO ALVA VALDIVIEZO
PRESIDENTE




Dr. JOSE DOLORES LEVANO CRISOSTOMO
MIEMBRO


Ing. JAIME TORRES GARCIA
MIEMBRO


Dr. LUCIO MANRIQUE DE LARA SUAREZ
ASESOR



UNAS

VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN

INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN

UNIDAD DE SOPORTE CIENTÍFICO REPOSITORIO INSTITUCIONAL

"Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres"
"Año de la Esperanza y el Fortalecimiento de la Democracia"

CERTIFICADO DE SIMILITUD T.I. N 043 - 2026 - CS-RIDUNAS

El Jefe de la Unidad de Soporte Científico 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% y contenido generado por Inteligencia Artificial menor o igual al 20%. Según establece el Art. 29° y 30° del Acuerdo Nro.017-2025-CIUNAS-VRI-UNAS.

Programa de Estudio:

Ingeniería en Conservación de Suelos y Agua

Tipo de documento:

Tesis	X	Trabajo de Suficiencia Profesional	
-------	---	------------------------------------	--

TÍTULO	AUTOR	PORCENTAJE	
		SIMILITUD	CONTENIDO GENERADO POR INTELIGENCIA ARTIFICIAL
ALMACENAMIENTO DE CARBONO ORGÁNICO EN EL SUELO EN PLANTACIONES DE Camellia sinensis (TÉ) EN EL DISTRITO DE DANIEL ALOMÍA ROBLES – PUMAHUASI	JEANCAN STIP, TELLO PINEDO	11 % Once	Menor a 20 %

Tingo María, 11 de febrero de 2026.

 UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
UNIDAD DE SOPORTE CIENTÍFICO

ING. EINSTEIN A. ORTIZ MORALES
JEFE

C.C. Archivo

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



ALMACENAMIENTO DE CARBONO ORGÁNICO EN EL SUELO EN
PLANTACIONES DE *Camellia sinensis* (TÉ) EN EL DISTRITO DE DANIEL
ALOMÍA ROBLES – PUMAHUASI

Autor	: Bach. Jeancan Stip, Tello Pinedo
Asesor	: Dr. Manrique de Lara Suarez, lucio
Programa de investigación	: ciencias básicas
Línea de investigación	: Ecología y conservación de suelos
Eje temático de investigación	: Secuestro de carbono atmosférico por el suelo
Lugar de ejecución	: Daniel Alomía Robles - Pumahuasi
Duración	: 06 meses
Financiamiento	: S/ 2174.50
Propio	: Si
FEDU	: No
Otros	: No

Tingo María – Perú, 2025

DEDICATORIA

A Dios, fuente de sabiduría y fortaleza, por haberme concedido la salud, la perseverancia y la claridad necesarias para culminar este proceso académico

A mis padres Celso Tello y Betty Pinedo, cuyo esfuerzo, dedicación y ejemplo de vida han constituido los pilares fundamentales de mi formación personal y profesional. Su constante apoyo y confianza hicieron posible la consecución de este objetivo

A mis hermanos Jaquí y Hitler por su compañía, aliento y respaldo en cada etapa de mi vida académica, quienes con su presencia y motivación contribuyeron a la realización de esta meta.

En este trabajo es un reflejo del esfuerzo colectivo de una familia que siempre estuvo unido, brindándome fuerzas para seguir adelante.

AGRADECIMIENTO

A la Universidad Nacional Agraria de la Selva, mi alma mater, por haberme acogido y brindado una formación integral durante mi trayectoria académica. En sus aulas no solo encontré conocimiento técnicos y científicos, sino también, principios y valores que hoy constituyen la base de mi desarrollo profesional y personal

A mi asesor de tesis Dr. Lucio Manrique, por su invaluable orientación, paciencia y compromiso en cada etapa de este trabajo de investigación. Sus observaciones, sugerencias y constante apoyo no solo enriquecieron el presente estudio, sino también, contribuyeron significativamente a mi formación como futuro profesional de ingeniería.

A mis profesores de la Facultad de Ingeniería en conservación de suelos y agua, quienes con dedicación y entrega compartieron sus saberes y experiencias, despertando en mi interés por la investigación y el compromiso con la excelencia académica. Cada enseñanza repartida representa una herramienta valiosa para el ejercicio responsable y ético de la profesión.

A mis compañeros de estudio que me brindaron sus consejos y amigos que siempre me brindaron el apoyo incondicional frente a cada evaluación de la vida, Compartir desafíos, esfuerzos y logros me permitió comprender el verdadero valor del trabajo en equipo, la solidaridad y la perseverancia.

A todos ellos, mi más sincero reconocimiento, pues cada aporte, por pequeño que aparezca, ha dejado una huella imborrable en este camino que hoy culmina con la obtención de mi título profesional.

ÍNDICE GENERAL

	Página
I. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Objetivo general.....	2
1.2. Objetivos específicos	2
II. REVISIÓN DE LITERATURA	3
2.1. Problemática de la emisión de carbono	3
2.2. Generalidades del carbono	3
2.2.1. Ciclo del carbono.....	4
2.3. El suelo como fuente de reserva de carbono.....	4
2.3.1. Almacenamiento de carbono en el suelo	4
2.3.2. Almacenamiento de carbono en la raíz.....	5
2.3.3. Almacenamiento de carbono en la hojarasca	5
2.4. Generalidades de la planta de té.	6
2.4.1. Características botánicas.....	6
2.4.2. Requerimientos agroecológicos.....	6
2.4.3. Variedades principales.....	6
2.4.4. Usos y productos	7
2.4.5. Distribución y producción	7
2.4.6. Desafíos y consideraciones actuales.....	7
2.4.7. Bondades del <i>Camellia sinensis</i> (Té).	7
2.4.8. Comercialización de <i>Camellia sinensis</i> nacional e internacional.....	8
2.5. Estado de arte	8
2.5.1. Internacional	8
2.5.2. Nacional.....	10
2.5.3. Local	10
III. MATERIALES Y MÉTODOS	12

3.1.	Lugar de ejecución.....	12
3.1.1.	Localización política y geográfica del área de estudio.....	12
3.1.2.	Condiciones climática.....	12
3.1.3.	Fisiografía.....	14
3.1.4.	Zona de vida y vegetación.....	14
3.2.	Materiales y métodos.....	15
3.2.1.	Materiales y equipos.....	15
3.2.2.	Metodología.....	15
3.3.	Variables predeterminadas.....	19
3.3.1.	Variables independientes.....	19
3.3.2.	Variables dependientes.....	19
3.3.3.	Variables intervinientes.....	19
3.4.	Análisis estadísticos del conjunto de datos.....	19
IV.	RESULTADOS Y DISCUSION.....	20
4.1.	Determinación de carbono orgánico en el suelo.....	20
4.2.	Determinación de carbono orgánico en las raíces.....	22
4.3.	Determinación de carbono orgánico en la hojarasca.....	23
V.	CONCLUSIONES.....	26
VI.	PROPUESTAS A FUTURO.....	27
VII.	REFERENCIAS.....	28
VIII.	ANEXOS.....	31

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla	Página
1. Coordenadas de la parcela de investigación.....	14
2. Equipos e instrumentos empleados en la investigación	15
3. Carbono orgánico almacenado en diferentes profundidades del suelo	20
4. Carbono orgánico almacenado a 0.30 m de profundidad.....	21
5. Carbono almacenado en la biomasa radicular	22
6. Carbono almacenado en la hojarasca	23
7. Carbono almacenado en los diferentes componentes.....	24

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Página
1. Lista de mercados importadores de té exportado por Perú en el año 2024.	8
2. Mapa de ubicación fundo “Paulino”.....	12
3. Variación de PP, correspondiente del año 1998 – 2022.....	13
4. Variación de temperatura, correspondiente del año 1998 – 2022.	13
5. Variación de HR, correspondiente del año 2017– 2022.....	14
6. Práctica para la toma de muestras.	16
7. Modelo de zigzag para toma de muestra por cada profundidad.....	16
8. Diseño para la extracción de muestras de hojarasca.	18
9. Diagrama de torta que representa el porcentaje de carbono.....	25
10. Autorización para ejecutar la investigación.....	31
11. Demarcación de la parcela para (Limite para no ingresar).....	31
12. Demarcación de la parcela para la recolección de hojarasca.....	32
13. Excavación de una calicata.....	32
14. Medición de una calicata.....	33
15. Recolecta de muestras de suelo.....	33
16. Codificación a las muestras de suelo.....	34
17. Toma de muestras en cilindro metálico.....	34
18. Peso inicial de las muestras en los cilindros metálicos.....	35
19. Secado de las muestras de los cilindros en una estufa el laboratorio de suelos.....	35
20. Secado de las muestras de las raíces en una estufa.....	36
21. Gráficos demostrativos que los datos evaluados siguen una distribución lineal.....	36

RESUMEN

En la investigación se determinó el almacenamiento de carbono orgánico en el suelo en plantaciones de *Camellia sinensis* (Té) en el distrito de Daniel Alomía Robles – Pumahuasi. Metodológicamente es de tipo no experimental, cuantitativo, transversal y descriptivo, ajustada al diseño de estadística comparativa, donde se calcularon la cantidad de carbono en tres componentes: Carbono orgánico del suelo (COS), carbono orgánico en la raíz (CR), carbono orgánico en la hojarasca (CH), los datos recopilados fueron de un área con cultivo perenne fundo “Paulino” (2.18 hectáreas aproximadamente). Se determinó el contenido de C a profundidades de 0.0-0.10 m, 0.10-0.20 m y 0.20-0.30 m para las variables COS y CR, y para CH solo muestras de una subparcela (50 x 5 m); mediante el método de Walkley & Black y del Centro Mundial de Agroforestería-ICRAF respectivamente. Los resultados muestran variabilidad de almacenamiento de C, siendo para COS estimado de 14.10, 13.71 y 12.77 t/ha, (C.V. 6.47, 7.40 y 12.82 % respectivamente), para CR valores resultantes de 2.57, 1.05, y 0.94 t/ha (C.V. 14.69, 13.40 y 4.77 % respectivamente), y para CH resultó 1.27 t/ha (C.V. 14.92 %); así mismo, el C almacenado a 0.30 m de profundidad es de 40.57 y 4.57 t/ha para COS y CR, 1.27 t/ha para CH, que representan el 87.42, 9.85 y 2.74 % de contenido de C. Se concluye que, en plantaciones de *Camellia sinensis*, el C almacenado es mayor para el componente suelo, seguido de la raíz y la hojarasca.

Palabras claves: Carbono orgánico, suelo, biomasa radicular y hojarasca.

