

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



ESTIMACION DE CARBONO ORGÁNICO EN EL SUELO Y HOJARASCA DE
SISTEMAS PRODUCTIVOS EN LA LOCALIDAD NUEVO SAN MARTÍN,
DISTRITO PÓLVORA

Tesis

Para optar el título de:

INGENIERO EN CONSERVACION DE SUELOS Y AGUA

PRESENTADO POR:

GERSON JIMENEZ PINTADO

Tingo María – Perú

2025



ACTA DE SUSTENTACION DE TESIS N° 016-2026-FRNR-UNAS

Los que suscriben, Miembros del Jurado de Tesis, reunidos con fecha 17 de diciembre de 2025, a horas 08:00 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:

“ESTIMACION DE CARBONO ORGÁNICO EN EL SUELO Y HOJARASCA DE SISTEMAS PRODUCTIVOS EN LA LOCALIDAD NUEVO SAN MARTÍN, DISTRITO POLVÓRA”

Presentado por el Bachiller: **JIMENEZ PINTADO, GERSON** 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, 11 de febrero de 2026

Dr. WILFREDO ALVA VALDIVIEZO
PRESIDENTE

Ing. MSc. ERLE OTTO J. BUSTAMANTE SCAGLIONI
MIEMBRO



Ing. MSc. MARCO ANTONIO DUEÑAS TUESTA
MIEMBRO

Dr. JOSE DOLORES LEVANO CRISOSTOMO
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 078 - 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
ESTIMACION DE CARBONO ORGÁNICO EN EL SUELO Y HOJARASCA DE SISTEMAS PRODUCTIVOS EN LA LOCALIDAD NUEVO SAN MARTÍN, DISTRITO PÓLVORA	GERSON JIMENEZ PINTADO	10 % Diez	Menor a 20 %

Tingo María, 09 de marzo 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



ESTIMACION DE CARBONO ORGÁNICO EN EL SUELO Y HOJARASCA DE
SISTEMAS PRODUCTIVOS EN LA LOCALIDAD NUEVO SAN MARTÍN,
DISTRITO PÓLVORA

Autor	: Bach. Gerson Jimenez Pintado
Asesor (es)	: Dr. Jose Dolores Levano Crisostomo
Programa de investigación	: Ciencias básicas
Línea de investigación	: Ecología y conservación de suelos
Eje temático	: Secuestro de carbono atmosférico por el suelo
Lugar de ejecución	: Distrito de Pólvora – Localidad Nuevo San Martín
Duración	: 6 meses
Financiamiento	: Propio S/. 3 500,00

Tingo María – Perú. 2025

DEDICATORIA

La presente tesis la dedico a Dios, por haberme guiado en el buen camino y acompañarme en los momentos tanto felices como difíciles, permitiéndome culminar mi carrera profesional.

A mis padres, quienes con su ejemplo, enseñanzas y valores me han formado para enfrentar los retos de la vida, brindándome siempre apoyo y consejos que han sido fundamentales en mi desarrollo personal.

A mi hermano, por su constante apoyo y por estar presente en todo momento.

A toda mi familia, agradezco profundamente la ayuda y respaldo que me brindaron a lo largo de mi formación académica.

No puedo dejar de mencionar a mis profesores de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, cuya guía, enseñanza y orientación han sido de un valor incalculable en mi crecimiento profesional y personal

El autor

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional Agraria de la Selva, en especial a la Facultad de Recursos Naturales Renovables que me acogió en sus aulas; y así lograr estudiar la carrera que me apasiona, logrando culminar con éxito mi formación profesional.

A todos mis profesores de la Facultad de Recursos Naturales Renovables, quienes contribuyeron en mi formación académica.

A los miembros integrantes del jurado de tesis: Dr. Wilfredo Alva Valdiviezo, Ing. MSc. Erle Otto Javier Bustamante Scaglioni, Ing. MSc. Marco Antonio Dueñas por el tiempo tomado para la evaluación de mi tesis.

Al Dr. José Dolores Lévano Crisóstomo, docente de la Facultad de Recursos Naturales Renovables de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, asesor del presente trabajo, por su función como mentor y formador, amistad y la desinteresada asistencia en la presente tesis.

A mi familia; por ser los principales promotores de mí sueño; gracias a ellos por confiar, creer y las palabras de aliento; gracias a mi abuela y a mi madre por estar dispuestas a acompañarme cada momento de mi vida, estando en las largas y agotadoras noches con una taza de café.

ÍNDICE

	Página
I. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Objetivo general	2
1.2. Objetivos específicos.....	2
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
2.1. Carbono (C).....	3
2.2. Fijación y secuestro de carbono	3
2.3. Reserva de carbono en sistemas productivos	4
2.4. Captura y almacenamiento de carbono	5
2.5. Biomasa	6
2.6. Ciclo de carbono.....	7
2.7. Carbono orgánico	8
2.8. Materia orgánica.....	9
2.9. Dinamismo del COS.....	10
2.10. Carbono orgánico del suelo (COS)	11
2.10.1. COS en hojarasca	12
2.11. Carbono orgánico en sistemas de uso de la tierra	12
2.11.1. Cultivos	12
2.11.2. Agrosilvicultura.....	13
2.12. Estado del arte	14
2.12.1. Antecedentes internacionales	14
2.12.2. Antecedentes nacionales y regionales	15
III. MATERIALES Y MÉTODOS	17
3.1. Lugar de ejecución	17
3.1.1. Ubicación geográfica	17
3.1.2. Criterios de investigación.....	18
3.1.3. Ubicación Política	18
3.1.4. Características del área de estudio.....	19
3.2. Materiales y equipos.....	19
3.2.1. Materiales	19
3.2.2. Equipos.....	19
3.3. Tipo y nivel de investigación	19

3.4.	Diseño de investigación.....	19
3.5.	Características de los sistemas productivos.....	20
3.6.	Población y muestra	20
3.6.1.	Población.....	20
3.6.2.	Muestra.....	20
3.7.	Variables.....	21
3.7.1.	Independiente	21
3.7.2.	Dependiente.....	21
3.8.	Variables.....	21
3.9.	Metodología.....	21
3.9.1.	Estimación el carbono orgánico en el suelo de sistemas productivos con plantación de yuca (<i>Manihot esculenta C.</i>), cacao (<i>Theobroma cacao L.</i>) y plátano (<i>Musa paradisiaca L.</i>)	24
3.9.1.1.	Reconocimiento del área.....	24
3.9.1.2.	Levantamiento de muestras de suelo y densidad aparente	25
3.9.1.3.	Levantamiento de datos para estimación de C orgánico del suelo y densidad aparente.	25
3.9.1.4.	Calculo para estimacion de C organico del suelo y densidad aparente.	25
3.9.2.	Calculo para estimacion de C organico del suelo y densidad aparente.....	24
3.9.2.1.	Reconocimiento del área.....	27
3.9.2.2.	Levantamiento de muestras de hojarasca.....	28
3.9.2.3.	Levantamiento de datos para estimación de C orgánico en hojarasca.....	28
3.9.2.4.	Cálculo para estimación de C orgánico en hojarasca	29
3.9.3.	Diseño de la tesis.....	29
3.9.3.1.	Modelo aditivo lineal	30
3.9.3.2.	Unidad experimental.....	30
3.9.3.3.	Análisis de varianza	31
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	32
4.1.	Estimación el carbono orgánico en el suelo de sistemas productivos con plantación de yuca (<i>Manihot esculenta C.</i>), cacao (<i>Theobroma cacao L.</i>) y plátano (<i>Musa paradisiaca L.</i>).	32
4.2.	Estimación el carbono orgánico en hojarasca de sistemas productivos con plantación de yuca (<i>Manihot esculenta C.</i>), cacao (<i>Theobroma cacao L.</i>) y plátano (<i>Musa paradisiaca L.</i>)	35

V. CONCLUSIONES	44
VI. PROPUESTAS A FUTURO.....	45
VII. REFERENCIAS.....	46

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla	Página
1. Rangos de interpretación para el contenido de materia orgánica (%). ror! Marcador no definido.	¡Er
2. Coordenadas UTM de los sistemas productivos. ror! Marcador no definido.	¡Er
3. Sistema productivo cacao, plátano y yuca.....	20
4. Descripción de tratamientos de la investigación.	30
5. Análisis de varianza (ANOVA) de la investigación.....	31
6. ANOVA para la variable carbono orgánico en el suelo de 3 sistemas productivos.	32
7. Prueba Tukey para la variable carbono orgánico en el suelo por efecto de los tratamientos.	33
8. Prueba Tukey para la variable carbono orgánico en el suelo por efecto del bloque	34
9. ANOVA para la variable carbono orgánico en hojarasca de 3 sistemas productivos	36
10. Prueba Tukey para la variable carbono orgánico en hojarasca por efecto de los Tratamiento.....	36
11. Prueba Tukey para la variable carbono orgánico en hojarasca por efecto del bloque	38
12. Tabla comparativa desarrollada a partir del análisis de información proveniente de fuentes externas.....	39
13. Tabla de COS y CH por sistema productivo	40
14. Datos generales recopilados para carbono almacenado en el suelo en la tesis.....	53
15. Datos generales recopilados para carbono almacenado en hojarasca en la tesis.....	54

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Página
16. Localización del área de estudio.....	17
17. Ejemplo de parcela muestra del cultivo cacao (<i>Theobroma cacao L.</i>).....	21
18. Parcela general con dimensión de 20 m x 20 m (400 m ²) del sistema productivo yuca (<i>Manihot esculenta C.</i>).....	22
19. Parcela general con dimensión de 20 m x 20 m (400 m ²) del sistema productivo cacao (<i>Theobroma cacao L.</i>).....	22
20. Parcela general con dimensión de 20 m x 20 m (400 m ²) del sistema productivo plátano (<i>Musa paradisiaca L.</i>).....	23
21. Parcela general con dimensión de 20 m x 20 m (400 m ²) para la recolección de muestras de carbono orgánico en el suelo y hojarasca.	23
22. Dimensiones del cilindro metálico del muestreador para determinar la densidad aparente en el suelo.....	25
23. Ubicación y dimensiones del cuadrante de madera para el levantamiento de muestras de hojarasca	28
24. Comparación de promedios de carbono orgánico del suelo en los 9 tratamientos.	33
25. Comparación de promedios de carbono orgánico del suelo en los tres SUT.	35
26. Comparación de medias de carbono orgánico en hojarasca en los 9 tratamientos.	37
27. Comparación de promedios de carbono orgánico de hojarasca en los tres SUT.	39
28. Selección de las parcelas de yuca (<i>Manihot esculenta C.</i>).....	56
29. Selección de las parcelas de cacao (<i>Theobroma cacao L.</i>).....	56
30. Selección de las parcelas de plátano (<i>Musa paradisiaca L.</i>).....	56
31. Georreferenciación y limpieza de la parcela de yuca (<i>Manihot esculenta C.</i>).....	57
32. Georreferenciación y limpieza de la parcela de cacao (<i>Theobroma cacao L.</i>).....	57
33. Georreferenciación y limpieza de la parcela de plátano (<i>Musa paradisiaca L.</i>).	57
34. Parcelación del cultivo de yuca (<i>Manihot esculenta C.</i>).....	58
35. Sub parcelación del cultivo de yuca (<i>Manihot esculenta C.</i>).....	58
36. Verificación de las sub parcelas de yuca (<i>Manihot esculenta C.</i>).....	58

37. Instalación de la parcela general en el cultivo de cacao (<i>Theobroma cacao L.</i>).....	59
38. Sub parcelación y verificación en el cultivo de cacao (<i>Theobroma cacao L.</i>).....	59
39. Parcelación del cultivo de plátano (<i>Musa paradisiaca L.</i>).....	60
40. Sub parcelación del cultivo de plátano (<i>Musa paradisiaca L.</i>).....	60
41. Codificación del suelo obtenido en parcelas de cacao (<i>Theobroma cacao L.</i>).....	63

RESUMEN

La presente investigación busca estimar el carbono orgánico en el suelo y hojarasca de sistemas productivos (yuca (*Manihot esculenta* C.), cacao (*Theobroma cacao* L.) y plátano (*Musa paradisiaca* L.) en la localidad Nuevo San Martín, distrito Pólvora. Los sistemas productivos hicieron función de tratamientos y se realizó en 9 parcelas (3 cacao, 3 de plátano y 3 de yuca), cada una en una ubicación diferente pero dentro de los límites territoriales de la localidad de Nuevo San Martín, donde: cacao 1 edad de 8 años buen manejo, cacao 2 con una edad de 10 años buen manejo, cacao 3 con una edad de 9 años con un manejo regular, Plátano 1 con una edad de 1 año con manejo regular, Plátano 2 con una edad de 1 año y 5 meses con manejo regular, Plátano 3 con una edad de 1 año y 8 meses con manejo regular. Yuca 1 con una edad de 6 meses manejo regular, Yuca 2 con una edad de 5 meses, Yuca 3 con una edad de 6 meses manejo regular. Se utilizó un diseño en bloques completos no al azar y se llevó a cabo con un enfoque descriptivo explicativo. Donde cada parcela general de 20 m x 20 m (400 m²) representa a una repetición donde se obtuvo un total de 9 parcelas generales con 5 subparcelas de muestreo en las que se recolectó el suelo y la hojarasca. Los resultados obtenidos muestran variabilidad de almacenamiento de C, siendo para COS estimado en cacao (*Manihot esculenta* C.) 35,71 t C ha⁻¹, plátano (*Musa paradisiaca* L.) 26,02 t C ha⁻¹ y yuca (*Manihot esculenta* C.) 16,28 t C ha⁻¹, para CH estimado en cacao (*Manihot esculenta* C.) 82,13 t C ha⁻¹, plátano (*Musa paradisiaca* L.) 24,99 t C ha⁻¹ y yuca (*Manihot esculenta* C.) 14,34 t C ha⁻¹. Resultados estadísticamente diferentes, siendo el cacao (*Theobroma cacao* L.) el que demostró mayores resultados, siendo muy eficiente en la fijación de materia orgánica en suelos. Similarmente el carbono orgánico en hojarasca de sistemas productivos dio diferencias significativas, donde el cacao representó la mayor cantidad de hojas, materia orgánica y carbono orgánico en hojas.