ABSTRACT

Soil organic carbon storage in tea plantations *Camellia sinensis* (Tea) in the Daniel Alomia Robles – Pumahuasi district

This research determined the storage of organic carbon in the soil of *Camellia sinensis* (tea) *Camellia sinensis* plantations in the Daniel Alomía Robles – Pumahuasi district. Methodologically, it was a non-experimental, quantitative, cross-sectional, and descriptive study, employing a comparative statistical design. The amount of carbon was calculated in three components: soil organic carbon (SOC), root organic carbon (ROC), and litter organic carbon (LIC). Data were collected from a perennial tea plantation, the “Paulino” farm (approximately 2.18 hectares). C content was determined at depths of 0.0–0.10 m, 0.10–0.20 m, and 0.20–0.30 m for SOC and ROC, and for LIC, only samples from a subplot (50 x 5 m) were used, employing the Walkley & Black method and the World Agroforestry Centre-ICRAF method, respectively. The results show variability in C storage, with estimated COS values of 14.10, 13.71 and 12.77 t/ha (C.V. 6.47, 7.40 and 12.82% respectively), CR values of 2.57, 1.05, and 0.94 t/ha (C.V. 14.69, 13.40 and 4.77% respectively), and CH values of 1.27 t/ha (C.V. 14.92%). Likewise, the carbon stored at a depth of 0.30 m is 40.57 and 4.57 t/ha for soil organic carbon (SOC) and root biomass (CR), and 1.27 t/ha for leaf litter (CH), representing 87.42, 9.85, and 2.74% of the total carbon content, respectively. It is concluded that, in tea plantations, the carbon stored is greatest in the soil component, followed by the root and litter components.

Keywords: Organic carbon, soil, root biomass, litter.

I. INTRODUCCIÓN

El cambio climático constituye uno de los mayores desafíos actuales, impulsando principalmente por el incremento de gases de efecto invernadero (GEI) en la atmósfera. Entre ellos el dióxido de carbono (CO₂). Por consiguiente, la FAO, (2019), que los rangos de carbono (C) almacenado (0.30 m de profundidad) varía según la actividad biológica y al cambio de uso del suelo, para suelos degradados por influencia de agricultura intensiva es 20 – 40 t C ha⁻¹, con sistemas agroforestales es 70 – 120 tCha⁻¹. Así mismo, el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático-IPCC, (2019), referencia valores de 80 – 120, 60 – 100 y 40 – 80 tCha⁻¹ en suelos de bosque tropical, sistemas agroforestales y para cultivos de café, cacao y té, respectivamente.

El suelo representa el principal reservorio de carbono terrestre, acumulando materia orgánica (MO) derivada de la descomposición de residuos vegetales. En los sistemas de cultivo perennes como el té, la presencia continua de raíces y el aporte constante de hojarasca favorecen la incorporación y estabilización del C. Asimismo, la biomasa radicular constituye una fuente significativa de carbono (C), contribuyendo tanto al mantenimiento de la fertilidad del suelo como a la reducción del CO₂ atmosférico. En este contexto, los ecosistemas agrícolas desempeñan un papel relevante en la mitigación del cambio climático al actuar como sumideros de C. El cultivo de *Camellia sinensis* (Té), además de su importancia económica y social, posee un notable potencial para el almacenamiento de C en sus diferentes componentes (Suelo, masa radicular, y la hojarasca).

El estudio del almacenamiento de C en los distintos compartimientos del cultivo de té permite comprender mejor a su función ecológica y su potencial para la mitigación del cambio climático. Además, proporciona información esencial para el manejo sostenible de los suelos agrícolas, promoviendo prácticas que maximicen la captura de C y fortalezcan la resiliencia de los agroecosistemas. Viendo esta realidad, en la investigación se tiene la siguiente interrogante ¿Cuánto es el almacenamiento de carbono orgánico en el suelo en plantaciones de *Camellia sinensis* en el distrito de Daniel Alomía Robles – Pumahuasi? El trabajo de investigación se justifica determinando el almacenamiento de C en plantaciones de *Camellia sinensis*, cuantificando el contenido de C en el suelo, masa radicular y hojarasca.

En la investigación se logró contrastar de manera parcial la hipótesis: “Si el almacenamiento de carbono orgánico en el suelo en plantaciones de *Camellia sinensis* en el distrito de Daniel Alomía Robles – Pumahuasi”. Por lo cual, se trabajó con los siguientes objetivos.

1.1. Objetivo general

Determinar el almacenamiento de carbono orgánico en el suelo en plantaciones de *Camellia sinensis* (Té) en el distrito de Daniel Alomía Robles – Pumahuasi

1.2. Objetivos específicos

- Estimar el carbono orgánico almacenado en el suelo en diferentes profundidades.
- Estimar el carbono orgánico almacenado en la biomasa radicular en diferentes profundidades
- Estimar el carbono orgánico almacenado de biomasa de hojarasca.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Problemática de la emisión de carbono

En la actualidad existe una problemática, que es la emisión de C, y viene a ser un desafío urgente que la humanidad enfrenta. En primera instancia, nos referimos a los GEI, siendo el CO₂ el principal causante, seguido del CH₄, N₂O y gases fluorados. Estos son gases que mayor impacto causan, y en consecuencia aumenta el calentamiento global. Las emisiones de estos gases resultan de las diversas actividades antropogénicas (Agricultura, uso de suelo deforestación y ganadería) (Cambindo, 2024).

La emisión de C es el inicio de la crisis climática. Esto no se trata solo de un problema del medio ambiente, sino que involucra a la economía, lo social, salud y justicia global. La solución no es del campo tecnológico o político, sino viene a ser un cambio hacia una sociedad descarbonizada, con mayor sostenibilidad y resiliente. En este sentido en el año de 1997 se adopta el Protocolo de Kioto (Activo desde el año 2005 en países desarrollados), cuyo objetivo principal es bajar la incidencia del efecto de los GEI, posteriormente en el año 2015 dicho protocolo fue reemplazado por el Acuerdo de París, donde se amplió la participación de todos los países (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente-PNUMA, 2019).

2.2. Generalidades del carbono

El carbono orgánico en el suelo (COS), es el carbono que forma parte de la materia orgánica del mismo, provenientes de restos de plantas, raíces, animales y microorganismos que se encuentran en diferentes estados de descomposición. El COS es el componente del suelo que proviene de los restos orgánicos de la materia viva o de lo que una estuvo viva (Rojas et al., 2018).

El origen del COS se forma a partir de restos vegetales (Hojas, tallos, raíces muertas), restos de animales (Excretas, cadáveres de macrofauna e insectos), y residuos de microorganismos (Hongos, bacterias, actinomicetos que son los descomponedores de la materia orgánica en el suelo). Entre las funciones e importancia del COS es que mejora la fertilidad del suelo, reteniendo nutrientes (N, P, K, S, entre otros); mantiene la capacidad de retención hídrica; mejora la estructura del suelo, favoreciendo la formación de agregados estables que a su vez evita la erosión; estimula la actividad biológica; también funciona con regulador del clima al actuar de fuente de suministro de carbono, ayudando la reducción de CO₂ atmosférico.

Desde el año 1996, (Ciesla,1996), menciona la existencia de C, en diferentes sistemas de reservorio, cambian del tipo de bosques y del uso de tierra y coberturas que existen. En los

mismos tipos de bosques se evidencian múltiples cantidades de C. (Planicie aluvial, colinas, varianza por condiciones ambientales, manejos antrópicos).

2.2.1. Ciclo del carbono

El ciclo del C es un proceso biogeoquímico relevante para la vida en la superficie terrestre. Consiste en el intercambio continuo de C entre la atmósfera, hidrosfera, biosfera, geosfera, y en la actualidad con la antroposfera. A través de este ciclo se regula el clima de la tierra al controlar la cantidad de CO₂; un GEI, en la atmósfera. Para el año de 1750 al 2004, este gas aumento de 280 a 379 ppm, con una tasa anual que va en aumento de 1ppm. Asimismo, se calcula que con el cambio de uso de tierra se emite de 1.6+-1.0 Gt de C al año (Díaz et al., 2016).

2.3. El suelo como fuente de reserva de carbono

Es suelo es un recurso natural donde las plantas se desarrollan. Es un cuerpo que está formado por capas (Horizontes del del suelo), donde se encuentran, minerales en constantes procesos de meteorización y descomposición, materia orgánica (MO), agua y aire. El suelo es el resultado final influenciado por el tiempo, a través de factores como el clima, relieve, organismos vivos (Flora, fauna, la humanidad), y de materiales parentales (Roca madre), teniendo características de textura, estructura, consistencia, resistencia, propiedades fisicoquímicas y biológicas (Moreira, 2012).

En el suelo, la reserva de C, depende de la compleja interacción de los elementos con aquellos factores que influyen en la modificación de las características de la misma a través de un largo periodo de tiempo, entre ellas, las condiciones ambientales de la zona, la estructura formado por diferentes componentes que están estrechamente ligados a las mismas. De modo que, la reserva potencial de captura de COS está inmersos a dos aspectos principales: Presencia neta del carbono y las variaciones existenciales de las mismas (Hernández, Tirado, & Beltrán, 2014).

2.3.1. Almacenamiento de carbono en el suelo

El carbono (C) llega al suelo, donde puede almacenarse durante miles o millones de años. El almacenamiento de carbono orgánico del suelo (COS), que representa el 70 % del carbono orgánico en la biosfera, es un componente fundamental del ciclo global del carbono. (Vallejos, 2021).

El carbono orgánico del suelo (COS) influye significativamente en las propiedades físicas del suelo, tales como la textura, la densidad aparente y real, la porosidad, la permeabilidad y la humedad (gravimétrica y volumétrica). El COS, que constituye un 58 % de

la materia orgánica del suelo (MOS), se presenta en forma de residuos orgánicos parcialmente descompuestos (vegetales, animales y microorganismos) y humus, cuya compleja composición evoluciona hacia carbono elemental. En condiciones naturales, el COS representa un equilibrio dinámico entre la incorporación de materia orgánica fresca, la liberación de carbono en forma de CO₂ a la atmósfera y las pérdidas por erosión y lixiviación. (Martínez, Fuentes, & Acevedo, 2008).

2.3.2. Almacenamiento de carbono en la raíz

El sistema radicular es un componente esencial de la biología del suelo, ya que asegura el flujo continuo de carbono (C) desde la atmósfera hacia el suelo. El carbono derivado de las raíces presenta mayor estabilidad y persistencia en el suelo que el carbono proveniente de residuos en la superficie. El nitrógeno es fundamental para el desarrollo de las plantas y para satisfacer las necesidades de los microorganismos del suelo, actores clave en la transformación de compuestos orgánicos. (Rahman & Biswas, 2018).

Según Freitas et al. (2006), la cantidad y calidad de las raíces, en combinación con factores ambientales, regulan la capacidad de carga microbiana del suelo. Un mayor aporte de nitrógeno incrementa la producción de compuestos orgánicos simples derivados del metabolismo microbiano y las reservas de carbono orgánico.

Los exudados de las raíces vienen a ser los compuestos orgánicos de carbono (azúcares simples, aminoácidos y ácidos orgánicos) que son liberados por todas las raíces de las plantas en el suelo. Estas moléculas muy pequeñas pueden ser unidas a los minerales del suelo, por lo que son convertidas en principales reguladores de la pérdida y formación de carbono en el suelo (Taylor, 2022).

2.3.3. Almacenamiento de carbono en la hojarasca

El almacenamiento de carbono en los suelos es el equilibrio entre la incorporación de material vegetal muerto (hojarasca y raíces) y las pérdidas durante los procesos de descomposición y mineralización (respiración heterotrófica) (Zavala et al., 2019).

Los estudios sobre la descomposición y el ciclo de los nutrientes en su gran mayoría fueron conducidos a un ambiente específico; se dice que el sistema de la hojarasca es muy distinto a su morfología, esto es reflejado en los tipos de modales reconocidos en tipos de humus y por las diversas comunidades microbianas, así como también de invertebrados, estos caracterizan a la hojarasca de diferente calidad (Ibrahim et al., 2013).

La hojarasca es caracterizada por ser los residuos vegetales frescos, sin descomposición, pueden ser desde hojas, ramas, frutos secos, semillas, troncos en ejemplo podemos ver a los estambres de las plantas con flores. Las sustancias húmicas son

descompuestas en su gran mayoría por los microorganismos comprendidas a las bacterias, hongos, la meso y macrofauna del suelo, esta actividad brinda como resultado la respiración microbiana y posterior emanación de CO₂ del suelo y cambios en la composición química de la materia orgánica del suelo (Ojeda, Amarilla & Villalba, 2022).

2.4. Generalidades de la planta de té.

La planta de *Camellia sinensis* (Té), es una especie perenne originaria de sudeste asiático. Es la fuente principal de todos los tipos de té (Verde, negro, blanco, oolong, entre otros), cuya diferencia depende del grado de oxidación y procesamiento de sus hojas. En la economía es de gran importancia ya que de sus hojas se prepara debidas que no contienen alcohol a pesar de que es una planta conocida desde la antigüedad que en sus componentes contiene la cafeína (Molina et al., 2013).

2.4.1. Características botánicas

El género *Camellia*, pertenece a la familia Theaceae, comprende más de 325 especies (Mondal, 2002), así mismo, pertenece a una gran variabilidad genética derivado derivada de su alto grado de polinización cruzada, lo que ha originado más de 600 variedades cultivadas. Lleva como nombre científico *Camellia sinensis*, arbusto o árbol pequeño de hojas perennes, con altura en estado natural que puede alcanzar hasta 10 a 15 m, pero el cultivo se mantiene entre 1 a 1.5 m mediante podas para facilitar las cosechas. También presenta hojas blancas (en las pequeñas que están en brotamiento), con numerosos estambres amarillos, generalmente solitarias o en pequeños racimos. Su fruto es de tipo cápsula trilocular que contine de 1 a 3 semillas (Modal, 2007).

2.4.2. Requerimientos agroecológicos

Las características climáticas para el cultivo de *Camellia sinensis*, son en espacios tropicales y subtropicales, con temperatura óptimas entre 18 a 25 °C, altitud que varía de 600 hasta 2000 msnm, la precipitación entre 1200 y 2500 mm anuales, bien distribuidos. Los suelos que requiere este cultivo generalmente son ácidos (pH 4.5 – 5.5), así mismo, tienen que estar bien drenados, ricos en materia orgánica. Con luz preferentemente difusa o sombra parcial, especialmente en etapas jóvenes de la planta (Lizama, 2025).

2.4.3. Variedades principales

Existen dos variedades botánicas importantes (Peralta, 2020), entre ellas tenemos:

- a) *Camellia sinensis* var. Sinensis: Originaria de China, pequeñas hojas, tolera al frío, usada para té verde y blanco.

- b) *Camellia sinensis* var. *Assamica*: Originaria de la India; hojas grandes, sensible al frío, usada principalmente para té negro.

2.4.4. Usos y productos

Las plantas de *Camellia sinensis* tiene diferentes usos, hojas jóvenes se utilizan para elaborar diferentes tipos de té:

- Té verde: Hojas no fermentadas, solo marchitadas y secadas.
- Té negro: Hojas completamente fermentadas.
- Té oolong: Parcialmente fermentado.
- Té blanco: Hojas tiernas mínimamente procesadas

Además, contiene compuestos bioactivos como polifenoles, catequinas, cafeína y teanina, con reconocidos efectos antioxidantes, estimulantes y cardioprotectores (Falcón et al., 2024)

2.4.5. Distribución y producción

A nivel mundial, los principales países productores son: **China** (El mayor productor mundial. Produce todo tipo de tés con una inmensa variedad), **India** (Famosa por sus tés de Assam, negros y robustos; Darjeeling, el champán del té, aromático y Nilgiri), **Sri Lanka-Ceilán** (Conocida por sus tés negros de altitud media y alta, con distinciones por región de Uva, Nuwara Eliya, Dimbula), **Japón** (Especializado casi exclusivamente en té verde, Sencha, Gyokuro, Matcha de alta calidad), y **Kenya** (El mayor exportador mundial de té negro, produce tés de bajo costo, muy robustos, usados principalmente para blends/mezclas y bolitas (Centro de Comercio Internacional-ITC, 2025).

2.4.6. Desafíos y consideraciones actuales

La sostenibilidad en producción de *Camellia sinensis*, en un sistema de monocultivo intensivo puede agotar el suelo y requerir un alto uso de agroquímicos. Hay un crecimiento movimiento hacia la agricultura orgánica, Manejo integrado de Plagas (MIP) y certificaciones (Rainforest Aliamce, Fair Trade). El cambio climático, los patrones de lluvia impredecibles, las sequías y las temperaturas extremas amenazan la productividad y la calidad del té en las regiones tradicionales. De igual manera, la mano de obra, la dependencia de la cosecha manual plantea desafíos sociales y económicos, incluyendo el costo laboral y la migración de trabajadores a empleos urbanos (Falcón et al., 2024).

2.4.7. Bondades del *Camellia sinensis* (Té).

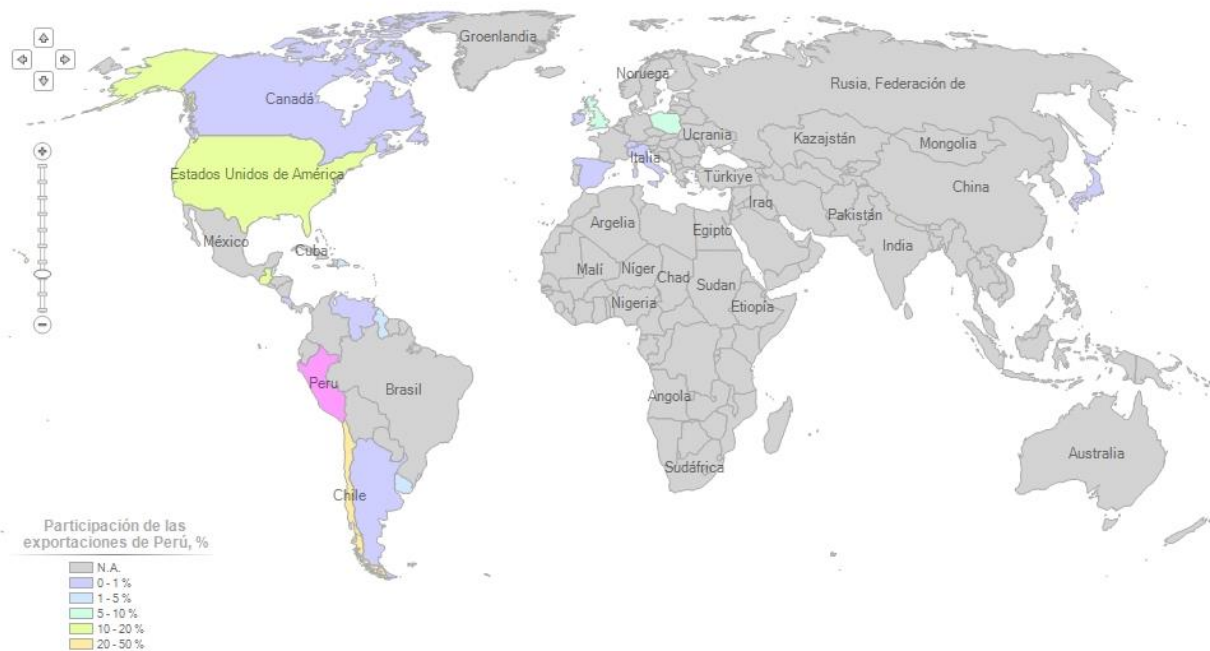
La *Camellia sinensis*, es una de las bebidas que más se consumen en el mundo, reconocida no solo por su buen sabor y aroma, sino también por sus numerosas bondades para la salud humana y el bienestar general. En su composición química incluye

polifenoles, catequinas, flavonoides, aminoácidos, vitaminas (A, C, E y complejo B), minerales (Flúor, zinc, magnesio, potasio) y una cantidad moderada de cafeína, lo que le confiere propiedades antioxidantes, antiinflamatorias y estimulantes (1).

2.4.8. Comercialización de *Camellia sinensis* nacional e internacional

En el Perú el valor comercial depende de varios factores como la zona de producción, el tipo de procesamiento (Verde, negro, blanco, artesanal y/o industrial), la calidad del producto y el mercado de destino (Nacional e internacional). Entre las principales regiones productivas de té esta: Cajamarca (San Ignacio), San Martín (Lamas y Moyobamba), Cusco (La Convención), y Huánuco (Leoncio prado) y Junín (Chanchamayo y Satipo) (Instituto Nacional de Innovación Agraria-INIA, 2021). Asimismo, a nivel internacional los países que lideran en las importaciones de *Camellia sinensis* son: Chile (20 a 50 %), Estados Unidos (10 a 20%) (ITC, 2025).

Lista de los mercados importadores para un producto exportado por Perú en 2024
Producto : 0902 Té, Incl. aromatizado



Fuente: Centro de comercio Internacional (ITC)-TRADE MAP.

Figura 1. Lista de mercados importadores de té exportado por Perú en el año 2024.

2.5. Estado de arte

2.5.1. Internacional

(Ibrahim et al., 2013) en un estudio de “Almacenamiento de carbono en el suelo y la biomasa arbórea en sistemas de usos de la tierra en paisajes ganaderos”, demostró que, en los tres países analizados (Colombia, Costa Rica y Nicaragua) las pasturas degradadas

fueron los sistemas de uso de la tierra que menor cantidad de carbono total almacenaron, mientras que los bosques secundarios y primarios registraron valores más altos. En Costa Rica, las pasturas degradadas presentaron un promedio de $26.5 \pm 10.9 \text{ t C ha}^{-1}$, significativamente menor que el de los bosques secundarios ($297.6 \pm 72.6 \text{ t C ha}^{-1}$). En Nicaragua, los mayores valores se observaron en el bosque secundario, la vegetación secundaria joven, los bancos forrajeros de gramíneas y las pasturas mejoradas con alta densidad de árboles, mientras que en las pasturas degradadas mostraron $72. \pm 6.8 \text{ t C ha}^{-1}$, el valor más bajo.

En cuanto al carbono orgánico del suelo (COS), se observaron diferencias significativas en Costa Rica y Nicaragua ($p < 0,05$), pero no en Colombia ($p = 0,0544$). En Colombia, los valores oscilaron entre $52,3 \pm 9,8$ y $81,3 \pm 3,6 \text{ t C ha}^{-1}$ según el uso de la tierra, sin diferencias estadísticamente significativas. En Costa Rica, las pasturas degradadas mostraron los niveles más bajos ($21,7 \pm 6,6 \text{ t C ha}^{-1}$), mientras que las pasturas mejoradas y las plantaciones forestales alcanzaron entre $95,1 \pm 6,6$ y $139,5 \pm 17,2 \text{ t C ha}^{-1}$. En Nicaragua, el contenido de COS varió entre $63,1 \pm 8,4 \text{ t C ha}^{-1}$ (pasturas degradadas) y $139,2 \pm 20,4 \text{ t C ha}^{-1}$ (bosques secundarios).