Palabras clave: yuca (*Manihot esculenta* C.), cacao (*Theobroma cacao* L.), plátano (*Musa paradisiaca* L.), carbono orgánico, suelo, hojarasca, sistema productivo.

Estimation of organic carbon in the soil and litter of productive systems in the town of nuevo San Martín, Pólvora district

Abstract

This study aims to estimate organic carbon in the soil and leaf litter of productive systems—cassava (*Manihot esculenta* C.), cocoa (*Theobroma cacao* L.), and plantain (*Musa paradisiaca* L.)—in the locality of Nuevo San Martín, Pólvora District. The productive systems were considered as treatments and were evaluated in nine plots (three cocoa, three plantain, and three cassava plots), each located at a different site but within the territorial boundaries of Nuevo San Martín. The plots were characterized as follows: Cocoa 1, 8 years old with good management; Cocoa 2, 10 years old with good management; Cocoa 3, 9 years old with regular management; Plantain 1, 1 year old with regular management; Plantain 2, 1 year and 5 months old with regular management; Plantain 3, 1 year and 8 months old with regular management; Cassava 1, 6 months old with regular management; Cassava 2, 5 months old; and Cassava 3, 6 months old with regular management. A non-randomized complete block design was used, and the study followed a descriptive–explanatory approach. Each general plot measured 20 m × 20 m (400 m²) and represented one replication, resulting in a total of nine general plots, each containing five sampling subplots where soil and leaf litter samples were collected. The results showed variability in carbon storage among systems. Estimated soil organic carbon (SOC) was 35.71 t C ha⁻¹ in cocoa, 26.02 t C ha⁻¹ in plantain, and 16.28 t C ha⁻¹ in cassava. Estimated leaf litter carbon (LC) was 82.13 t C ha⁻¹ in cocoa, 24.99 t C ha⁻¹ in plantain, and 14.34 t C ha⁻¹ in cassava. The results were statistically different, with cocoa (*Theobroma cacao* L.) showing the highest values, demonstrating high efficiency in organic matter fixation in soils. Similarly, organic carbon in leaf litter differed significantly among productive systems, with cocoa presenting the greatest amount of leaves, organic matter, and organic carbon in leaf litter.

Keywords: Cassava (*Manihot esculenta* C.), cocoa (*Theobroma cacao* L.), plantain (*Musa paradisiaca* L.), organic carbon, soil, litter, production system.

I. INTRODUCCIÓN

El carbono es un elemento esencial para la vida en el planeta y, dependiendo de las condiciones con las que interactúa, puede generar efectos beneficiosos o perjudiciales. En las últimas décadas, el carbono orgánico ha recibido especial atención debido a su importancia en la mitigación del cambio climático. La acumulación excesiva de carbono en forma de dióxido de carbono y monóxido de carbono se debe principalmente a la dependencia humana de fuentes de energía fósil como el carbón, el petróleo y otros combustibles, cuyos subproductos de combustión intensifican el calentamiento global y provocan impactos de gran alcance. Estos efectos afectan tanto a la Tierra como a todos sus habitantes, convirtiéndose en un problema de carácter desencadenante. En este contexto, los sumideros de carbono desempeñan un papel fundamental al absorber los gases responsables del calentamiento, lo cual resulta beneficioso para la biosfera.

Los diversos componentes de los sistemas productivos, ya sean agrícolas homogéneos, agroforestales, forestales, agrosilvopastoriles u otros, tienen la capacidad de capturar carbono atmosférico en función de sus características fisiológicas y genéticas. Por esta razón, es fundamental contar con información científica que permita evaluar la capacidad de almacenamiento de carbono de los distintos usos del suelo. El carbono orgánico presente en el suelo no solo es esencial para mantener su fertilidad, sino está estrechamente vinculado con la productividad de los ecosistemas y se considera un indicador confiable de la calidad del suelo. En consecuencia, resulta imprescindible profundizar en el análisis de la distribución de la materia orgánica en el suelo para comprender mejor su dinámica y su relevancia en los procesos biológicos, ecológicos y productivos. Ya que participa en la descomposición y mineralización dentro del ciclo de nutrientes, contribuye a la formación y estructuración del suelo mejorando la retención hídrica y la aireación, interviene en el compostaje y la fotosíntesis, y desempeña un papel fundamental en la producción de biomasa para bioenergía y en el mantenimiento de la biodiversidad microbiana.

El proyecto de investigación justifica frente a la necesidad de la identificación de aquellos sistemas productivos que cuentan mayor estimación de carbono orgánico en el suelo y hojarasca; asimismo, según los sistemas productivos darán como resultante la totalidad de carbono orgánico existente en las áreas establecidas por lo que es importante para mitigar el calentamiento global.

Como alcance, el proyecto de investigación hará contribución con información de suma importancia para la comunidad investigativa y para distintas entidades que hacen monitoreo

sobre la temática; dicho esto, el proyecto de investigación genera el siguiente problema general ¿Cuánto será la cantidad estimada de carbono orgánico en el suelo y hojarasca de sistemas productivos en la localidad Nuevo San Martín, distrito Pólvora?, a luz de lo anterior se plantea la siguiente hipótesis: la estimación de carbono orgánico en el suelo y hojarasca varía según los sistemas productivos en la localidad Nuevo San Martín, distrito Pólvora. Para contrastar la hipótesis, la investigación trabajó con los siguientes objetivos:

1.1. Objetivo general

Estimar el carbono orgánico en el suelo y hojarasca de sistemas productivos en la localidad Nuevo San Martín, distrito Pólvora.

1.2. Objetivos específicos

- Estimar el carbono orgánico en el suelo de sistemas productivos con plantación de yuca (*Manihot esculenta C.*), cacao (*Theobroma cacao L.*) y plátano (*Musa paradisiaca L.*).
- Estimar el carbono orgánico en hojarasca de sistemas productivos con plantación de yuca (*Manihot esculenta C.*), cacao (*Theobroma cacao L.*) y plátano (*Musa paradisiaca L.*).

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Carbono (C)

El carbono constituye el principal componente químico de los compuestos orgánicos y se encuentra ampliamente distribuido en océanos, atmósfera, suelos y subsuelos, que actúan como reservorios naturales de este elemento. Su presencia y dinámica tienen un impacto directo en el equilibrio de los sistemas agrícolas, contribuyendo a mejorar las propiedades del suelo y favoreciendo un desempeño agrícola sostenible. El carbono orgánico del suelo (COS) puede encontrarse como residuos orgánicos poco descompuestos provenientes de plantas, animales y microorganismos, formando parte del humus o en estructuras más condensadas con una composición cercana al carbono elemental (Martínez et al., 2008).

El carbono es indispensable para la vida en la Tierra, siendo fundamental en la conformación de moléculas esenciales como carbohidratos, lípidos, proteínas y ácidos nucleicos. Todas las moléculas orgánicas están constituidas por cadenas de átomos de carbono enlazados entre sí. Este elemento se almacena en distintos compartimentos denominados reservorios y circula entre ellos mediante procesos físicos, químicos y biológicos. Entre los principales reservorios se incluyen los océanos, los suelos, la atmósfera y la vegetación (FAO, 2004).

Adicionalmente, el almacenamiento de carbono en depósitos fósiles ha contribuido históricamente a mantener niveles moderados de CO₂ atmosférico. Sin embargo, la liberación masiva de carbono debido al uso de combustibles fósiles, como el petróleo y el gas natural, ha alterado significativamente el equilibrio del ciclo global del carbono. Este proceso provoca un incremento en la concentración de CO₂ atmosférico, situación que se ve agravada por la disminución de la cobertura boscosa, la cual limita la capacidad de reciclaje del carbono por parte de los ecosistemas (IPCC, 2007).

2.2. Fijación y secuestro de carbono

Alvarado et al. (1999) destacan que los tallos leñosos juegan un papel esencial en la biomasa aérea para la fijación de carbono. Este componente es crucial porque la remoción de la cobertura forestal reduce tanto la capacidad de almacenamiento de carbono en la biomasa sobre el suelo como en el propio suelo. En los sistemas agroforestales, los árboles representan el componente más relevante de la biomasa aérea, ya que aproximadamente el 68 % del carbono fijado proviene de los árboles de sombra debido a su elevado contenido de celulosa. Asimismo, se ha observado que la magnitud de la fijación de carbono está directamente influenciada por las condiciones climáticas de cada región, subrayando la relevancia de este factor ambiental.

Por su parte, Ramírez et al. (1999) señalan que el secuestro de carbono por los bosques constituye un servicio ambiental de reconocimiento mundial, con un valor económico considerable, especialmente para los países en desarrollo. Esta relevancia está vinculada a la creciente preocupación por los cambios climáticos y sus impactos sobre los recursos naturales y las actividades humanas.

Ciensa (1996) explica que estos cambios climáticos se originan principalmente por las emisiones generadas a partir de procesos industriales, actividades agrícolas, la quema de combustibles fósiles y la deforestación. Entre los gases asociados a estas actividades, el dióxido de carbono destaca por su abundancia y por su fuerte impacto en el calentamiento de la atmósfera.

Nasi et al. (2022) reportan que los árboles y bosques poseen una elevada capacidad de secuestro de carbono y que los ecosistemas tropicales presentan tasas particularmente altas de almacenamiento y pérdida de este elemento. Un bosque primario cerrado puede almacenar alrededor de doscientas cincuenta toneladas de carbono por hectárea considerando el suelo y la vegetación. Sin embargo, actividades como la agricultura migratoria pueden liberar cerca de doscientas toneladas, cifra que aumenta cuando el área se convierte en pastizales o en agricultura permanente. En contraste, los bosques abiertos almacenan cerca de ciento quince toneladas de carbono y liberan entre una cuarta parte y un tercio de esta cantidad cuando son transformados en otros usos de tierra.

2.3. Reserva de carbono en sistemas productivos

Botero (2001) señala que las reservas de carbono presentes en las pasturas representan un componente clave en la dinámica del dióxido de carbono. Estudios realizados en pasturas tropicales de Latinoamérica evidencian que la implantación de pasturas mejoradas aumenta de manera significativa los niveles de carbono almacenado en el suelo. En Brasil, la introducción de pasturas mejoradas en zonas previamente deforestadas produjo incrementos notables en la acumulación de carbono orgánico. Asimismo, se resalta que el potencial de almacenamiento de carbono en sistemas agroforestales, considerando tanto la biomasa como el suelo, puede variar entre 20 y 204 toneladas por hectárea, concentrándose la mayor parte en el suelo. Además, se registran aumentos anuales de carbono que fluctúan entre 1,8 y 5,2 toneladas por hectárea.

Rügnitz et al. (2009) afirman que, en regiones tropicales, el uso del suelo para actividades agrícolas implica generalmente la eliminación de la cobertura boscosa. Esta transformación ocasiona una liberación de dióxido de carbono considerablemente mayor que la capacidad de captura del nuevo sistema productivo. Por ello, las reservas de carbono presentes

en cultivos tropicales suelen ser inferiores a las de los bosques naturales. Se han registrado valores promedio de almacenamiento de nueve megagramos de carbono por hectárea en cultivos de caña de azúcar, veintiocho en cultivos de té, cincuenta y uno en sistemas agroforestales con café, cincuenta y ocho en cacao, sesenta en coco y cuarenta y cinco en palma aceitera.

Kanninen et al. (2001) refieren que, en los sistemas productivos agrícolas, diversos factores de estrés ambiental como la salinidad, la sequía, las variaciones extremas de temperatura, el déficit hídrico y la reducción de la radiación solar afectan la estructura y el metabolismo de las plantas, repercutiendo en su crecimiento y en su capacidad de secuestro de dióxido de carbono. En concordancia con ello, Verhulst et al. (2004) señalan que el estrés hídrico constituye el factor más limitante, debido a que el flujo de agua a través de la planta debe ser suficiente para sostener la nutrición y permitir la adecuada incorporación de dióxido de carbono. En cuanto a la temperatura, valores elevados pueden aumentar la fotorrespiración, un mecanismo de protección del aparato fotosintético que no contribuye a la fijación de carbono. En este contexto, cultivos como maíz, cebada, trigo y avena, ampliamente manejados en zonas templadas, presentan valores promedio de secuestro de carbono cercanos a 3.5 toneladas por hectárea al año.