Respecto al carbono en la biomasa arbórea, en Colombia se registraron $158,7 \pm 12,5 \text{ t C ha}^{-1}$ en los bosques primarios. En Costa Rica se encontraron diferencias significativas ($p = 0,0042$), con las plantaciones de teca *Tectona grandis* (Teca) y los bosques secundarios como los mayores almacenadores de carbono ($92,4 \pm 11,3$ y $90,8 \pm 48,6 \text{ t C ha}^{-1}$, respectivamente). En Nicaragua, los bosques secundarios presentaron el mayor valor ($23,0 \pm 3,0 \text{ t C ha}^{-1}$), mientras que los bancos forrajeros de gramíneas registraron el menor ($6,0 \text{ t C ha}^{-1}$).

Por otro lado, (Alvarado, Andrade, & Segura, 2013), en “Almacenamiento de carbono orgánico en suelos en sistemas de producción de *Coffea arabica* L. (Café) en el municipio del Líbano, Tolima, Colombia”, en un clima clasificado por Holdridge, (1996), bosque muy húmedo premontano, 1565 msnm, con PP media anual de 2235 mm, y temperatura promedio de 20°C, muestra resultados de COS en sistemas cafetaleros sostienen un alto contenido de carbono ($33.6 - 72.3 \text{ C ha}^{-1}$, en los primeros 30 cm de profundidad evaluada). La producción en el cultivo de café que mayor acumulación de COS presentó fue el sistema de café en monocultivo, seguido del SAF-P y, por último, el SAF-N (53.3 ± 4.3 vs. 52.8 ± 4.3 vs. $49.9 \pm 4.3 \text{ t C ha}^{-1}$, respectivamente).

2.5.2. Nacional

(García Soria & Del Castillo, 2013), estima el almacenamiento de carbono y caracterización de la estructura de bosques con presencia de *Guadua sarcocarpa* (Paca). Donde muestra resultados:

- Carbono total: 242.66 t C ha⁻¹.
- COS: 120.55 t C ha⁻¹.
- Biomasa: 107.73 t C ha⁻¹.
- Necromasa: 14.39 t C ha⁻¹.
- *Guadua sarcocarpa*, aporta 66.47 t C ha⁻¹ y tiene 1660 individuos/ha.

(Condor, 2019), en su trabajo de investigación, concluye que, el carbono orgánico del suelo evidenció que no existen diferencias estadísticas significativas entre las unidades fisiográficas evaluadas. Los promedios de carbono orgánico almacenado fueron de 101.26 t/ha en montaña, 95.64 t/ha en colina alta clase 2, 91.04 t/ha en colina alta clase 1, 90.88 t/ha en colina baja clase 2 y 85.75 t/ha en colina baja clase 1. En cuanto a la materia orgánica del suelo, el ANOVA mostró diferencias estadísticas significativas entre las unidades fisiográficas. Los valores más elevados correspondieron a las unidades montaña (3.99%) y colina alta clase 2 (3.74%), mientras que las demás unidades presentaron valores comprendidos entre 3.34% y 3.39%. Estos resultados demuestran que la fisiografía sí ejerce influencia sobre el contenido de materia orgánica del suelo. Respecto a la densidad aparente del suelo, el análisis estadístico indicó que no existen diferencias significativas entre las unidades fisiográficas. Los valores obtenidos se encontraron dentro de un rango de 1.48 g/cm³ a 1.57 g/cm³, lo cual evidencia un suelo relativamente homogéneo. Finalmente, el análisis del carbono orgánico por estratos sucesivos (0–10 cm, 10–20 cm y 20–30 cm) mostró que no existen diferencias significativas entre profundidades. Esto indica que la profundidad del suelo no ejerce una influencia significativa sobre el almacenamiento de carbono orgánico en las unidades fisiográficas evaluadas

2.5.3. Local

En un estudio de “Carbono almacenado en dos sistemas de uso de suelos *Inga edulis* (Guabra) y tornillo *Cedrelinga cateniformis*. Bent. (Tornillo) en el caserío Lota, distrito Mariano Damaso Beraun”, con condiciones climáticas de: Temperatura promedio anual 24.5 °C, PP anual 3400 mm, humedad relativa de 85.3 %, altitud 628 msnm, con zona ecológica de bosque muy húmedo premontano tropical (bmh-PT); (Del Castillo, 2024), muestra resultados para C almacenado en la hojarasca de 1.44 t C ha⁻¹, sistema radicular de 0.53 t C

ha⁻¹, carbono orgánico del suelo 20.13 t C ha⁻¹, llegando un total de 20.65 t C ha⁻¹, para el sistema guaba más tornillo.

(Jara, 2016), en estudio evaluó el almacenamiento de carbono en la biomasa aérea de cinco sistemas de uso del suelo: bosque primario, bosque secundario, cultivo de café, cultivo de cacao y pastizal, ubicados en el distrito de Mariano Dámaso Beraún-Huánuco), Muestra resultados con diferencias significativas en la cantidad de biomasa aérea entre los sistemas.

- Bosque primario: presentó el valor más alto con 247,52 t ha⁻¹, atribuida a la presencia de árboles de gran porte y alta densidad de madera.
- Bosque secundario: alcanzó 190,24 t ha⁻¹, debido a una estructura aún en regeneración pero con buena cobertura vegetal.
- Cultivo de café: registró 104,13 t ha⁻¹, sustentado en el aporte de árboles de sombra y vegetación asociada.
- Cultivo de cacao: obtuvo 85,37 t ha⁻¹, con menor densidad arbórea y cobertura de copa más baja.
- Pastizal: evidenció la biomasa más reducida con 46,75 t ha⁻¹, resultado de la sustitución de vegetación leñosa por gramíneas de bajo porte.

(Ramirez, 2024), en carbono almacenado del suelo en dos sistemas de uso en la localidad de Mohena – Distrito De Anda, concluye que en suelos de con cultivo de *Theobroma cacao* obtuvo valores de COS a 0-10 cm, 10-20 cm y 20-30 cm de 24.93, 23.46, 21.13 (t/ha) respectivamente y un total de de 69.53 t/ha debido a que sus raíces de este cultivo son desarrolladas a mayor profundidad del suelo, por lo que se encontró menor volumen radicular al momento del muestreo.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Lugar de ejecución

3.1.1. Localización política y geográfica del área de estudio

El área de estudio fue en el fundo “Paulino”, extensión de 2,18 hectáreas aproximadamente, y con plantaciones de *Camellia sinensis* (Té) bajo un sistema de tresbolillo, ubicado en el caserío de Nuevo Huayhuante. Políticamente se encuentra en el distrito de Daniel Alomía Robles, provincia de Leoncio Prado, departamento de Huánuco. Asimismo, presentan coordenadas centroides Universal Transversal de Mercator (UTM – 18S) 403850-E, 8977977-N con altitud promedio de 871 msnm.

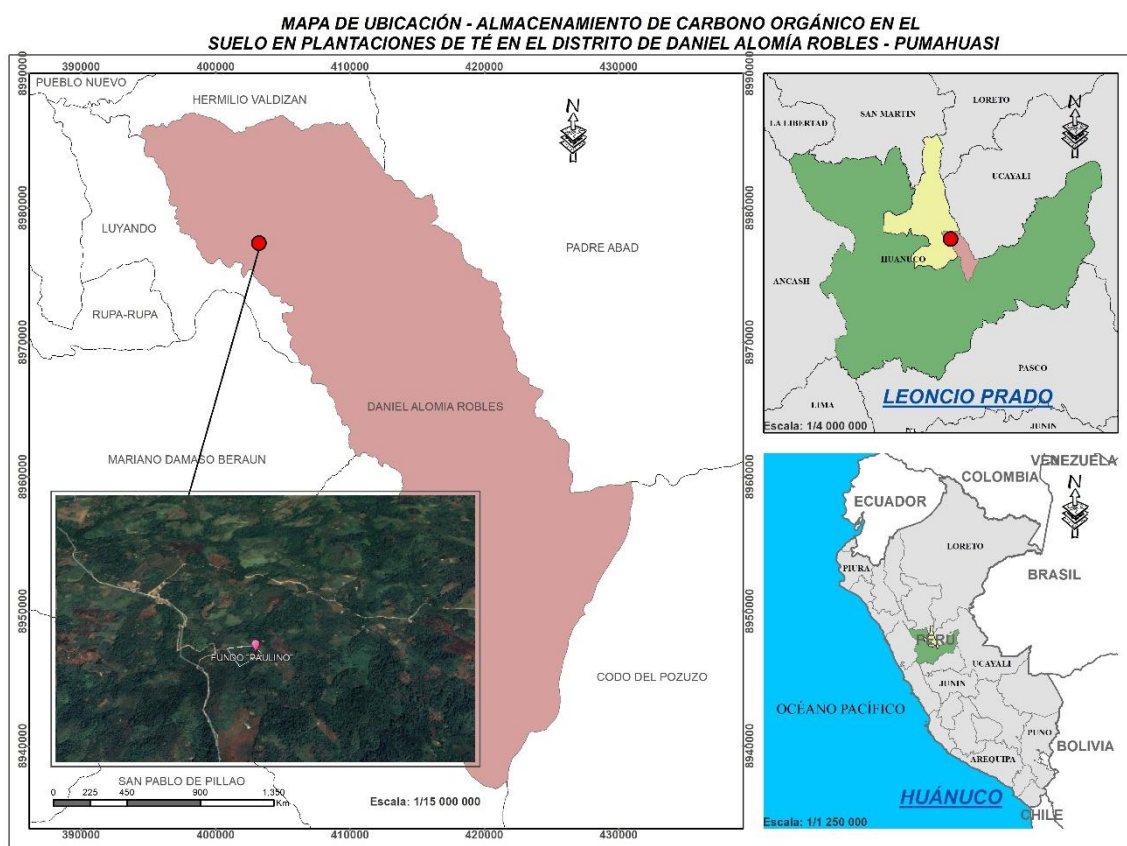


Figura 2. Mapa de ubicación fundo “Paulino”.

3.1.2. Condiciones climáticas

La zona de estudio tiene una precipitación (PP) anual de 3340.36 mm, que varía mensualmente, los meses con mayor estiaje son enero, febrero, marzo, octubre, noviembre y diciembre, y los meses con menor estiaje junio, julio, agosto (Figura 2). Asimismo, la temperatura media anual es 25.14 °C y la humedad relativa (%HR) media anual de 82.90 (Figura 3 y 4) (SENAMI, 2022).

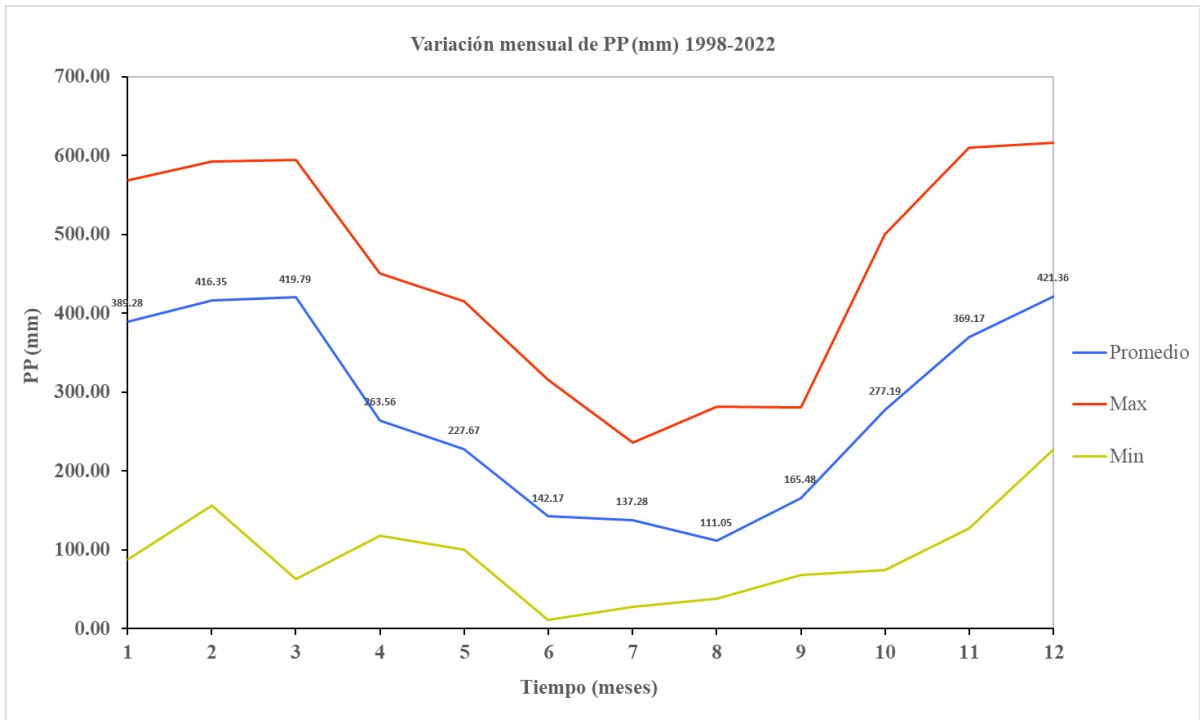


Figura 3. Variación de PP, correspondiente del año 1998 – 2022.

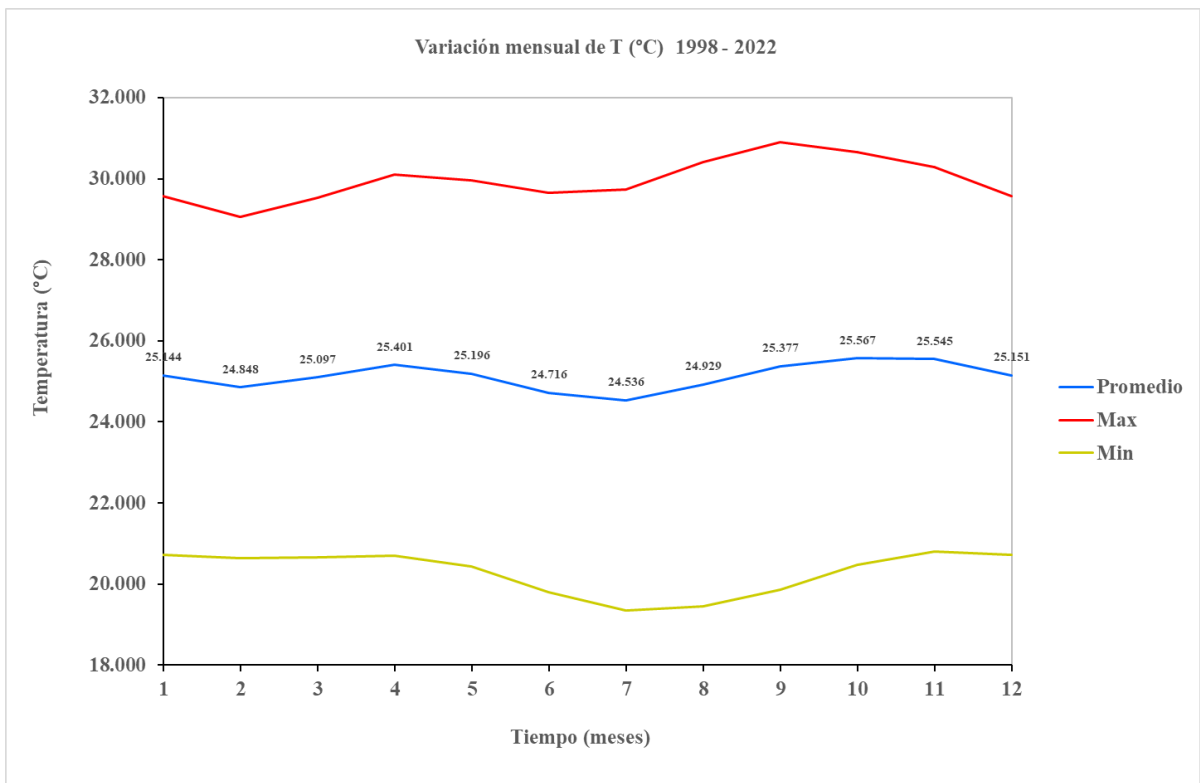


Figura 4. Variación de temperatura, correspondiente del año 1998 – 2022.

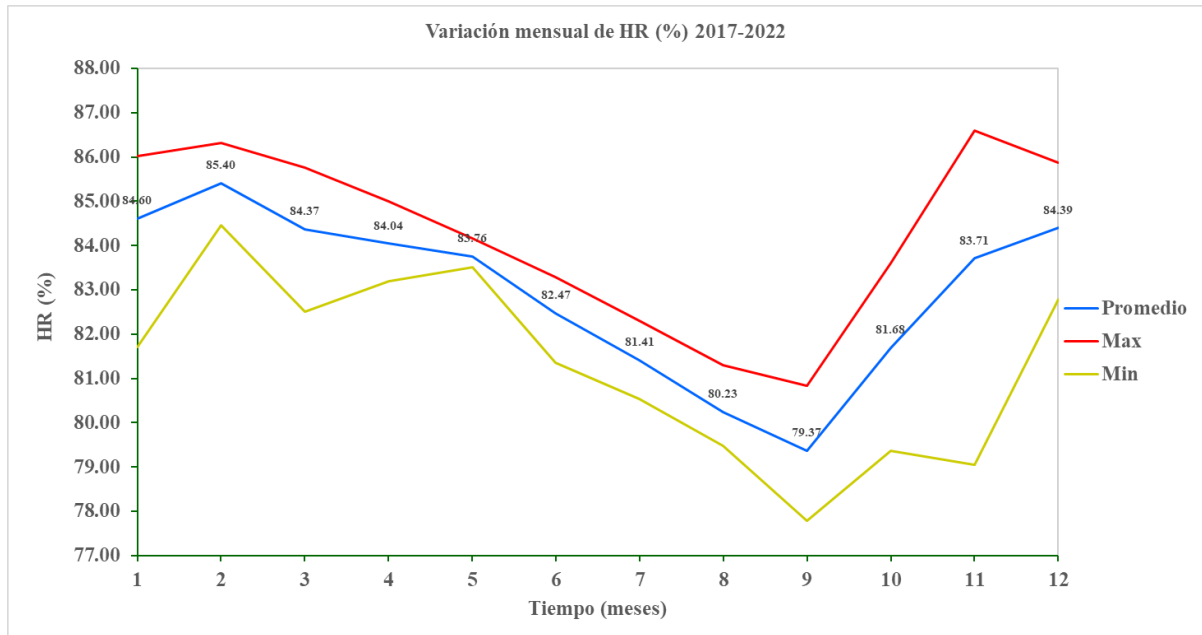


Figura 5. Variación de HR, correspondiente del año 2017– 2022.

3.1.3. Fisiografía

El suelo del área de estudio se encuentra en proceso de formación, anteriormente se tenía un cultivo de plantaciones de coca, por consecuencia estos suelos fueron degradados severamente. La pendiente de la parcela se encuentra en el rango de 10.1 – 15 % lo que significa que es moderadamente inclinado según los rangos de clasificación de la FAO, (20017).

Tabla 1. Coordenadas de la parcela de investigación

Vértice	Este	Norte	Área (ha)	Perímetro (m)
P1	403437	8977680	2.18	623
P2	403253	8977692		
P3	403346	8977535		
P4	403484	8977608		

3.1.4. Zona de vida y vegetación

Según los estudios de Holdridge, (1987), en formación vegetales del mundo y el diagrama bioclimático, el área de estudio se encuentra clasificado como Bosque muy húmedo premontano tropical (bmh-PT), zona que se caracteriza por contar con un conjunto de colinas bajas, altas, depresiones, laderas y montañas.

3.2. Materiales y métodos

3.2.1. Materiales y equipos

En la presente investigación se utilizaron varios instrumentos y materiales, pero entre ellos los más relevantes:

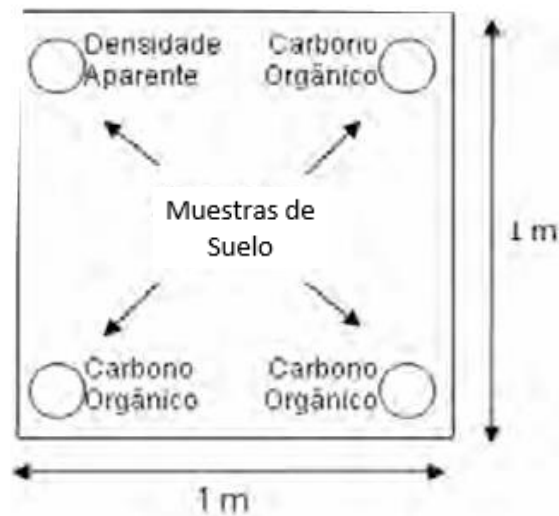
Tabla 2. Equipos e instrumentos empleados en la investigación

Parámetros	Equipos e instrumentos	Marca
Coordenadas geográficas (Área y ubicación de la parcela)	GPS (Global Positioning System)	GARMIN
Propiedades físicas	Cilindros metálicos	Eijkelkamp
	Permeámetro	Eijkelkamp
	Estufa (105 ±5°C)	Memmer
Materia orgánica	Balanza analítica	Suunto
	Titulador	Rotulador Brand

3.2.2. Metodología

3.2.2.1. Determinación de carbono orgánico en el suelo

El muestreo para recolectar muestras en zigzag (figuras 6 y 7) se realizó en la parcela de investigación según las recomendaciones de (ICRAF, 2009). Se determinaron los indicadores de densidad aparente (Dap) y materia orgánica (MO) mediante la toma de 5 muestras al azar por cada profundidad (un total de 15 muestras por variable). Las muestras se recolectaron a profundidades de 0.00 – 0.10, 0.10 – 0.20 y 0.20 – 0.30 cm. Tras su recolección y catalogación, las muestras se llevaron al laboratorio para su secado, tamizado y pesado, preparándolas para el análisis específico de cada variable. Los análisis se llevaron a cabo en los laboratorios de suelos de la Escuela Profesional de Ingeniería en Conservación de Suelos y Agua (EPICSA) y de la Facultad de Agronomía.



Fuente: (ICRAF, 2009).

Figura 6. Práctica para la toma de muestras.