Arévalo et al. (2003) señalan que el carbono capturado por los bosques está estrechamente relacionado con su capacidad para mantener una determinada cantidad de biomasa por hectárea. Esta capacidad depende tanto de la diversidad del ecosistema como de las condiciones del suelo y del clima. Las plantas absorben dióxido de carbono de la atmósfera mediante la fotosíntesis, fijando el carbono que luego utilizan para su crecimiento. Se estima que una hectárea de bosque puede capturar aproximadamente diez toneladas de carbono por año, dependiendo de las características específicas del sitio. Por lo tanto, el concepto de carbono almacenado está vinculado a la habilidad del bosque para conservar una biomasa estable influenciada por factores edáficos y climáticos.

2.4. Captura y almacenamiento de carbono

IPCC y CMNUCC (2005) explican que el almacenamiento y la captura de carbono consisten en separar el dióxido de carbono liberado por actividades industriales, la quema de combustibles fósiles y otras fuentes energéticas, para luego transportarlo a un sitio de almacenamiento y aislarlo de la atmósfera de forma prolongada.

Valderrama et al. (2019) señalan que el almacenamiento y captura de carbono orgánico implica retener el CO₂ emitido durante procesos de combustión industrial, transportándolo y depositándolo bajo la superficie terrestre en formaciones geológicas

apropiadas para asegurar su permanencia. Esta técnica es considerada uno de los métodos más efectivos para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero.

Según UNEP y GEMS (1992), el carbono suele relacionarse con su almacenamiento en suelos, bosques y diversas coberturas vegetales, que actualmente se ven amenazadas por la degradación y el cambio de uso de la tierra. Se promueve el aumento de estas reservas mediante plantaciones forestales, sistemas agroforestales y la recuperación de bosques degradados. La conservación, reforestación y un manejo forestal adecuado son estrategias clave para capturar carbono atmosférico, y su efecto puede estimarse midiendo el carbono almacenado en la biomasa terrestre y en productos derivados de la madera.

De La Vega (2007) indica que la captura de carbono a través de la plantación de árboles constituye una solución temporal y limitada frente al calentamiento global; para abordar este problema de manera efectiva es necesario cambiar los patrones de consumo y comportamiento humano. La captura de carbono por los árboles se produce durante su fase de crecimiento, cuando absorben CO₂ del aire y nutrientes del suelo para producir madera. Se estima que entre el 42 % y el 50 % de la biomasa seca de un árbol corresponde a carbono, y la captura neta ocurre únicamente mientras el árbol crece hasta su madurez.

De La Vega (2007) también señala que, al morir un árbol, libera a la atmósfera la misma cantidad de carbono que había capturado durante su vida. En bosques maduros, las emisiones y capturas tienden a equilibrarse, por lo que lo importante no es la captura en un momento específico, sino la cantidad de carbono almacenada a lo largo de toda la vida del árbol. La eficiencia de captura depende de la especie, el tipo de suelo, la topografía y las prácticas de manejo forestal.

Ismiño y Chappa (2006) destacan que plantas, animales y humanos son organismos basados en carbono que utilizan la energía solar para transformar este elemento en compuestos esenciales. En las plantas, el CO₂ ingresa a través de las estomas de las hojas, y durante la noche los árboles liberan más CO₂ del que absorben, mientras que durante el día la fotosíntesis permite la fijación de carbono. Aproximadamente el 40 % del carbono de las plantas se concentra en sus tejidos, demostrando la capacidad notable de la fotosíntesis como mecanismo natural de captura de carbono.

2.5. Biomasa

IPCC (2000) indica que la biomasa se refiere a la totalidad de organismos vivos presentes en un área o volumen determinado, incluyendo frecuentemente los restos vegetales recién muertos. En este sentido, Gonzáles (2008) resalta que la biomasa es un componente clave para estimar el carbono almacenado en los bosques, ya que su evaluación permite proyectar el

comportamiento del ciclo global del carbono, lo cual es esencial en estudios sobre cambio climático. Además, para una parte significativa de la población rural en países en desarrollo, la biomasa constituye una fuente principal de energía, empleada en actividades como la cocción de alimentos y la calefacción.

Lino (2009) explica que los árboles capturan dióxido de carbono del aire mediante la fotosíntesis y lo combinan con hidrógeno proveniente del agua del suelo, utilizando la energía almacenada en los cloroplastos. Este proceso da lugar a la síntesis de carbohidratos, que al interactuar con elementos minerales del suelo contribuyen al crecimiento vegetal y al desarrollo de sus estructuras reproductivas. Desde esta perspectiva, la función biológica de las plantas es transformar los factores de crecimiento disponibles en compuestos orgánicos que sostienen su desarrollo. Complementariamente, Segura (1997) afirma que la capacidad de almacenamiento de carbono depende de factores como la especie arbórea, la densidad de siembra, la cantidad de materia orgánica del suelo, la edad de los componentes, las características edáficas, los factores climáticos y el manejo agroforestal aplicado.

Callo (2000) señala que la biomasa representa el volumen total de materia orgánica sobre la superficie terrestre, y su análisis puede aplicarse a escalas que van desde un solo árbol hasta una región o un país completo. La densidad de biomasa se refiere al mismo concepto, pero expresado por unidad de área, mientras que la biomasa total se obtiene multiplicando la densidad por la superficie del área de estudio.

Barbarán (2001) destaca que en la cuantificación de biomasa a menudo se subestima la contribución de ciertos componentes, como palmeras y raíces, que pueden representar hasta un tercio del total dependiendo del clima y del tipo de suelo. Asimismo, enfatiza que las plantas utilizan la energía solar para crecer, almacenando esta energía temporalmente en forma de carbono dentro de la materia orgánica que constituye la biomasa, integrándose al ciclo natural del carbono entre suelo y atmósfera. López (1994) añade que la turba no debe considerarse parte de la biomasa, dado que su comportamiento frente a las emisiones de CO₂ es similar al de un combustible fósil, y por los impactos ambientales derivados de su explotación, no constituye una fuente de energía renovable.

2.6. Ciclo de carbono

Houghton 2007 indica que en la atmósfera se encuentran aproximadamente entre 750 y 800 Pg de carbono, de los cuales casi la totalidad corresponde al dióxido de carbono. Existen también pequeñas trazas de monóxido de carbono, metano y otros compuestos hidrocarbonados distintos del metano según Siegenthaler et al. 2005. Asimismo, la cantidad

total de carbono presente en los océanos alcanza los $3,8 \times 10^4$ Pg, lo que representa aproximadamente 50 veces más carbono que el existente en la atmósfera.

Kasting y Walker 1992 explican que el océano funciona como un importante sumidero de carbono, ya que en su superficie el dióxido de carbono atmosférico se disuelve en el agua, provocando su acidificación. En la atmósfera este mismo gas reacciona con el vapor de agua y forma ácido carbónico, un ácido débil capaz de disolver rocas y liberar calcio, magnesio, potasio y sodio. Estos autores señalan dos tipos globales de flujos de carbono: uno lento propio del ciclo geoquímico, con tiempos de residencia de miles de años como la mineralización y la formación de rocas; y otro rápido correspondiente al ciclo biológico, cuyos tiempos pueden variar desde pocas horas en organismos como cianobacterias, algas y hongos hasta cientos de años como sucede en los árboles. De esta manera el carbono mantiene continuamente entradas y salidas entre los diferentes sistemas.

Elias y Potvin 2003 sostienen que el ciclo del carbono está determinado por los procesos de almacenamiento y transferencia del elemento entre la atmósfera, la biósfera, la litósfera y los océanos. Para comprender adecuadamente este ciclo es fundamental distinguir entre stock y flujo de carbono. En un bosque tropical el stock corresponde al carbono almacenado en los diferentes componentes del ecosistema, mientras que los flujos representan los procesos que modifican o regulan dicho almacenamiento.

Berner 1999 afirma que el concepto de ciclo del carbono incluye los flujos y procesos físicos, químicos y biológicos que regulan el movimiento del carbono entre los distintos almacenes del sistema tierra. Estos almacenes abarcan la atmósfera, la hidrosfera, la biosfera, la rizosfera y la litosfera, los cuales interactúan mediante dinámicas complejas que determinan el comportamiento global del carbono.

2.7. Carbono orgánico

FAO (2004) destaca que el carbono es el elemento esencial para la vida en la Tierra y su ciclo es crucial para el desarrollo de todos los organismos. Este elemento es la base de moléculas fundamentales como carbohidratos, lípidos, proteínas y ácidos nucleicos, ya que todas las moléculas orgánicas se conforman por cadenas de carbono enlazadas. El carbono se encuentra almacenado en compartimientos denominados depósitos y circula activamente entre ellos. Entre los principales reservorios, los océanos contienen aproximadamente 38 000 gigatoneladas, el suelo 15 000 gigatoneladas, la atmósfera 750 gigatoneladas y la vegetación cerca de 560 gigatoneladas.

Según IPCC (2007), la atmósfera y la hidrósfera constituyen los principales reservorios de carbono disponible en forma de dióxido de carbono para los seres vivos. Entre

los mayores depósitos se encuentran las praderas marinas, que representan apenas el 0,2 % de la superficie terrestre. Estos ecosistemas submarinos están cubiertos por pastos adaptados a ambientes salinos, como *Thalassius* y *Posidonia*, y suelen situarse en aguas poco profundas con suficiente luz para la fotosíntesis. Esta condición les permite capturar y almacenar carbono con rapidez y eficiencia, tanto en sus raíces profundas como en la vegetación aérea.

El IPCC (2007) también indica que el carbono circula continuamente entre océanos, atmósfera, suelo y subsuelo mediante procesos químicos, físicos y biológicos. El almacenamiento en depósitos fósiles ayuda a reducir naturalmente los niveles de CO₂ atmosférico; sin embargo, la extracción de petróleo y gas natural libera nuevamente este carbono, alterando el equilibrio del ciclo y aumentando la concentración de dióxido de carbono. Esta situación se agrava con la disminución de la cobertura boscosa, que limita la capacidad de reciclaje biológico del carbono.

Barbarán (2001) señala que los suelos de los ecosistemas terrestres contienen entre dos y cuatro veces más carbono en forma de materia inerte que otros compartimientos. La producción neta primaria mundial se estima entre 120 000 y 170 000 millones de toneladas de materia seca por hectárea, equivalentes a unos 75 000 millones de toneladas de carbono. De esta cantidad, aproximadamente dos tercios se generan en ecosistemas terrestres y un tercio en ecosistemas marinos. La misma cantidad de carbono se libera anualmente al ambiente como CO₂ a través de la respiración. Además, se ha determinado que entre un tercio y hasta la mitad o más de la energía y carbono presentes en los bosques se almacena en el suelo en forma de hojarasca.

2.8. Materia orgánica

Sagarpa 2012 señala que la materia natural del suelo es una mezcla compleja de sustancias compuestas por restos de plantas y organismos, sometidos a un proceso continuo de transformación y estabilización. Aunque suele encontrarse en cantidades menores que la fracción mineral del suelo, su función es fundamental para el desarrollo y las propiedades generales del suelo.

Acosta 2014 indica que la materia orgánica del suelo cumple un papel esencial en el funcionamiento de los ecosistemas edáficos y por ello es considerada uno de los principales indicadores de calidad del suelo. Esto se debe a su estrecha relación con la mayoría de las propiedades físicas, químicas y biológicas, ejerciendo una influencia determinante en la capacidad productiva del suelo y en la nutrición de las plantas.

Navarro 2017 menciona que la disminución o alteración en la calidad de la materia orgánica del suelo afecta directamente la calidad general del suelo. Este componente esencial

regula procesos como la estructuración del suelo, la disminución de la contaminación del agua, el amortiguamiento del potencial hidrógeno, la disponibilidad de aire y agua para las raíces y el adecuado desarrollo del sistema radicular.

Stevenson 1994 sostiene que el incremento de materia orgánica en el suelo favorece el desarrollo de una población microbiana más abundante y activa, lo que fortalece el control natural de enfermedades y contribuye a la salud de la vegetación. Además, la materia orgánica influye en la retención de agua y en la protección del suelo frente a procesos de degradación.

Graetz 1997 indica que el humus ejerce efectos significativos sobre las propiedades físicas del suelo, contribuyendo a la formación de agregados estables mediante su interacción con las arcillas y la formación del complejo de intercambio. Esto favorece el intercambio gaseoso. En cuanto a sus efectos químicos, el humus incrementa la capacidad de intercambio catiónico, mejora la reserva de nutrientes y fortalece la capacidad tampón del suelo, facilitando la acción y absorción de los abonos minerales. Respecto a las propiedades biológicas, promueve la mineralización, el desarrollo de la vegetación, sirve de alimento a numerosos microorganismos y estimula el crecimiento vegetal dentro de un sistema ecológico equilibrado.

Tabla 1. Rangos de interpretación para el contenido de materia orgánica (%)

Nivel	Contenido (%)
Bajo o pobre	< 2
Medio	2 a 4
Alto o rico	> 4

Fuente: Porta et al. (1999)

Cárdenas 1992 señala que el contenido de materia orgánica del suelo influye notablemente en las propiedades físicas, químicas y biológicas del mismo y que, además, constituye una fuente importante de nutrientes para las plantas. Indica también que la materia orgánica actúa como una reserva segura de nitrógeno, un elemento esencial para el adecuado desarrollo vegetal, tal como se observa en la Tabla 1.