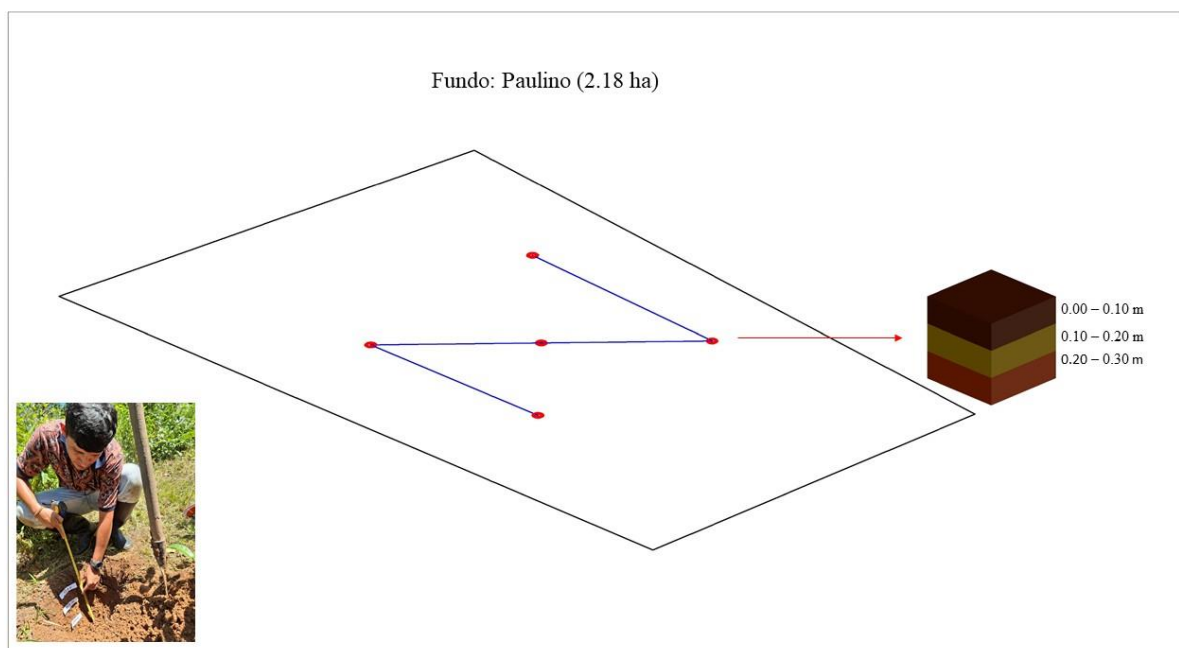


Figura 7. Modelo de zigzag para toma de muestra por cada profundidad

- **Proceso para el cálculo de la materia orgánica del suelo**

Para poder determinar la MO se empleó el método oxidación húmeda de Walkley & Black (1934). Primero se pesó 0.50 gramos de suelo seco y tamizado (2mm), se vierte en un matraz (100 ml), se añade 10 ml de dicromato de potasio, se agita aproximadamente 1 minuto, se añade 10 ml de ácido sulfúrico, se añade con cuidado 5 ml de ácido fosfórico, esperar que enfríe, se añade 25 ml de agua destilada y finalmente se añade 4 a 5 gotas de fenantrolina. Se toma la lectura con la ayuda del titulador.

- **Proceso para calcular la densidad aparente del suelo**

De las muestras recopiladas en los cilindros metálicos (5x5 cm). En el laboratorio se pasó a desecar en la estufa durante 24 horas a una temperatura de 105 °C. Posteriormente se peso la muestra seca. La densidad aparente (Dap) viene a ser calculada por la relación del peso seco obtenido con el volumen del cilindro, dicho calculo es obtenido con la siguiente ecuación:

$$Dap = mss/Vt$$

Donde:

Mss: Masa del suelo seco

Vt: Volumen del cilindro

- **Cálculo para obtener el carbono orgánico del suelo**

Para poder cuantificar el COS se empleó el método del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC), citado por ICRAF, (2009).

$$COS = \%CO \times Dap \times Ps$$

Donde:

COS: Carbono (t/ha)

%COS: 0.58 x MO

Dap: Densidad aparente

Ps: Profundidad de muestreo

3.2.2.2. Determinación de carbono orgánico en las raíces

Siguiendo el mismo modelo y orden de muestreo de la variable suelo. Para determinar el carbono orgánico en la masa radicular, se recolecto raíces finas en un cubo de muestreo (Figura 7) de volumen de 100 cm³, en las mismas profundidades, siendo almacenadas y codificadas en bolsas de polipropileno para posteriormente ser analizadas.

De las muestras, se escogió las raíces de cada una, por medio de lavado y tamizado, separando exclusivamente las raíces. Se peso para obtener el valor de la masa en húmedo, y después ser llevados a una estufa por 24 a 48 horas a una temperatura de 70 °C (Hasta conseguir un peso parcial), continuamente se vuelve a pesar en seco, para luego calcular la biomasa en (t/ha) y finalmente se hayo la cantidad de carbono en (t/ha).

$$BR = PRS$$

Donde:

BR: Biomasa de raíces (Kg/m²)

PRS: Peso seco de raíces

Después:

$$CR = BR \times 0.50 \times 10$$

Donde:

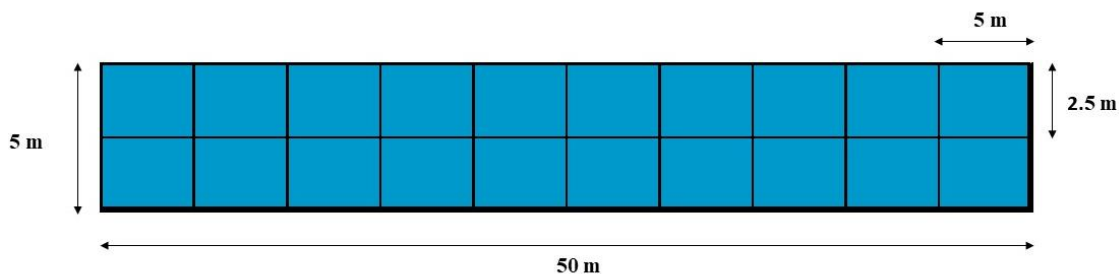
CR: Carbono orgánico de raíces (t/ha)

0.50: Factor propuesto por IPCC

10: Factor de conversión (t/ha)

3.2.2.3. Determinación de carbono orgánico en la hojarasca

Siguiendo el diseño de muestro de ICRAF, (2009), se recolecto toda la hojarasca (Hojas, restos de flores, semillas, ramas pequeñas, restos mayores (Menor a 4 cm), dentro de las sub áreas de 12.5 m² (5 x 2.5 m), posteriormente estas muestras se codificaron y almacenaron en bolsas de polipropileno para luego ser llevadas al laboratorio.



Fuente: ICRAF, (2009).

Figura 8. Diseño para la extracción de muestras de hojarasca.

Las muestras de hojarasca traídas del campo se pesaron en bolsas de papel previamente con igual codificación para obtener el peso en húmedo. Luego se hicieron secar en una estufa a 70 °C por un lapso de tiempo de 24 a 48 horas, después de conseguir el peso constante se volvió a pesar, obteniendo el peso de la muestra en seco. Posteriormente se calculó el peso de la biomasa (t/ha), finalmente se calcula la cantidad de carbono orgánico mediante las siguientes fórmulas:

$$BH = \left(\frac{Ms}{1000} \right) \times \left(\frac{10000}{\text{Área de parcela}} \right)$$

Donde:

BH: Biomasa en hojarasca (t/ha)

1000: Factor para convertir a toneladas

10000: Factor para convertir en hectáreas

Después:

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

En donde:

CH: Carbono orgánico de la hojarasca

0.50: Factor propuesto por el IPCC

3.3. Variables predeterminadas

3.3.1. Variables independientes

- Plantaciones de Té

3.3.2. Variables dependientes

- Carbono orgánico del suelo
- Carbono orgánico de la masa radicular
- Carbono orgánico de la hojarasca

3.3.3. Variables intervinientes

- Características climáticas
- Pendiente del área de estudio

3.4. Análisis estadísticos del conjunto de datos

La base de datos se analizó mediante estadística descriptiva (El total, media, máximo, mínimo, coeficiente de variación), para determinar el almacenamiento de carbono orgánico del suelo en plantaciones de *Camellia sinensis* (Té) en el distrito Daniel Alomía Robles – Pumahuasi. Los gráficos de barras, líneas diagrama de caja y de torta, ilustran los resultados de los parámetros determinados. Los datos se procesaron y analizaron con los programas R y RStudio.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Determinación de carbono orgánico en el suelo

En la Tabla 03 se visualiza los valores resultantes de las variables de, densidad aparente (Dap), materia orgánica (MO) y carbono orgánico del suelo (COS), obtenidas del área de estudio fundo “Paulino”.

Tabla 3. Carbono orgánico almacenado en diferentes profundidades del suelo

Profundidad (m)	Parámetros	Unidad	Resultado			
			Media	Máximo	Mínimo	C.V. (%)
0.00 - 0.10	Dap	gm/cm ³	1.01	1.11	0.97	5.55
	MO	%	2.41	2.67	2.18	8.33
	COS	t/ha	14.10	15.54	13.27	6.47
0.10 - 0.20	Dap	gm/cm ³	1.05	1.12	1.02	3.81
	MO	%	2.25	2.48	2.04	8.77
	COS	t/ha	13.70	15.00	12.56	7.40
0.20 - 0.30	Dap	gm/cm ³	1.08	1.11	1.05	2.04
	MO	%	2.04	2.36	1.69	13.62
	COS	t/ha	12.77	14.90	10.80	12.82

Dap=Densidad aparente, MO=Materia orgánica, COS=Carbono orgánico del suelo, C.V.=Coeficiente de variación.

Los resultados analizados de las diferentes profundidades, la Dap alcanza un promedio 1.01 g/cm³ para los primeros 0.10 m, 1.05 g/cm³ en profundidad de 0.10 – 0.20 m y 1.08 g/cm³ en profundidad de 0.20 – 0.30 m, lo que significa que estos resultados son propios de suelos agrícolas en áreas acidas de la zona, resultando una condición normal de la capa de suelo donde no existe restricción radicular. También muestra una Dap mínima de 0.97 g/cm³, lo que sugiere que estos primeros 0.10 m de profundidad va mejorando la porosidad a consecuencia de un buen manejo agronómico del cultivo de Té. Según los rangos de la FAO, (2019), la densidad aparente menores 1.10 g/cm³ se clasifican como “muy bajas” lo que condiciona la parte física del suelo en el fundo “Paulino”, así mismo, el suelo viene a ser muy suelto, donde va retener mayor porcentaje de MO.

Por otro lado, se observa que en la profundidad de 0.10 m los valores de MO tienen un máximo de 2.67 t/ha, un mínimo de 2.18 t/ha y un promedio de 2.48 t/ha, resultados que son mayores a los de más profundidad, la FAO, (2014). Menciona que esto se debe que esta capa es biológica y químicamente más activa con una clasificación “media” que nos da una condición aceptable acercando a la fertilidad.

El COS en la parcela de muestreo investigada alcanza promedios de 14.10, 13.70 y 12.77 t/ha disminuyendo a mayor profundidad, ya que estos suelos anteriormente fueron ex cicales donde se fue degradando paulatinamente. Asimismo, según la FAO, (2019) estos resultados significan que se encuentran en una recuperación progresiva en el aumento de almacenamiento de carbono.