2.9. Dinamismo del COS

Roncal et al. (2008) señalan que las reservas de carbono en los suelos naturales dependen de un equilibrio dinámico entre la entrada de material vegetal muerto y la pérdida ocasionada por los procesos de descomposición o mineralización. En suelos aeróbicos aquellos con presencia constante de oxígeno la mayor parte del carbono incorporado es de carácter lábil, mientras que solo una fracción reducida, cercana al uno por ciento (aproximadamente 55 Pg

por año), logra estabilizarse dentro de la fracción húmica, donde se acumulan alrededor de 0,4 Pg anuales.

Ávila et al. (2001) señalan que los diferentes reservorios de carbono existentes en el suelo presentan tiempos medios de residencia variables que pueden extenderse desde uno hasta varios años. Esta variación depende fundamentalmente de la naturaleza bioquímica de los compuestos, pues algunos, como la lignina, poseen mayor resistencia a la descomposición que otros como la celulosa, pudiendo alcanzar tiempos de permanencia que llegan a décadas o incluso superar el milenio cuando forman parte de la fracción más estable del carbono del suelo.

Coyne (2000) indica que la estabilidad del carbono se relaciona con su composición química, aunque está condicionada en mayor medida por el tipo de uniones moleculares presentes en cada compuesto. Estrada (2001) complementa esta idea señalando que, para comprender la fracción estabilizadora del carbono, es indispensable evaluar los mecanismos de protección físico-química o captura. El autor destaca que la protección física está asociada al encapsulamiento de fragmentos de materia orgánica por partículas finas de arcilla o por agregados del suelo, tanto macro como micro, lo cual reduce la exposición del carbono a la descomposición microbiana y favorece su persistencia.

2.10. Carbono orgánico del suelo (COS)

Thévenot et al. (2010) señalan que variables como la humedad y la temperatura del suelo, las cuales dependen directamente de las condiciones climáticas, controlan los procesos de descomposición de la materia orgánica y, en consecuencia, la cantidad de carbono orgánico que queda almacenado. Del mismo modo, la estructura de la comunidad microbiana—incluyendo la proporción entre bacterias y hongos— determina la degradación específica de diversos compuestos.

Por su parte, Le Quéré et al. (2016) sostienen que para evaluar los flujos globales de carbono es fundamental establecer si los ecosistemas terrestres, en conjunto, fijan más CO₂ mediante la fotosíntesis que el que generan por respiración. Además, el equilibrio global del carbono está condicionado por la concentración de CO₂ en la atmósfera, por la capacidad de absorción de los océanos y por las emisiones derivadas de combustibles fósiles, del uso del suelo y de los cambios en dicho uso. Entre 2006 y 2015, las emisiones liberadas a la atmósfera duplicaron aproximadamente la capacidad de captura combinada de los sumideros terrestres y oceánicos, y cerca del 90 % de estas emisiones se originaron en la quema de combustibles fósiles y en actividades industriales.

El IPCC (2014) expone que los flujos de carbono asociados al cambio de uso de la tierra tuvieron un papel sobresaliente durante la época preindustrial, dado que entre 1750 y

2011 alrededor de un tercio de los gases de efecto invernadero producidos por actividades humanas provenían de esta fuente. Asimismo, Baldocchi et al. (2016) reportan que las concentraciones de CO₂ atmosférico mostraron un notable incremento desde el último período glacial, elevándose de aproximadamente 180 ppm a 280 ppm. Este aumento incorporó cerca de 220 Pg de carbono a la atmósfera en un intervalo de unos diez mil años, equivalente a una tasa de incremento cercana a 4,4 Pg anuales.

2.10.1. COS en hojarasca

Schlegel et al. (2001) señalan que, la capa de hojarasca, junto con la acción de los microorganismos edáficos, cumple un rol esencial en la conservación de la productividad de los ecosistemas. La cantidad y el tipo de material vegetal que cae sobre el suelo, así como el proceso de descomposición que este atraviesa, representan elementos clave para determinar la eficiencia de los ciclos de nutrientes. Los autores destacan que el suelo recibe un ingreso directo de carbono procedente de los tejidos muertos de diferentes especies vegetales, los cuales mantienen un intercambio constante con la atmósfera. Una vez que estos restos se integran plenamente al suelo, aportan a la retención y acumulación de carbono, contribuyendo a la estabilidad y capacidad de resiliencia del ecosistema.

2.11. Carbono orgánico en sistemas de uso de la tierra

Lapeyre et al. (2004) señalan que, en los diferentes Sistemas de Uso de la Tierra (SUT) existe una marcada variabilidad en el carbono almacenado. Las diferencias en las cantidades de C ha⁻¹ resultan estadísticamente significativas debido a diversos factores, entre ellos las características propias de cada SUT y la heterogeneidad de los suelos en los que se desarrollan, lo que genera amplios rangos de carbono y un alto grado de dispersión espacial. Asimismo, Salgado (2004) indica que la densidad de arbustos constituye otro factor influyente, pues una mayor densidad vegetal incrementa la captura de carbono mediante la actividad fotosintética de cada individuo, elevando así el almacenamiento de carbono en la biomasa aérea.

2.11.1. Cultivos

Robert (2002) explica que el laboreo del suelo y las prácticas de cultivo pueden modificar de manera significativa el tiempo de residencia y el almacenamiento del carbono reciente en el suelo. Este aspecto resulta relevante para su consideración dentro del Protocolo de Kyoto y en futuros acuerdos internacionales relacionados con el cambio climático. El autor evaluó distintos tipos de uso de la tierra y diversas prácticas agronómicas, analizando su impacto tanto en la captura como en la liberación de carbono, evidenciando que las decisiones de manejo influyen directamente en el balance de carbono del ecosistema.

2.11.2. Agrosilvicultura

Robert (2002) señala que la asociación de especies de flora mediante plantaciones diversificadas o pasturas constituye una alternativa sostenible frente a áreas deforestadas y al sistema tradicional de roza y quema. Este tipo de prácticas, basadas en la combinación de especies en un mismo espacio, presenta un alto potencial para el secuestro de carbono en terrenos agrícolas. Según el autor, la estimación del carbono almacenado en distintas ecorregiones tropicales oscila entre 21 t C ha^{-1} y 50 t C ha^{-1} en zonas subhúmedas a húmedas, alcanzando estos valores en períodos relativamente cortos de cinco a ocho años, aunque aún menores en comparación con los bosques. Si bien el carbono del suelo no fue considerado en estas estimaciones, se estima que los sistemas radiculares podrían incrementar estos valores hasta en un diez por ciento.

IPCC (2000) describe que los sistemas agroforestales ofrecen la posibilidad de conservar parte del carbono presente originalmente en los ecosistemas forestales. En un período de una década, cultivos como *Theobroma cacao L.* y *Erythrina sp.* llegaron a acumular 10 t C ha^{-1} y 22 t C ha^{-1} , respectivamente. En este sentido, la agrosilvicultura representa una alternativa relevante para el secuestro de carbono debido a la amplitud de las áreas en las que puede implementarse y a las tasas considerables de incremento de carbono, que varían entre $0,2$ y $3,1 \text{ t C ha}^{-1}/\text{año}$ o incluso valores superiores, dependiendo del tiempo de permanencia de las especies arbóreas. Además, contribuye a reducir las emisiones de CO_2 asociadas a la tala de árboles y constituye una estrategia técnica, ambiental y económicamente viable. No obstante, factores socioculturales pueden dificultar su adopción, por lo que su contribución al secuestro de carbono podría ser menor de lo esperado (Robert, 2002).

Robert (2002) también presenta valores globales estimados sobre las tasas anuales de secuestro de carbono producto de la forestación bajo distintos regímenes climáticos. Los incrementos totales, considerando carbono por encima y por debajo del suelo, varían desde $0,4$ – $1,2 \text{ t C ha}^{-1}/\text{año}$ en regiones boreales y $1,5$ – $4,5 \text{ t C ha}^{-1}/\text{año}$ en zonas templadas, hasta valores mayores que alcanzan 4 – $8 \text{ t C ha}^{-1}/\text{año}$ en ecosistemas tropicales. Asimismo, la distribución del carbono entre biomasa aérea, biomasa radicular, residuos y suelo muestra que el contenido de carbono edáfico supera al presente en la biomasa forestal, aunque esta relación depende del clima: los suelos de zonas frías y templadas poseen mayores reservas de carbono, mientras que las regiones tropicales presentan cantidades menores.

2.12. Estado del arte

2.12.1. Antecedentes internacionales

Quiñones (2022) investigó el contenido de carbono orgánico en sistemas forestales y agroforestales de la Sierra Madre de Chiapas, México, con el propósito de evaluar la capacidad de almacenamiento de carbono en cafetales bajo sombra vegetativa natural y en parcelas cultivadas con maíz. El área de estudio presentó una elevada presencia de niebla y estuvo conformada por predios menores a 2 ha. El muestreo del suelo alcanzó una profundidad de 30 cm y se delimitaron 76 parcelas circulares de 1000 m² cada una. Para el análisis estadístico se utilizó un intervalo de confianza del 95% y la prueba SLD de Fisher para comparar medias. Los resultados señalaron que la vegetación secundaria acumuló la mayor cantidad de carbono orgánico, con 103,22 Mg C ha⁻¹, mientras que el sistema agrícola de maíz registró 31,25 Mg C ha⁻¹. El valor más bajo se presentó en el bosque de pino-encino, con 28,86 Mg C ha⁻¹. El estudio concluyó que los mayores niveles de carbono orgánico se encuentran en áreas con menor alteración por actividades humanas.

Riascos et al. (2020) analizaron la captación de carbono en diferentes sistemas de producción de café en Consacá, Colombia, con el objetivo de estimar el carbono almacenado tanto en el suelo como en la biomasa aérea en cuatro modalidades productivas: café de libre exposición, café asociado con limón, café-carbonero y café-guamo. El diseño experimental empleado fue un DBCA, trabajando con parcelas de 2500 m² dentro de unidades productivas de 1 ha. El muestreo se realizó mediante métodos no destructivos y el análisis estadístico incluyó un ANDEVA con un nivel de confianza del 95%; posteriormente, las diferencias entre tratamientos se evaluaron utilizando la prueba de Tukey ($\alpha = 0,05$). Los resultados mostraron que el sistema café-carbonero presentó la mayor concentración de carbono orgánico, alcanzando 74,82 t ha⁻¹, mientras que el sistema café-guamo obtuvo el menor valor, con 56,56 t ha⁻¹. Los autores destacaron que la incorporación de especies leñosas perennes en los cultivos de café, especialmente después del cuarto año, favorece un mayor almacenamiento de carbono.

Jadán et al. (2012) evaluaron cómo el uso de la tierra influye en el almacenamiento de carbono en distintos sistemas productivos y en bosque primario dentro de la Reserva de Biósfera Sumaco, en Napo, Ecuador. Su objetivo fue determinar el promedio de carbono presente en siete tipos de sistemas productivos, incluyendo bosques primarios, sistemas agroforestales y plantaciones de cacao común e injertado. El muestreo del suelo se efectuó en dos profundidades: 0–10 cm y 10–30 cm. El estudio utilizó un diseño completamente al azar (DCA) con un número de repeticiones que varió entre cinco y quince, dependiendo del sistema.

El procesamiento estadístico se realizó mediante ANDEVA y la prueba LSD de Fisher, utilizando el software InfoStat. Los resultados evidenciaron que el cacao común almacenó 141,4 Mg C ha⁻¹, mientras que los bosques primarios registraron el almacenamiento más elevado con 334 Mg C ha⁻¹. Los autores subrayaron la relevancia de conservar estas áreas por su importante contribución al mantenimiento de la biósfera.

Rosas et al. (2011) estudiaron los niveles de carbono orgánico y el pH en suelos agrícolas de las regiones pampeana y extrapampeana de Argentina, con la finalidad de analizar la variabilidad de ambos parámetros en estas zonas. El muestreo se realizó hasta los 20 cm de profundidad y los datos obtenidos fueron evaluados mediante estadísticos descriptivos como media, mediana, valores extremos, desviación estándar y percentiles, utilizando el software SAS. Asimismo, se elaboraron mapas mediante la herramienta ESRI ArcMap. Los resultados revelaron que el contenido de carbono orgánico fluctuó entre 5,5 y 38 g kg⁻¹, con los valores más bajos ubicados en el norte y oeste de la región. El pH varió entre 5 y 7,5, registrándose condiciones más favorables (pH neutro) en el norte de Buenos Aires. El estudio mostró una tendencia a la disminución del carbono orgánico en los suelos, enfatizando la importancia de adoptar prácticas de manejo sostenible.

2.12.2. Antecedentes nacionales y regionales

Clemente (2022), en su investigación sobre el carbono contenido en la biomasa aérea y su valoración económica dentro de sistemas agroforestales de la EEA San Bernardo en Madre de Dios, tuvo como propósito cuantificar y estimar económicamente el carbono almacenado en siete sistemas agroforestales con más de 16 años de establecimiento. Para ello, aplicó ecuaciones alométricas y registró los diámetros a la altura del pecho utilizando una cinta métrica. El procesamiento estadístico se efectuó mediante la prueba no paramétrica de Kruskal–Wallis en el software R versión 4.0.2. Entre sus hallazgos más destacados, identificó que el sistema agroforestal conformado por shihuahuaco, pashaco, shiringa, cacao y plátano (con aproximadamente 17 años) presentó un almacenamiento de 116,11 Mg ha⁻¹ de carbono, mientras que el valor más bajo se encontró en el sistema integrado por tuhuari amarillo, pumaqui, bolaina blanca y pijuayo, con 6,69 Mg ha⁻¹. El autor señala que los sistemas agroforestales constituyen una alternativa relevante para la retención de carbono, ya que además de ofrecer producción agrícola, generan oportunidades económicas asociadas a la captura de carbono.

Por otro lado, Navarro y Ruiz (2019) analizaron la captura de carbono en sistemas productivos de naranja de distintas edades en Saposoa, con el fin de estimar la cantidad de carbono almacenado en plantaciones de 5 y 15 años. Este estudio, de tipo básico y diseño no

experimental transversal, consideró una población de 86 parcelas, de las cuales 8 fueron seleccionadas como muestra. Se recolectaron muestras de hojarasca, hierbas y raíces tanto en la parte alta como en la parte baja del sector La Isla. Para el análisis estadístico se aplicó un ANOVA con un nivel de confianza del 95%. Los resultados evidenciaron que en la parte alta los sistemas de 15 años alcanzaron $109,279 \text{ t C ha}^{-1}$, mientras que los sistemas de 5 años presentaron $72,957 \text{ t C ha}^{-1}$. En la parte baja, las plantaciones de 5 y 15 años almacenaron $87,874$ y $92,824 \text{ t C ha}^{-1}$, respectivamente. La significancia estadística inferior a 0,05 indicó la existencia de diferencias entre los sistemas analizados.

Asimismo, Pocomucha y Alegre (2018) estudiaron la relación entre el carbono almacenado y los aspectos económicos en sistemas agroforestales de cacao ubicados en el distrito de José Crespo y Castillo. Su objetivo fue valorar el potencial de almacenamiento de carbono y su importancia económica. La investigación abarcó cuatro sectores —Aucayacu, Maronilla, Pucayacu, 7 de Octubre y Los Milagros— mediante un muestreo aleatorio estratificado. Se evaluaron 37 variables tanto cualitativas como cuantitativas. El análisis estadístico se llevó a cabo empleando una escala tipo Likert y el coeficiente de correlación de Spearman (rs). Los sistemas agroforestales incluyeron asociaciones de hasta ocho especies forestales y frutales, con un promedio de 69 árboles por hectárea. Los resultados mostraron que la varianza del carbono almacenado fluctuó entre $163,98$ y $1\,444,98 \text{ t C}$. Los autores concluyeron que estos sistemas no reciben el reconocimiento adecuado en relación con su capacidad para retener carbono ni respecto a los beneficios económicos adicionales que generan.

Finalmente, Zavala et al. (2018) evaluaron la influencia de tres sistemas agroforestales de cacao en la captura y almacenamiento de carbono en Tingo María. Su objetivo fue analizar el efecto de sistemas con edades menores a 8 años, entre 8 y 16 años y mayores a 16 años, distribuidos en diversas unidades fisiográficas. El estudio utilizó un diseño completamente al azar y métodos alométricos. Para cada categoría de edad se instalaron 8 transectos de $4 \text{ m} \times 25 \text{ m}$. La biomasa de hojarasca se cuantificó mediante cuadrantes de $0,5 \text{ m} \times 0,5 \text{ m}$, mientras que las muestras de suelo fueron recolectadas en tres profundidades hasta los 30 cm. El análisis estadístico se realizó mediante la prueba de Fisher ($p \leq 0,05$). Al integrar las tres profundidades, el sistema con menos de 8 años presentó el mayor contenido de carbono en el suelo con $59,08 \text{ t ha}^{-1}$, en tanto que el sistema mayor a 16 años registró el menor valor. No se identificaron diferencias estadísticas significativas entre los sistemas comparados.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Lugar de ejecución

La tesis se desarrolló en 9 parcelas (3 cacao, 3 de plátano y 3 de yuca), en el centro poblado de Nuevo San Martín, perteneciente al distrito de Pólvora. Este se ubica aproximadamente a 20 km de la ciudad de Pólvora, en dirección de sur a norte, siguiendo el recorrido de la carretera Fernando Belaunde Terry, en el mes de agosto en épocas de verano (Figura 1).

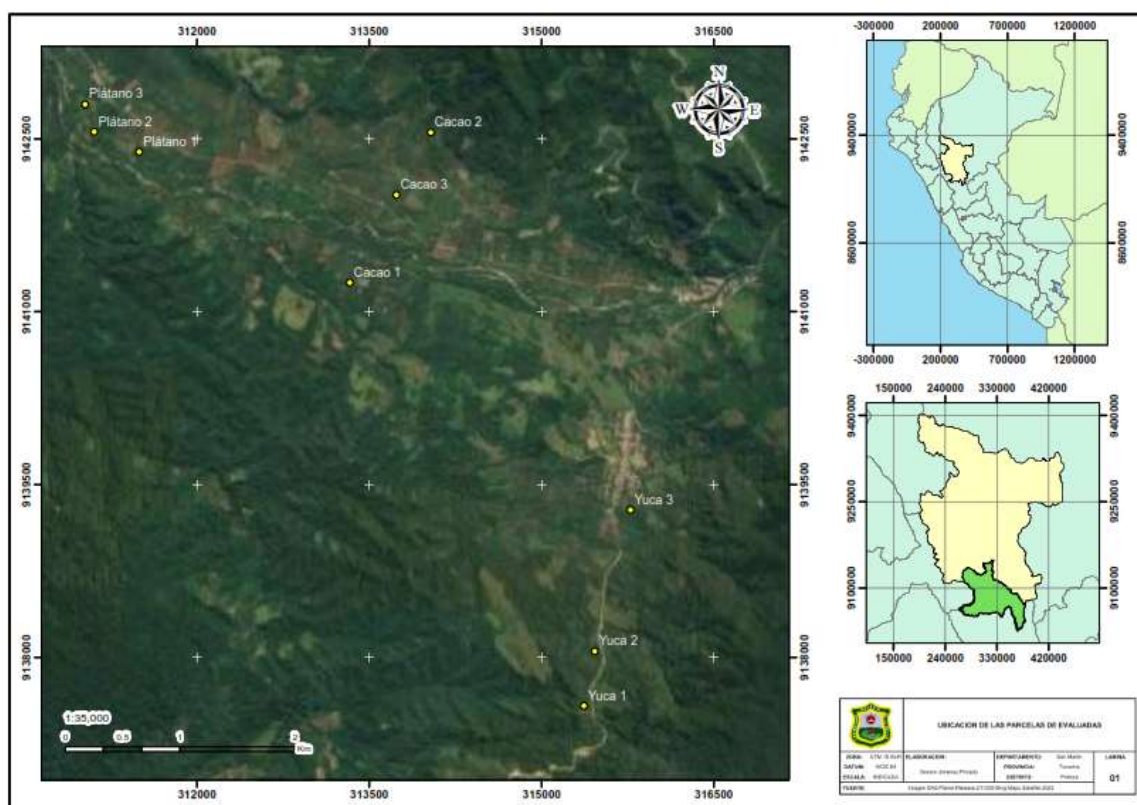


Figura 1. Localización del área de estudio.

3.1.1. Ubicación geográfica

Las 9 parcelas (3 cacao, 3 de plátano y 3 de yuca), cada una en una ubicación diferente pero dentro de los límites territoriales de la localidad de Nuevo San Martín (Tabla 2).

Tabla 2. Coordenadas UTM de los sistemas productivos

Sistemas productivos	Altitud (msnm)	Coordenadas UTM WGS 84 zona 19L	
		Este	Norte
Yuca 1	743	315372	9137576
Yuca 2	695	315467	9138050
Yuca 3	641	315776	9139275
Cacao 1	520	313332	9141249
Cacao 2	523	314038	9142552
Cacao 3	495	313738	9142009
Plátano 1	488	324597	9107533
Plátano 2	502	311109	9142558
Plátano 3	512	311030	9142795

Fuente: Elaboración Propia

3.1.2. Criterios de investigación

3.1.2.1. Inclusión

- Parcelas de cacao con un rango de edad de 8 a 10 años, plátano con un rango de edad 1 a 2 años y yuca con un rango de edad 5 a 8 meses.
- Parcela con buena accesibilidad.
- Parcelas con un buen manejo o cuidado.

3.1.2.2. Exclusión

- Parcelas de cacao, plátano y yuca de edades mayores o inferiores.
- Parcela con mala accesibilidad.
- Parcelas con un mal manejo o cuidado.

3.1.3. Ubicación Política

Localidad	:	Nuevo San Martín
Distrito	:	Pólvora
Provincia	:	Tocache
Región	:	San Martín

3.1.4. Características del área de estudio

Según la clasificación de zonas de vida y el diagrama bioclimático propuestos por Holdridge (1987), el centro poblado de Nuevo San Martín y sus áreas adyacentes se sitúan dentro de la categoría de bosque muy húmedo premontano tropical (bmh-PT)

Asimismo, según la clasificación de las regiones naturales del Perú, Pulgar (1938) señala que la localidad de Nuevo San Martín pertenece a la región denominada selva alta o Rupa Rupa, caracterizada por presentar condiciones climáticas húmedas y lluviosas.

3.2. Materiales y equipos

3.2.1. Materiales

Se utilizaron principalmente un cuadrante de madera, machetes, estacas de madera, pala recta, muestreador de suelos, brújula de mano, martillo, wincha, flexómetro, rafia, bolsas plásticas, costales, marcadores, cilindros de volumen conocido, reactivos químicos, vaso precipitado, crisoles, papel filtro, espátulas de metal y de vidrio, tamiz de 2 mm, rodillo de madera y probetas.

3.2.2. Equipos

Mufla, estufa, balanza digital, GPS, cámara fotográfica y computadora

3.3. Tipo y nivel de investigación

Tiene un enfoque cuantitativo (Hernández et al., 2014) y corresponde a un tipo de estudio aplicado, desarrollado en un nivel descriptivo–explicativo. En este marco, se procede a recopilar información ya existente en las plantaciones de yuca, con el fin de analizarla y comprender los fenómenos involucrados. (*Manihot esculenta C.*), cacao (*Theobroma cacao L.*) y plátano (*Musa paradisiaca L.*) para la estimación de carbono orgánico.

3.4. Diseño de investigación

En concordancia con lo indicado por Hernández et al. (2014), la investigación se enmarca en un diseño no experimental, debido a que se orienta principalmente a la descripción y explicación del carbono orgánico presente en los sistemas productivos con plantaciones de yuca (*Manihot esculenta C.*), cacao (*Theobroma cacao L.*) y plátano (*Musa paradisiaca L.*), tal como se encuentran establecidos en la localidad de Nuevo San Martín.

3.5. Características de los sistemas productivos

Tabla 3. Sistema productivo cacao, plátano y yuca.

Tratamiento	Edad	Manejo	abonamiento
cacao 1	8 años	Bien manejo (podado y desmalezado)	Fertilización con 20-20-20 NPK (granulado) 2 veces al año Aplicación de cal agrícola
cacao 2	10 años	Bien manejo (podado y desmalezado)	Fertilización con 20-20-20 NPK (granulado) 2 veces al año Aplicación de cal agrícola
cacao 3	9 años	Manejo regular (falta de podas y desmalezado)	Fertilización con 20-20-20 NPK (granulado) 1 vez al año
plátano 1	1 año	Manejo regular (deshojado y desmalezado)	Fertilización con 20-20-20 NPK (foliar) 1 vez al año
plátano 2	1 año 5 meses	Manejo regular (deshojado y desmalezado)	Fertilización con 20-20-20 NPK (foliar) 1 vez al año
plátano 3	1 año 8 meses	Manejo regular (deshojado y desmalezado)	Fertilización con 20-20-20 NPK (foliar) 1 vez al año
yuca 1	6 meses	Manejo regular (desmalezado)	No cuenta con abonamiento
yuca 2	5 meses	Manejo regular (desmalezado)	No cuenta con abonamiento
yuca 3	6 meses	Manejo regular (desmalezado)	No cuenta con abonamiento

3.6. Población y muestra

3.6.1. Población

Está conformada por los sistemas productivos de yuca (*Manihot esculenta* C.), cacao (*Theobroma cacao* L.) y plátano (*Musa paradisiaca* L.) en la localidad de Nuevo San Martín.

3.6.2. Muestra

Está constituida por los 9 sistemas productivos con plantaciones de yuca (*Manihot esculenta* C.), cacao (*Theobroma cacao* L.) y plátano (*Musa paradisiaca* L.) (Figura 2).

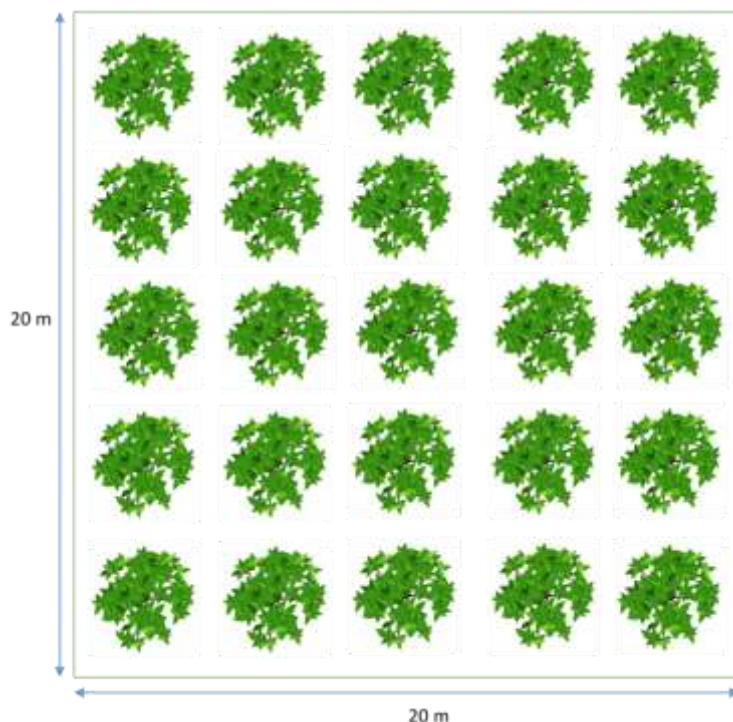


Figura 2. Ejemplo de parcela muestra del cultivo cacao (*Theobroma cacao L.*).