El (IPCC, 2006), menciona que el almacenamiento de carbono en suelos tropicales se debe al factor climático, a que los suelos zona arcillosos (Retienen mayor porcentaje de carbono), a un buen uso del suelo, un buen manejo agrícola, constante aporte de residuos orgánicos acompañado de cobertura vegetal viva. Pero que en suelos ácidos con mal manejo nos genera pérdidas de carbono, por lo cual se considera un encalado especialmente en suelos con cultivos perennes como es el té.

Los resultados alcanzados de COS en el fundo “Paulino”, oscilan entre de 13.27 a 15.54 t/ha con un promedio de 14.10 t/ha, en los 0.10 m de profundidad; de 12.56 a 15.00 t/ha con un promedio de 13.70 t/ha, en 0.10 a 0.20 m de profundidad y de 10.80 a 14.90 t/ha con un promedio de 12.77 t/ha, en 0.20 a 0.30 m de profundidad, no son similares a los resultados que presenta (Alvarado, Andrade, & Segura, 2013), en similares condiciones climáticas, fisiográficas en Colombia, ya que están bajo un sistema de agroforestales, presentando resultados de COS que varía de 33.60 a 72.30 t/ha con un promedio de 52.95 t/ha. De igual manera, el coeficiente de variación en la profundidad de 0.10 m hasta 0.20 m, es 6.47 y 7.40 % lo significa que los datos procesados son muy homogéneos y de alta precisión; para la profundidad de 0.20 a 0.30 m alcanza un coeficiente de variación de 12.82 %, también los datos evaluados de COS tienen buena homogeneidad, que nos brinda resultados confiables (Hernández, 2014).

Tabla 4. Carbono orgánico almacenado a 0.30 m de profundidad

Profundidad (m)	COS (t/ha)	TOTAL
0.00 - 0.10	14.10	
0.10 - 0.20	13.70	40.57
0.20 - 0.30	12.77	

COS=Carbono orgánico del suelo

En la tabla 04, se muestra el COS a los primeros 0.30 m de profundidad tiene un total de 40.57 t/ha, por consiguiente, (Del Castillo Del Castillo, 2024), menciona que en suelos tropicales presentan una alta tasa de descomposición de la materia orgánica, lo que inhibe el almacenamiento estable de carbono. No obstante, cuando se mantienen sistemas de cultivo permanente, aporte continuo de restos orgánicos y poca alteración física al suelo, tal como los

bosques tropicales y sistemas agroforestales, el almacenamiento de carbono se incrementa paulatinamente, dejando como evidencia un papel del manejo como factor clave. Este autor reporto 120.55 t/ha de COS pero en sistemas de Guadua sarcocarpa, en similares característica fisiográficas y climáticas.

Por otro lado, el valor total de COS a los 0.30 m de profundidad de la presente investigación es superior a los reportados por Blas, (2021), quien sostuvo sus resultados 20.80 t/ha de COS (0.20 m de profundidad), en suelos de bosques tropical húmedos, pese a contar con relieve de superficie plana, y con un sistema de permeabilidad. Se discute que sea por el factor de temperatura ya en esos suelos de Ucayali presentan temperaturas más calurosas, por consiguiente, limitan la actividad microbiana.

En el distrito de Mariano Damaso Beraun que presentan las mismas características climáticas (24.5 °C, humedad relativa de 85.3 %, PP anual de 3400 mm) y fisiográficas (Colina alta),(Del Castillo, 2024), reporta 20.13 t/ha y 20.65 t/ha de COS en sistema de guaba y tornillo respectivamente, resultados que alcanzan el 50% menor que de la presente investigación, pues esto se debe al buen manejo del cultivo de Té en el fundo “Paulino”.

De igual manera, Ramirez, (2024), en una investigación en la localidad de Mohena – Distrito De Anda, en suelos con cultivo de *Theobroma cacao* obtuvo resultados de COS a 0-10 cm, 10-20 cm y 20-30 cm de 24.93, 23.46, 21.13 (t/ha) respectivamente y un total de de 69.53 t/ha debido a que sus raíces de este cultivo son desarrolladas a mayor profundidad del suelo, por lo que se encontró menor volumen radicular al momento del muestreo.

4.2. Determinación de carbono orgánico en las raíces

La Tabla 05 sintetiza la estadística descriptiva del estado actual del suelo concerniente al parámetro del carbono almacenado en las raíces de té, en el fundo “Paulino”.

Tabla 5. Carbono almacenado en la biomasa radicular

Profundidad de muestreo (m)	Unidad	Resultado			
		Media	Máximo	Mínimo	C.V. (%)
0.00 - 0.10		2.57	3.00	2.02	14.69
0.10 - 0.20	CR (t/ha)	1.05	1.28	0.90	13.40
0.20 - 0.30		0.94	1.02	0.90	4.77

CR=Carbono en biomasa radicular.

En la tabla 05 se observa el promedio de carbono en la biomasa radicular con 2.57 t/ha a 0.10 m de profundidad, 1.05 t/ha de 0.10 a 0.20 m de profundidad y 0.94 t/ha de 0.20 a 0.30 m de espesor. Además, se visualiza que el porcentaje del coeficiente de variación disminuye según aumenta los rangos de profundidad determinada, según Fernández, (2014), los datos

procesados van de homogéneos a muy homogéneos, permitiendo resultados confiables y de alta precisión. El carbono almacenado en las raíces disminuye según aumenta la profundidad, lo que significa que a mayor profundidad menor cantidad de raíces, debido también a la densidad aparente. Así mismo, (Del Castillo, 2024), en suelos con características de topografía de precipitación similares en sistemas de suelos de guaba y tornillo, (Del Castillo, 2024), reporta 0.53 t/ha de carbono en la masa radicular.

La planta de *Camellia sinensis* es un cultivo perenne, con raíces profundas y son de alta producción de biomasa subterránea; dichas características lo vuelven en una importante fuente de almacenamiento de carbono en el suelo, especialmente en raíces finas menores a 2mm (Rapidez en el intercambio de carbono), raíces gruesas mayores a 2 mm (Sostiene almacenamiento de carbono a largo plazo, mencionado por la FAO, (2017).

4.3. Determinación de carbono orgánico en la hojarasca

En la Tabla 06 se resume la estadística descriptiva del carbono en el fundo “Paulino” concerniente a la hojarasca.

Tabla 6. Carbono almacenado en la hojarasca

Subárea	BH (t/ha)	CH (t/ha)
1	0.14	0.07
2	0.15	0.08
3	0.14	0.07
4	0.14	0.07
5	0.14	0.07
6	0.12	0.06
7	0.14	0.07
8	0.14	0.07
9	0.13	0.06
10	0.12	0.06
11	0.15	0.08
12	0.11	0.06
13	0.12	0.06
14	0.09	0.04
15	0.11	0.06
16	0.14	0.07
17	0.14	0.07
18	0.10	0.05
19	0.10	0.05
20	0.11	0.06
Promedio	0.13	0.06
Total	2.54	1.27
C.V. (%)	14.92	

BH=Biomasa en la hojarasca, CH=Carbono orgánico en la hojarasca

En plantaciones de té del fundo “Paulino” los resultados de carbono orgánico en la hojarasca fue un total de 1.27 t/ha, y una biomasa de 2.54 t/ha, lo que se puede comprobar que aproximadamente el 50 por ciento de la biomasa secado a estufa es C, a consecuencia de toda la biomasa obtenido del área de muestreo, así mismo, se analiza que la hojarasca en plantaciones de té demora en descomponer por lo tanto la biomasa obtenida es menor de modo que este resultado se origina del producto de la biomasa seca por el factor 0.5 constante usado por el (IPCC, 2006), del mismo modo (Del Castillo Del Castillo, 2024), menciona que en el distrito de Mariano Dámaso Beraún-Huánuco, en un estudio elaborado, el carbono almacenado en la hojarasca es de 1.44 t/ha, esto se debe como lo menciona (Jara Sanchez, 2016), que el tiempo del cultivo de las plantaciones de té va depender mucho el aumento hojarasca, sumado a ello las características del suelo y la variabilidad climática de tal manera que la diferenciación de la biomasa presente en el suelo, no obstante, también tiene mucho que ver el sistema de manejo del cultivo con buenas prácticas agrícolas, limpieza que se ejecutan cuando toca mantener la parcela, considerando que la gran parte de los agricultores optan por retirar las ramas y hojas podadas de la plantación, en lo que otros comuneros las conservan amontonando en las calles intermedias entre plantas, las que formando montones, dimiten a la descomposición de manera más natural. Por otro lado (García Soria & Del Castillo, 2013), deriva en suelos tropicales, el ingreso inmediato de carbono orgánico es provenientes en mayor parte de muestras de especies arbóreas.

En general el contenido de C en los diferentes componentes analizados en el fundo “Paulino” con plantaciones de té, el suelo tiene mayor reserva, seguido de la raíz y la hojarasca.

Tabla 7. Carbono almacenado en los diferentes componentes

Componente	Contenido de carbono (t/ha)	Contenido de carbono (%)
Suelo	40.57	87.42
Raíz	4.57	9.85
Hojarasca	1.27	2.74
Total	46.41	100.00

En la tabla anterior se puede observar que el componente suelo el contenido de C es de 87.42% seguido de la raíz con 9.85%, y la hojarasca que tiene 2.74% del C almacenado

CONTENIDO DE CARBONO

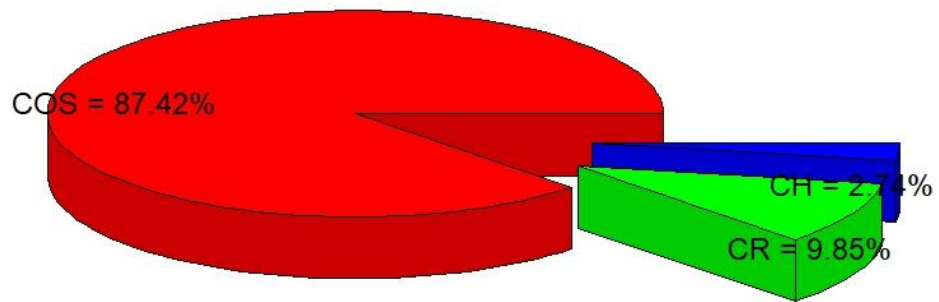


Figura 9. Diagrama de torta que representa el porcentaje de carbono.

V. CONCLUSIONES

1. Se estimó el almacenamiento de carbono orgánico en el suelo a diferentes profundidades (0.00 a 0.10, 0.10 a 0.20 y de 0.20 a 0.30 m), con resultados promedios de 14.10, 13.70, y 12.77 t/ha respectivamente. Con coeficiente de variación menores a 12.82%. La primera ca de 0.10 m resultó con mayor contenido de COS (14.10 t/ha). También se muestra que en los primeros 0.30 m de profundidad el COS almacenado llega a un total de 40.57 t/ha.
2. En la biomasa de las raíces en el suelo en plantaciones de *Camellia sinensis* (Té), el carbono almacenado contiene 2.57, 1.05 y 0.94 t/ha para profundidades de 0.00 a 0.10, 0.10 a 0.20 y 0.20 a 0.30 respectivamente. El carbono en la biomasa radicular (CR), en los 0.30 m de profundidad, llega a un total de 4.57 t/ha,
3. El carbono orgánico de la hojarasca en plantaciones de té alcanza un total de 1.27 t/ha, y contiene 2.54 t/ha de biomasa en la hojarasca. El coeficiente de variación es de 14.92 %.
4. A 0.30 m de profundidad el C almacenado es 40.57 y 4.57 t/ha para el componente suelo y raíz, respectivamente seguido de la hojarasca (1.27 t/ha), y representan el 87.42, 9.85 y 2.74 % para cada variable.