3.7. Variables

3.7.1. Independiente

Los sistemas productivos con plantaciones de yuca (*Manihot esculenta C.*), cacao (*Theobroma cacao L.*) y plátano (*Musa paradisiaca L.*).

3.7.2. Dependiente

Carbono orgánico en suelos y hojarasca, además el porcentaje de materia orgánica en el suelo.

3.8. Variables

Los sistemas productivos serán considerados como tratamientos y se aplicarán tres repeticiones para cada uno de ellos, empleando parcelas generales de 400 m² como unidades experimentales. En total, se trabajará con nueve parcelas generales. Los datos recopilados serán analizados mediante un análisis de varianza (ANOVA) y la prueba de Tukey, utilizando un nivel de significancia de $p < 0,05$ para la comparación de medias y las pruebas múltiples. El procesamiento de la información se realizará con el software IBM SPSS en su versión 26

3.9. Metodología

Se utilizó un diseño en bloques completos no al azar y se llevó a cabo con un enfoque descriptivo explicativo (Hernández et al., 2014). Para ello, se establecieron tres parcelas generales en cada sistema productivo para la recolección de muestras de suelo y

hojarasca en la localidad de Nuevo San Martín, sumando un total de nueve parcelas (Figura 3, 4 y 5). Como instrumento de recolección se emplearon fichas de campo, y todas las muestras fueron trasladadas al laboratorio de suelos del INIA–Tarapoto, donde se realizaron los análisis correspondientes de suelo, peso seco y contenido de materia orgánica (Figura 3)

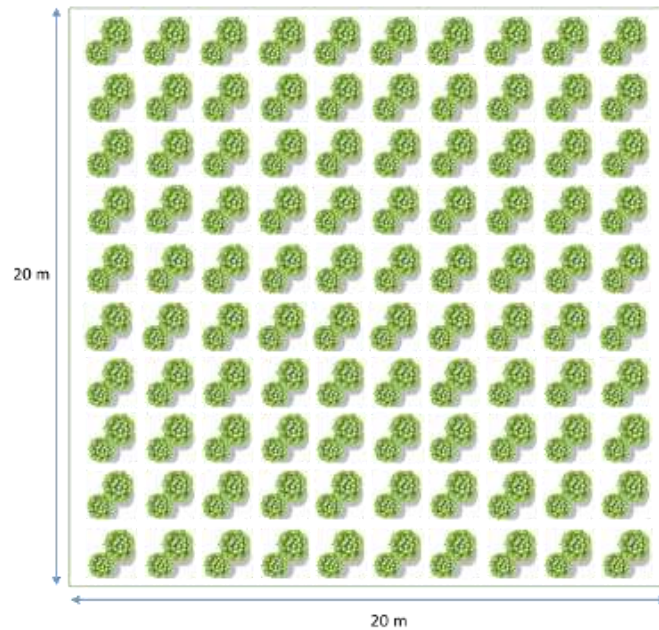


Figura 3. Parcela general con dimensión de 20 m x 20 m (400 m²) del sistema productivo yuca (*Manihot esculenta C.*).

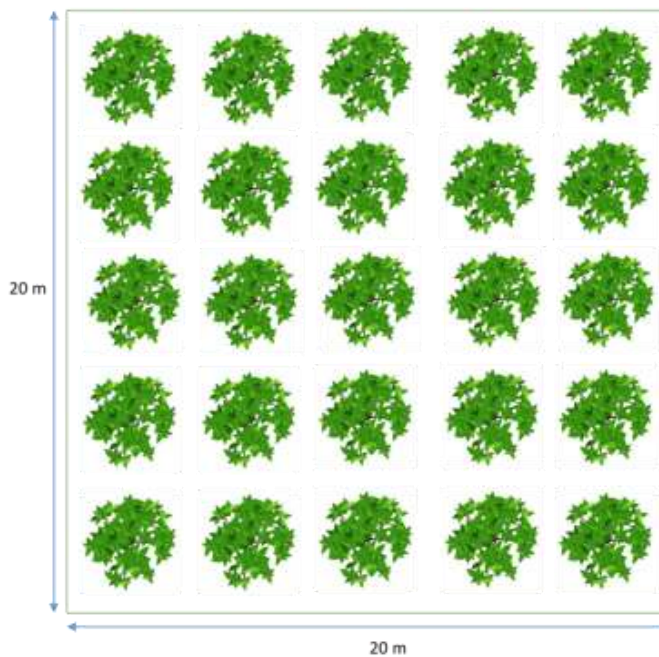


Figura 4. Parcela general con dimensión de 20 m x 20 m (400 m²) del sistema productivo cacao (*Theobroma cacao L.*).

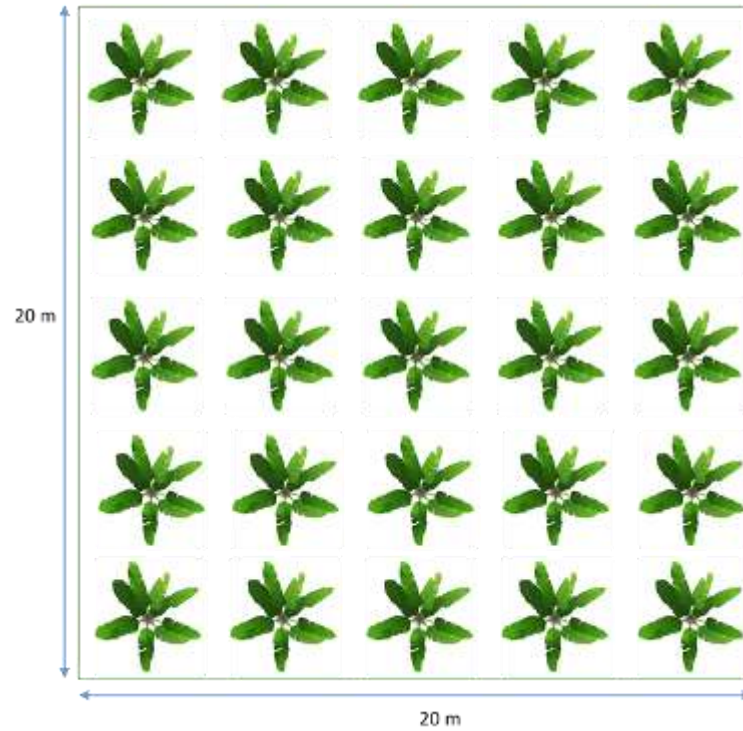


Figura 5. Parcela general con dimensión de 20 m x 20 m (400 m²) del sistema productivo plátano (*Musa paradisiaca L.*).

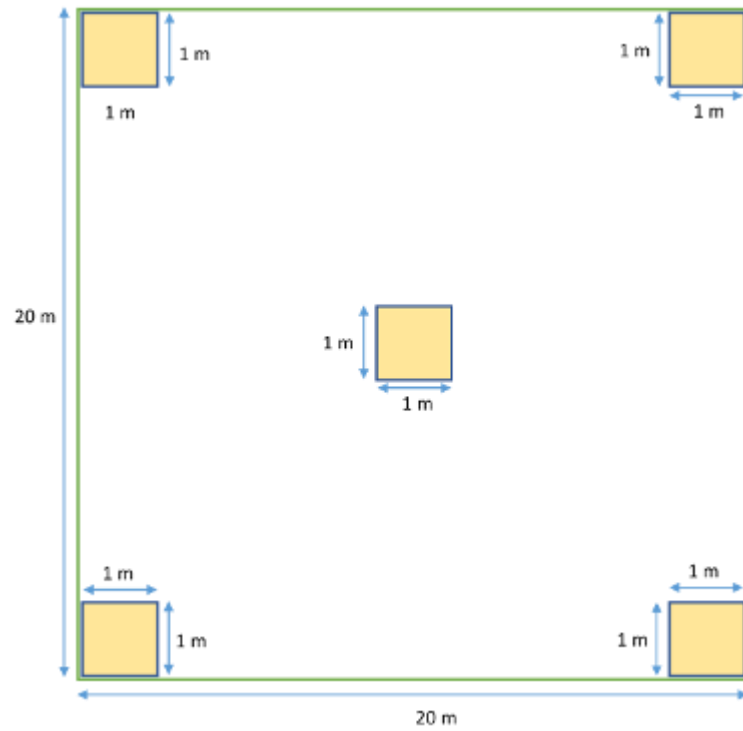




Figura 6. Parcela general con dimensión de 20 m x 20 m (400 m²) para la recolección de muestras de carbono orgánico en el suelo y hojarasca.

Donde:

 Zona de recolección de muestras de hojarasca y suelo de 1 m x 1 m (1m²)

 Perímetro de la parcela de 20 m x 20 m (400 m²)

La parcela general destinada a la recolección de muestras de carbono orgánico en el suelo y la hojarasca tuvo dimensiones de 20 m × 20 m (400 m²), conforme se muestra en la Figura 6. A continuación, para obtener las muestras de carbono orgánico del suelo, determinar la densidad aparente y estimar el porcentaje de materia orgánica tanto en el suelo como en la hojarasca, se establecieron cinco subparcelas de 1 m² dentro de cada sistema productivo. En cada una de estas subparcelas se recolectaron muestras de hojarasca, sumando un total de 15 subparcelas por sistema productivo y 45 subparcelas para toda la evaluación.

Se estableció las parcelas con orientación al norte en cada sistema productivo de plantación de yuca (*Manihot esculenta C.*), cacao (*Theobroma cacao L.*) y plátano (*Musa paradisiaca L.*), se identificó 3 zonas diferentes para cada sistema productivo, cuenta cada uno con una extensión de 0,12 ha⁻¹ (Yuca 1), 0,24 ha⁻¹ (Yuca 2), 0,16 ha⁻¹ (Yuca 3), 2,43 ha⁻¹ (Cacao 1), 2,05 ha⁻¹ (Cacao 2), 3,28 ha⁻¹ (Cacao 3), 2,07 ha⁻¹ (Plátano 1), 0,49 ha⁻¹ (Plátano 2), 1,26 ha⁻¹ (Plátano 3), cada sistema productivo representa a un tratamiento y cada parcela general representa a una repetición, por lo que en total serán 3 sistemas productivos (tratamientos) y 3 parcelas generales (repeticiones) por cada sistema productivo, siendo en total 9 parcelas generales en los tres sistemas productivos; dentro de cada parcela general se hará delimitaciones mediante submuestras para la recolección de muestras de carbono orgánico en el suelo y hojarasca, las muestras serán conforme lo realizado por (FAO, 2005) con muestreos en cada esquina de la parcela general.

3.9.1. Estimación el carbono orgánico en el suelo de sistemas productivos con plantación de yuca (*Manihot esculenta C.*), cacao (*Theobroma cacao L.*) y plátano (*Musa paradisiaca L.*)

3.9.1.1. Reconocimiento del área

Se realizó un levantamiento de campo en la zona de estudio con el propósito de definir los puntos de muestreo. Las muestras de suelo obtenidas se emplearán para evaluar el carbono orgánico, calcular la densidad aparente y cuantificar el porcentaje de materia orgánica del suelo.

3.9.1.2. Levantamiento de muestras de suelo y densidad aparente

Se delimitó la parcela general y posteriormente se dividió en subparcelas, asegurando que las parcelas se ubicaran en zonas apropiadas para un muestreo correcto. Para la recolección de suelo se utilizó un muestreador tecnificado, obteniéndose cinco submuestras de 1 m² por subparcela, sumando un total de 1,5 kg por muestra.

En total se recolectaron 45 muestras de suelo en los tres SUT, las cuales se colocaron en bolsas plásticas, se codificaron y fueron trasladadas al laboratorio del INIA-Tarapoto para su análisis.

Para determinar la densidad aparente, se aplicó el método del cilindro, extrayendo las muestras con el mismo muestreador y respetando las dimensiones establecidas. Cada muestra fue codificada y llevada al laboratorio para su procesamiento según lo indicado por McDicken, 1997.

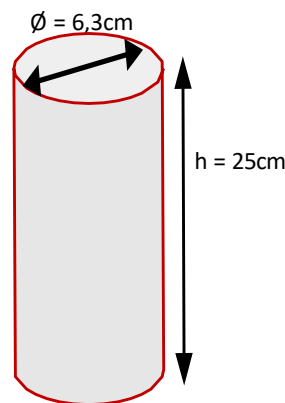


Figura 7. Dimensiones del cilindro metálico del muestreador para determinar la densidad aparente en el suelo

3.9.1.3. Levantamiento de datos para estimación de C orgánico del suelo y densidad aparente.

Las muestras de suelo se secaron al aire libre, protegidas de la luz directa, durante 72 horas para evitar la degradación de la materia orgánica. Para estimar el carbono orgánico del suelo se aplicó el método de Walkley y Black, lo que permitió calcular el porcentaje de materia orgánica presente (%MO).

Para determinar la densidad aparente (DA), los cilindros de volumen conocido llenos de suelo se llevaron a una estufa a 70 °C durante 24 a 48 horas, hasta alcanzar un peso constante, siguiendo lo recomendado por ICRAF.

3.9.1.4. Cálculo para estimación de C orgánico del suelo y densidad aparente

Para la estimación de carbono orgánico del suelo se usó las siguientes fórmulas de Walkley y Black (1934) e ICRAF (2009):

a) Para determinar densidad aparente:

$$Da = \frac{P_{ss}}{vC}$$

Donde:

Da : Densidad aparente (g/cc)

PSS : Peso seco del suelo

VC : Volumen del cilindro

El volumen del cilindro se calculó con la siguiente fórmula:

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

Donde:

Donde:

VC : Volumen del cilindro (cc)

π : 3,1416

r : radio del cilindro (cm)

h : altura del cilindro (cm)

b) Para determinar el peso de volumen del suelo:

$$PVs = Da * P * 1000$$

Donde:

PVs : Peso de volumen de suelo (t ha⁻¹)

Da : Densidad aparente (g/cc)

P : Profundidad del suelo (m)

1000 : Factor

c) Para determinar el porcentaje de carbono orgánico:

$$\%C = 0.58 * \%MO$$

Donde:

%C : Porcentaje de carbono orgánico

0.58 : Factor

%MO : Porcentaje de materia orgánica

d) Para determinar el carbono orgánico del suelo:

$$COS = PVs * P * 1000$$

Donde:

COS : Carbono orgánico del suelo ($t\ ha^{-1}$)

PVs : Peso de volumen de suelo

P : Profundidad del suelo

10000 : Factor

3.9.2. Estimación del carbono orgánico en hojarasca de sistemas productivos con plantación de yuca (*Manihot esculenta C.*), cacao (*Theobroma cacao L.*) y plátano (*Musa paradisiaca L.*).

3.9.2.1. Reconocimiento del área

Se llevó a cabo un reconocimiento preliminar utilizando el mapa de ubicación para definir la estratificación del área de estudio, seguido de un reconocimiento directo en campo con el objetivo de determinar los puntos donde se ubicarían las parcelas generales en cada SUT

3.9.2.2. Levantamiento de muestras de hojarasca

Una vez delimitada la parcela general, se llevó a cabo el muestreo de hojarasca colocando en cada una de ellas cinco cuadrantes de rafia de 1 m × 1 m. En cada cuadrante se recolectó la totalidad de la hojarasca existente, incluyendo flores, frutos, semillas, material leñoso y fragmentos con diámetros menores a 4 cm. Con este procedimiento se obtuvieron cinco muestras de hojarasca por cada parcela general, alcanzando un total de 45 muestras en los tres sistemas de uso de la tierra (SUT). Cada muestra fue depositada en bolsas plásticas previamente codificadas y posteriormente trasladada al laboratorio del INIA-Tarapoto para realizar el análisis correspondiente.

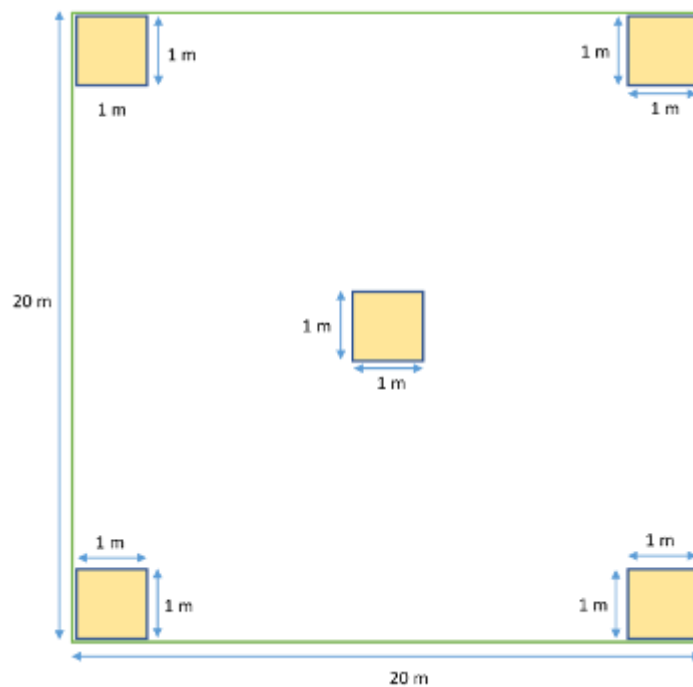


Figura 8. Ubicación y dimensiones del cuadrante de madera para el levantamiento de muestras de hojarasca

3.9.2.3. Levantamiento de datos para estimación de C orgánico en hojarasca

Cada muestra de hojarasca, previamente identificada, fue pesada en su estado inicial utilizando una balanza digital para determinar el peso húmedo. Luego, se transfirió a bolsas de papel y se introdujo en una estufa a 70 °C durante un periodo de 24 a 48 horas, hasta que alcanzó un peso estable. Con ello se obtuvo el peso seco. La diferencia entre el peso húmedo y el peso seco permitió calcular la biomasa de hojarasca, siguiendo las recomendaciones establecidas por ICRAF (2009)

3.9.2.4. Cálculo para estimación de C orgánico en hojarasca

Para la estimación de carbono orgánico en hojarasca se usó la siguiente fórmula (ICRAF, 2009)

$$COH = BH * 0.5$$

Donde:

COH : Carbono orgánico de hojarasca (t ha⁻¹)

BH : Biomasa en hojarasca

0.5 : Factor

Para estimar la biomasa en hojarasca se usó la siguiente fórmula:

$$BH = \left(\frac{\bar{x}PS}{\bar{x}PH} * PFT \right) * 40$$

Donde:

BH : Biomasa en hojarasca (t ha⁻¹)

$\bar{x}PS$: Media del peso seco

$\bar{x}PH$: Media del peso húmedo

PFT : Peso fresco total

40 : Factor

3.9.3. Diseño de la tesis

Los tratamientos de esta investigación se organizaron siguiendo un diseño en bloques completos no al azar (DBCA). El experimento cuenta con tres Sistemas de Uso de Tierras (SUT), cada uno con tres parcelas generales. Cada SUT se subdividió en cinco subparcelas, sumando un total de 15 subparcelas por SUT y 45 subparcelas en toda la investigación, como se detalla en la Tabla 4.

Tabla 4. Descripción de tratamientos de la investigación

Nº	Tratamiento
1	Cacao en Bloque 1 con 5 repeticiones
2	Cacao en Bloque 2 con 5 repeticiones
3	Cacao en Bloque 3 con 5 repeticiones
4	Plátano en Bloque 4 con 5 repeticiones
5	Plátano en Bloque 5 con 5 repeticiones
6	Plátano en Bloque 6 con 5 repeticiones
7	Yuca en Bloque 7 con 5 repeticiones
8	Yuca en Bloque 8 con 5 repeticiones
9	Yuca en Bloque 9 con 5 repeticiones

3.9.3.1. Modelo aditivo lineal

Se aplicó un diseño en bloques completos no al azar (DBCnA), utilizando nueve tratamientos con cinco repeticiones cada uno. El modelo aditivo lineal que representa el diseño se expresa mediante la siguiente ecuación:

$$Y_{ijk} = \mu + \tau_i + \beta_j + \varepsilon_{ijk}$$

Donde:

Y_{ijk} = Es la respuesta obtenida en el i-ésimo tratamiento, a la cual se aplicó el j-ésimo bloque con la k-ésima repetición.

μ = Es el efecto de la media general.

T_i = Es el efecto del i-ésimo tratamiento.

β_j = Es el efecto del j-ésimo bloque.

E_{ijk} = Es el efecto aleatorio del error experimental.

3.9.3.2. Unidad experimental

La investigación incluyó un total de 9 tratamientos, cada uno replicado 5 veces, sumando 45 unidades experimentales, correspondientes a subparcelas de 1 m² cada una.

3.9.3.3. Análisis de varianza

Se aplicó la prueba de Fisher con un nivel de significancia de $\alpha = 0,05$. Asimismo, se efectuó la comparación de medias mediante la prueba post hoc de Tukey, también con un nivel de significancia de $\alpha = 0,05$ (Tabla 5).

Tabla 5. Análisis de varianza (ANOVA) de la investigación

Fuente de variación	GL	SC	CM	Fc
Tratamientos (T)	$t-1$	SC_t	$SC_t / t-1$	CM_t/CM_E
Bloque (B)	$b-1$	SC_B	$SC_B / b-1$	CM_B/CM_E
Error	$tb(r-1)$	SC_E	SC_E / GL_E	
Total	$tbr - 1$	SC_{Total}		

T: Tratamientos; B= bloque; r = repeticiones; GL =grados de libertad; Sc = Suma de cuadrados
Sc = Suma de cuadrados; Fc = F calculado

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Estimación el carbono orgánico en el suelo de sistemas productivos con plantación de yuca (*Manihot esculenta C.*), cacao (*Theobroma cacao L.*) y plátano (*Musa paradisiaca L.*).

El análisis de varianza (Tabla 6) para el carbono orgánico del suelo muestra diferencias estadísticamente altamente significativas, indicando que los distintos sistemas de uso de la tierra presentan niveles de carbono orgánico significativamente distintos.

Tabla 6. ANOVA para la variable carbono orgánico en el suelo de 3 sistemas productivos.

Fuente de variación	SC	GL	CM	Fc	Fvalor
Tratamientos	143,91	8	17,99	32,92	<0,001 ^s
Bloque	121,64	2	60,82	111,30	<0,001 ^s
Error experimental	18,58	34	0,55		
Total	284,13	44			

Coefficiente de variación: CV = 11.21 %; Fv = Fuente de variación; Sc = Suma de cuadrados
GL = Grado de libertad; CM = Cuadrado

Los valores de carbono orgánico del suelo obtenidos en los nueve tratamientos, evaluados mediante la prueba HSD de Tukey ($p < 0,05$) y mostrados en la Tabla 7 y en la Figura 9, evidencian la conformación de tres grupos de subhomogeneidad, los cuales reúnen tratamientos que no presentan diferencias estadísticas significativas entre sí.

Asimismo, los valores más altos de COS se registraron en los cultivos de cacao correspondientes a los bloques 2 y 1, con 42,46 t C ha⁻¹ y 38,33 t C ha⁻¹, respectivamente. Este comportamiento se asocia al porte arbóreo del cacao, que favorece una mayor acumulación de carbono debido a su mayor biomasa y cobertura.

En contraste, los valores más bajos se observaron en los suelos cultivados con yuca en los bloques 2, 1 y 3, con 18,54 t C ha⁻¹, 15,20 t C ha⁻¹ y 15,11 t C ha⁻¹, respectivamente, reflejando su menor aporte de biomasa y, por consiguiente, una menor acumulación de carbono orgánico en el suelo.

Tabla 7. Prueba Tukey para la variable carbono orgánico en el suelo por efecto de los Tratamientos.

Mérito	Tratamiento	COS \pm EE (t C ha ⁻¹)	Sig
1	Cacao en bloque 2	42,64 \pm 1,75	a
2	Cacao en bloque 1	38,33 \pm 1,75	a
3	Plátano en bloque 2	26,40 \pm 0,65	b
4	Cacao en bloque 3	26,18 \pm 1,75	b
5	Plátano en bloque 3	26,05 \pm 0,65	b
6	Plátano en bloque 1	25,61 \pm 0,65	b
7	Yuca en bloque 2	18,54 \pm 0,52	c
8	Yuca en bloque 1	15,20 \pm 0,52	c
9	Yuca en bloque 3	15,11 \pm 0,52	c

Letras diferentes indican significancia estadística. EE = Error estándar de la media.

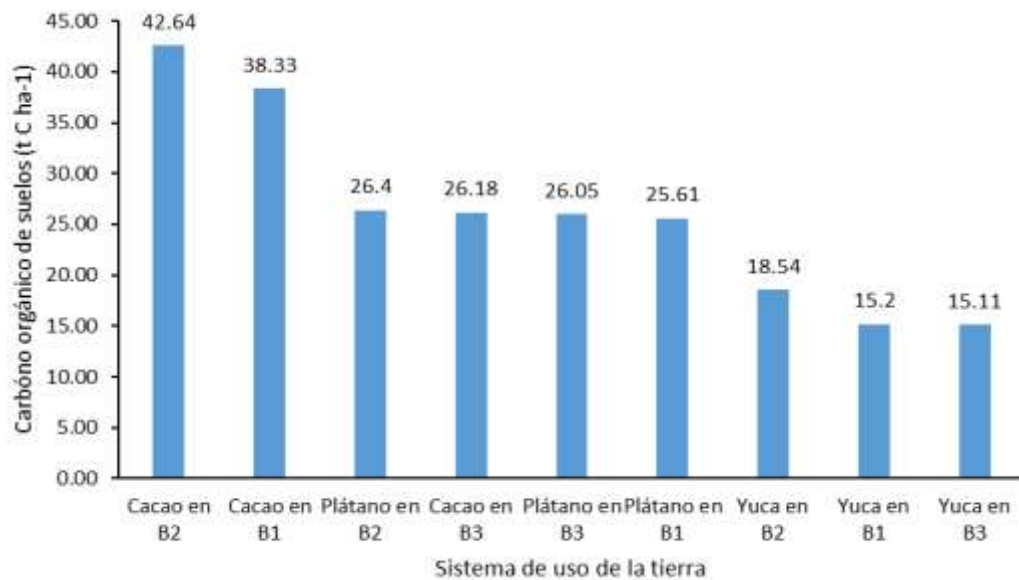


Figura 9. Comparación de promedios de carbono orgánico del suelo en los 9 tratamientos.