VI. PROPUESTAS A FUTURO

1. Realizar otras investigaciones en diferentes parcelas dentro y fuera del distrito para dar mayor credibilidad de que el cultivo de té ayuda a mejorar el suelo, en el almacenamiento de carbono, por consiguiente, mejora las propiedades físicas y químicas del suelo.
2. Se recomienda sembrar el cultivo de *Camellia sinensis* (Té) como un plan de manejo sustentable en la agricultura asociado a sistemas agroforestales (Guaba, paca, bolaina, capirona), así regular las características climáticas dentro de la parcela para un mejor desarrollo del té.
3. Basado en estos resultados, instruir a los agricultores del cultivo de té con un buen manejo agronómico, no solo pueden obtener ganancias, sino que a la vez van mejorar el suelo, y participar en mercados de venta de carbono.

VII. REFERENCIAS

- Alvarado, J., Andrade, H. J., & Segura, M. (2013). Almacenamiento de carbono orgánico en los suelos en sistemas de café (*Coffea arabica* L.) en el municipio del Líbano, Tolima, Colombia. *Colombia Forestal*, 16(1), 21 - 31.
- Cambindo Altafuya, K. A. (2024). *Deforestación, cambio de uso del suelo y almacenamiento de carbono en el Parque Nacional Cotacachi Cayapas*. [Tesis de maestría, Universidad Andina Simón Bolívar]. Ecuador: Quito, EC. Obtenido de <http://hdl.handle.net/10644/10088>
- Centro de Comercio Internacional . (2025). *Estadísticas del comercio para el desarrollo internacional de las empresas*.
- Ciesla, W. M. (1996). Climate Change, forest and forest management. *Food and Agriculture Organization of the United Nations*, 38(126). Obtenido de <https://www.fao.org/4/v5240e/v5240e00.pdf>
- Condor, J. 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 maestría, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. Repositorio UNAS. Obtenido de <http://repositorio.unas.edu.pe/handle/UNAS/2057>
- Del Castillo Del Castillo, K. (2024). *Carbono almacenado en dos sistemas de uso de suelos guaba (*Inga Edulis*) y tornillo (*Cedrelinga cateniformis*. Bent.) en el caserío Lota, distrito Mariano Damaso Beraun*. [Tesis pre grado, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.14292/3109>
- Díaz Chuiquizuta, P., Fachin Ruiz, G., Tello Salas, C., & Arévalo López, L. (2016). Carbono almacenado en cinco sistemas de uso de tierra, en la región San MartínPerú. *RINDERESU*, 1(2), 57 - 67.
- Falcón Guerrero, B. E., & Falcón Guerrero , R. W. (2024). Fitoquímica de la *Camellia sinensis* o té verde: una actualidad. *Revista KIRU ISSN*, 21(2), 71 - 76. doi:<https://doi.org/10.24265/kiru.2024.v21n2.04>
- FAO. (2014). *Atlas de suelos de América Latina y el Caribe*. Union Europea: L-2995 Luxembourg, 176 pp. doi:10.2788/37334
- FAO. (2017). Soil organic carbón: the hidden potential.
- FAO. (2019). Measuring and modelling soil carbon stocks and stock changes in livestock production systems.

- FAO. (2019). Recarbonization of global soils.
- Freitas, A. L., Otarola, A. E., Del Castillo, T. D., Linares, B. C., Martinez, D. P., & Malca, S. G. (2006). Servicios ambientales de almacenamiento y secuestro de carbono del ecosistema aguajal en la Reserva Nacional Pacaya Samiria. *Documento técnico N° 29*, 59.
- García Soria , D., & Del Castillo, D. (2013). Estimación del almacenamiento de carbono y estructura en bosques con presencia de Bambú (*Guadua sarcocarpa*) de la comunidad nativa bufeo Pozo, Ucayali, Perú. *Folia Amazónica*, 22(1 - 2).
- Hernández, J. E., Tirado Torres, D., & Beltrán Hernández, R. I. (Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo de 2014). Captura de carbono en los suelos. *Bole*.
- Ibrahim, M. A., Chacón, M., Cuartas, C., Naranjo, J., Ponce, G., Vega, P., & Casasola, F. (2013). Almacenamiento de carbono en el suelo y la biomasa arboréa en sistemas de usos de la tierra en paisajes ganaderos de Colombia, Costa Rica y Nicaragua. *Agroforestería en las Américas*(45 (2007)).
- ICRAF. (2009). Guía para la determinación de carbono en pequeñas propiedades rurales. Centro Mundial Agroforestal.
- Instituto Nacional de Innovación Agraria. (2021). *Evaluación del potencial productivo del cultivo de té (Camellia sinensis) en la región San Martín*. INIA. Obtenido de <https://www.inia.gob.pe>
- IPCC. (2006). Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Volume 4: Agriculture, Forestry and Other Land Use. Tokyo, Japón.
- IPCC. (2019). 2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories.
- Jara Sanchez, R. A. (2016). *Almacenamiento de carbono en el suelo en dos tipos de sistemas agroforestales cacao (theobroma cacao l.) y café (coffea arábica l.) en Hermilio Valdizan*. [Tesis de Pregrado, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.14292/1363>
- Lizama Sierra, F. P. (2025). El cultivo y comercialización internacional de té (*Camellia sinensis*).
- Modal, T. K. (2007). Biotechnology in Agriculture and Forestry. *Internacional Journal of Tea Science*, 60, 519 - 535.
- Molina, S. P., Hebe, Y. R., Pérez, M. L., & Mroginski, L. A. (2013). Regeneración de plantas de té (*Camellia sinensis*) por cultivo in vitro de meristemas, yemas axilares y segmentos

- uninodales. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo*, 45(1), 0 - 0.
- Mondal, T. K. (2002). Camellia Biotechnology: A Bibliographic Search. *International Journal of Tea Science*, 1(2), 39 - 58. doi:10.20425/ijts.v1i2and3.4598.
- Moreira, F. M. (2012). Manual de biología de suelos tropicales. Instituto Nacional de Ecología.
- Ojeda Rojas, J. G., Amarilla Rodríguez, S. M., & Villalba Marín, L. J. (2022). Variación del stock de carbono en plantaciones forestales y bosques nativos de la Ecorregión del Bosque Atlántico del Alto Paraná, Paraguay. *Investigación Agraria*, 24(1). doi:<https://doi.org/10.18004/investig.agrar.2022.junio.2401701>
- Peralta Romero, E. (2020). *Evaluación in vitro del efecto del camellia sinensis (Te Verde), sobre cultivos de streptococcus mutans (ATCC 25175)*. [Tesis doctoral, Universidad Nacional Federico Villarreal]. Repositorio UNFV. Obtenido de <http://repositorio.unfv.edu.pe/handle/UNFV/4515>
- PNUMA. (2019). El legado del Protocolo de Kioto y el camino hacia el Acuerdo de París. Obtenido de <https://www.unep.org>
- Rahman, M., & Biswas, P. (2018). Soil organic carbon dynamics in tea gardens of the Eastern Himalayas. *Environmental Research Letters*, 13(5). doi:<https://doi.org/10.1088/1748-9326/aabf4d>
- Ramirez, G. M. (2024). Carbono Almacenado del Suelo en Dos Sistemas de Uso en la Localidad de Mohena – Distrito de Anda. [Tesis de Pregrado, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. <https://hdl.handle.net/20.500.14292/3132>
- Rojas, A. S., Andrade, H. J., & Segura M., M. A. (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). doi:<https://doi.org/10.31910/rudca.v21.n1.2018.662>
- Taylor. (2022). Aminoácidos y ácidos orgánicos de las raíces de las plantas en el suelo. *Pastos y Forrajes*, 32(3).
- Zavala Solórzano, J. W., Mansilla Minaya, L., Zavala Guerrero, S. L., & Merino Maguiña, É. G. (2019). Mitigación del cambio climático a través del secuestro y almacenamiento del carbono y evaluación de los servicios ambientales del SAF caucho o jebe (*Hevea brasiliensis*) y cacao (*Theobroma cacao* L.). In *Anales Científicos*, 80(2), 462 - 475. Obtenido de <http://revistas.lamolina.edu.pe/index.php/acu/index>

ANEXOS



Figura 10. Autorización para ejecutar la investigación.



Figura 11. Demarcación de la parcela para (Limite para no ingresar).



Figura 12. Demarcación de la parcela para la recolección de hojarasca.



Figura 13. Excavación de una calicata.



Figura 14. Medición de la calicata.



Figura 15. Recolecta de muestras de suelo.



Figura 16. Codificación a las muestras de suelo.



Figura 17. Toma de muestras en cilindro metálico.



Figura 18. Peso inicial de las muestras en los cilindros metálicos.



Figura 19. Secado de las muestras de los cilindros en una estufa el laboratorio de suelos.



Figura 20. Secado de las muestras de las raíces en una estufa.

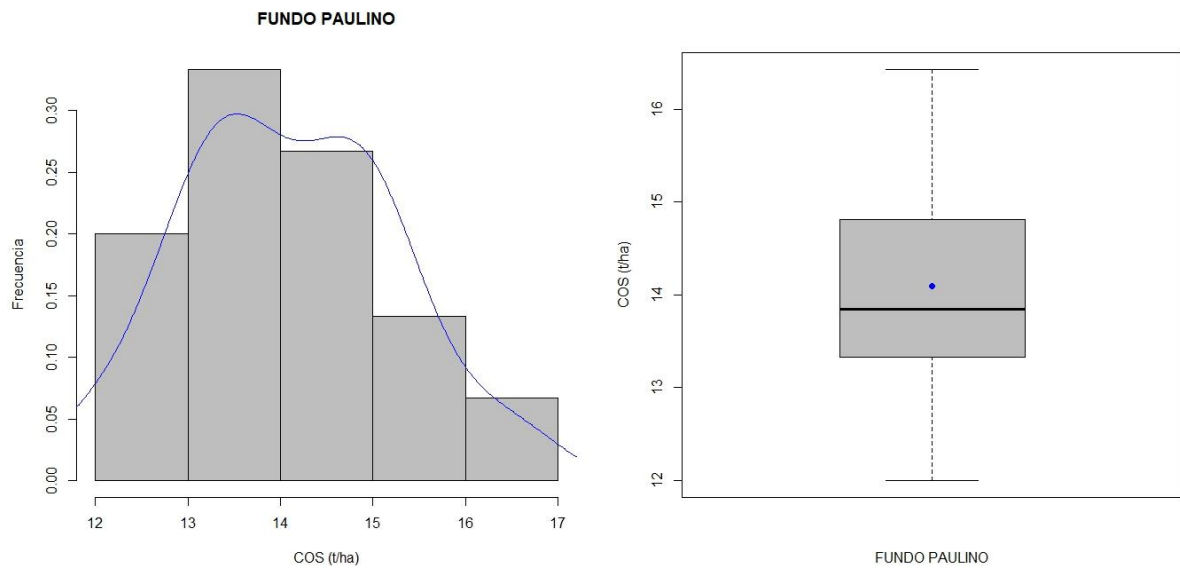


Figura 21. Gráficos demostrativos que los datos evaluados siguen una distribución lineal