En la Figura 9 se aprecia que los sistemas de uso de tierra (SUT) que incorporan especies agroforestales, como el cacao, muestran los valores más altos de carbono orgánico en

el suelo, con rangos entre 42,64 t C ha⁻¹ y 38,33 t C ha⁻¹. Estos valores superiores se atribuyen a que las especies arbóreas presentan una fisiología que genera una mayor producción de residuos orgánicos, lo cual incrementa el aporte de materia orgánica al suelo y, en consecuencia, eleva el contenido de carbono orgánico. En contraste, los SUT con cultivo de yuca, al ser un sistema no perenne, requieren labores continuas de labranza para su manejo, además del uso de agroquímicos para el control de malezas, factores que disminuyen la acumulación de materia orgánica en el suelo.

Por otro lado, Villogas (2013) en su investigación sobre el almacenamiento de carbono en cacao en producción de sistema agroforestal en parcela de 6, 8, 10 años. por consiguiente el almacenamiento de carbono en el suelo de los SAF resultaron para la parcela de 6 años con 62.95 t C/ha, para 8 años 62.46 t C/ha y para 10 años 73.73 t C/ha, en comparación con nuestros resultados el cacao B2 (con cacao de 10 años) con 42.64 t C/ha siendo este el más resaltante, y yuca B3 (con yuca de 6 meses) con 15,11 t C/ha siendo este el mas bajo, con lo que se puede decir que el nivel de carbono almacenado en áreas con SAF será mayor ya que de esta manera se evita la erosión de suelos y la pérdida de la materia orgánica.

De igual manera, al analizar los valores de carbono orgánico almacenado en el suelo en los tres sistemas de uso de tierra (SUT), distribuidos en tres tipos de uso y evaluados mediante la prueba HSD de Tukey ($p < 0,05$), como se detalla en la Tabla 8 y la Figura 10, se identifican tres grupos con sub-homogeneidad que agrupan tratamientos estadísticamente semejantes. El contenido más elevado de carbono orgánico se registró en el sistema con cacao, con 35,71 t C ha⁻¹. Este resultado podría estar relacionado con la acumulación de hojarasca favorecida por las condiciones climáticas recientes, en particular, la sequía prolongada que se presentó desde julio de 2024. En contraste, los niveles más reducidos de carbono orgánico se observaron en los suelos cultivados con yuca, que alcanzaron 16,28 t C ha⁻¹, reflejando la menor capacidad de este cultivo anual para acumular carbono orgánico en el suelo.

Tabla 8. Prueba Tukey para la variable carbono orgánico en el suelo por efecto del bloque.

Mérito	Sistemas de uso de la tierra	COS ± EE (t C ha ⁻¹)	Sig
1	Cacao	35,71 ± 1,26	a
2	Plátano	26,02 ± 0,92	b
3	Yuca	16,28 ± 0,50	c

Letras diferentes indican significancia estadística. EE = Error estándar de la media.

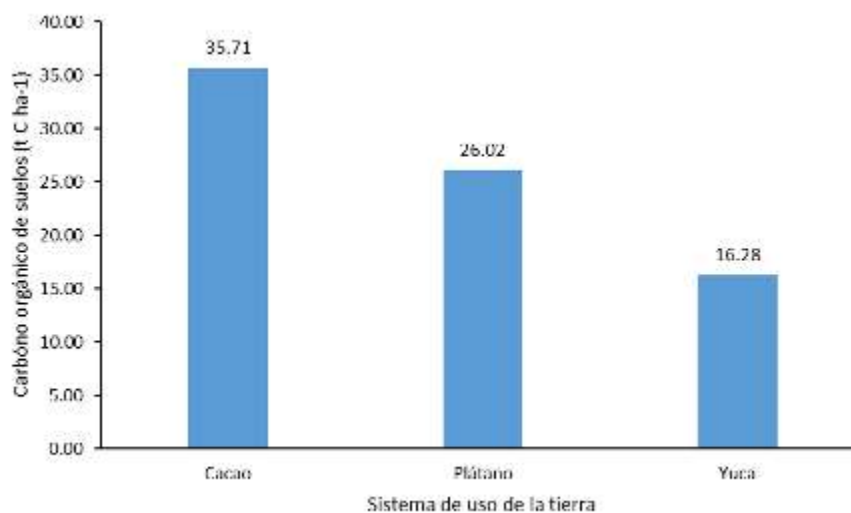


Figura 10. Comparación de promedios de carbono orgánico del suelo en los tres SUT.

En la Figura 10 se aprecia que los SUT conformados por especies agroforestales, como el cacao, muestran los valores más elevados de carbono orgánico en el suelo. Este comportamiento se explica porque la concentración de carbono orgánico está estrechamente vinculada al contenido de materia orgánica, la cual se ve favorecida en sistemas donde predominan especies de tipo forestal que aportan mayores volúmenes de residuos orgánicos. Las muestras analizadas fueron obtenidas hasta una profundidad de 25 cm.

Resultados similares fueron reportados por Acosta et al. (2020), quienes al evaluar el carbono orgánico en especies forestales registraron valores de 73,94 Mg C ha⁻¹, lo que confirma el alto potencial de estas especies para la acumulación de carbono orgánico en el suelo.

4.2. Estimación el carbono orgánico en hojarasca de sistemas productivos con plantación de yuca (*Manihot esculenta C.*), cacao (*Theobroma cacao L.*) y plátano (*Musa paradisiaca L.*)

En el análisis de varianza presentado en la Tabla 9, referente al carbono orgánico almacenado en la hojarasca, se evidencia una diferencia estadísticamente altamente significativa. Esto indica que los distintos sistemas de uso de la tierra muestran valores diferenciados en cuanto a los niveles de carbono orgánico presente en la hojarasca.

Tabla 9. ANOVA para la variable carbono orgánico en hojarasca de 3 sistemas productivos.

Fuente de variación	SC	GL	CM	Fc	Fvalor
Tratamientos	6322.54	8	790.32	346.63	<0,001 ^s
Bloque	8203.6	2	4101.80	1799.04	<0,001 ^s
Error experimental	77.52	34	2.28		
Total	14603.66	44			

Coefficiente de variación: CV = 16,40 %; Fv = Fuente de variación; Sc = Suma de cuadrados
GL = Grado de libertad; CM = Cuadrado

A partir de los valores obtenidos sobre el carbono orgánico almacenado en la hojarasca para los nueve tratamientos evaluados, y analizados mediante la prueba HSD de Tukey ($p < 0,05$), tal como se presenta en la Tabla 10 y la Figura 11, se identificaron cuatro grupos de sub-homogeneidad que reúnen a los tratamientos con similitudes estadísticas. El mayor contenido de carbono orgánico en la hojarasca se registró en los SUT de cacao correspondientes a los bloques 2, 1 y 3, con valores de $86,33 \text{ t C ha}^{-1}$, $80,90 \text{ t C ha}^{-1}$ y $79,15 \text{ t C ha}^{-1}$, respectivamente, lo que evidencia la ventaja del cultivo de cacao en este componente. En contraste, los valores más reducidos se registraron en la hojarasca del cultivo de yuca en el bloque 1, con $9,20 \text{ t C ha}^{-1}$, lo que refleja su menor capacidad de acumulación de carbono dentro de este sistema de uso de la tierra

Tabla 10. Prueba Tukey para la variable carbono orgánico en hojarasca por efecto de los Tratamientos.

Mérito	Tratamiento	COS \pm EE (t C ha ⁻¹)	Sig
1	Cacao en bloque 2	86.33 ± 6.15	a
2	Cacao en bloque 1	80.90 ± 6.15	a
3	Cacao en bloque 3	79.15 ± 6.15	a
4	Plátano en bloque 3	28.82 ± 5.04	b
5	Plátano en bloque 2	28.50 ± 5.04	b
6	Plátano en bloque 1	17.66 ± 5.04	c

7	Yuca en bloque 2	17.08 ± 2.75	c
8	Yuca en bloque 3	16.75 ± 2.75	c
9	Yuca en bloque 1	9.20 ± 2.75	d

Letras diferentes indican significancia estadística. EE = Error estándar de la media.

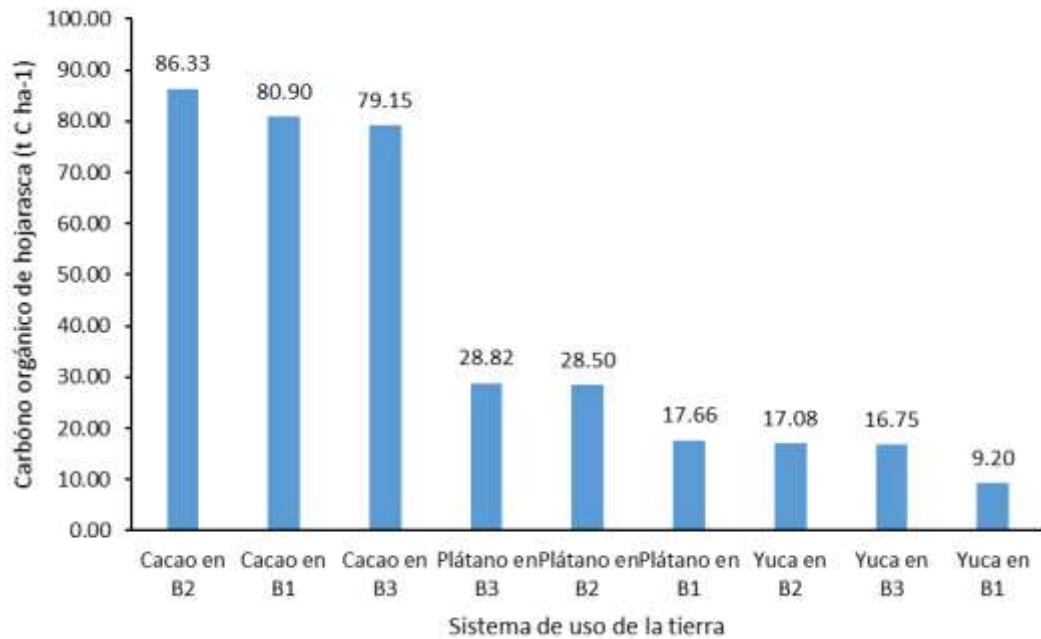


Figura 11. Comparación de medias de carbono orgánico en hojarasca en los 9 tratamientos.

En la Figura 11 se observa que los SUT con especies agroforestales continúan destacando en la acumulación de carbono orgánico. La hojarasca del cacao presentó los valores más altos, con un rango de 86,33 t C ha⁻¹ a 79,15 t C ha⁻¹, siendo estadísticamente superiores a los demás sistemas. Esto se debe a la capacidad de las especies de cacao de renovar continuamente sus hojas, las cuales son de textura gruesa, generando suficiente materia orgánica que contribuye al reciclaje de nutrientes como el nitrógeno. En contraste, los SUT con cultivo de yuca, aunque también pierden hojas, estas son finas y se descomponen rápidamente, limitando la acumulación y absorción de carbono orgánico.

Del mismo modo, Sarah (2012) menciona que la materia orgánica presente en el suelo que es incorporado de diversas maneras ya sea por procesos fotosintéticos en donde se utiliza el CO₂ atmosférico, o por la incorporación de residuos orgánicos como hojarascas, ramas frutos, es lo que se considera como secuestro y almacenamiento de carbono, y que el aumentar la cantidad de carbono orgánico en el suelo formando agregados en donde la actividad

microbiana no participe y no se produzca la degradación de la materia orgánica, conservándose por largos periodos son estrategias para aumentar la cantidad de carbono orgánico al suelo, y que la gestión del suelo es importante en su conservación y que una mala gestión del uso del suelo agotaría el carbono orgánico con las consiguientes emisiones de CO₂ a la atmosfera, en comparación con nuestros resultados el cacao B2 (con cacao de 10 años) con 86,33 t C/ha siendo este el mas resaltante y yuca B1 (con yuca de 6 meses) con 9,20 t C/ha siendo este el más bajo, donde se aprecia la importancia de la hojarasca para la incorporación de COS.

De manera análoga, al evaluar el carbono orgánico almacenado en la hojarasca de los tres SUT mediante la prueba HSD de Tukey ($p < 0,05$), según lo presentado en la Tabla 11, se identificaron tres grupos con sub-homogeneidad que reúnen tratamientos con similitud estadística. Los mayores valores de COS en la hojarasca se obtuvieron en el sistema con cacao, alcanzando 82,13 t C ha⁻¹. Este aporte constituye un recurso importante para la restauración de suelos degradados o con pérdida de cobertura vegetal, ya que con el tiempo contribuye a la acumulación de materia orgánica que mejora los procesos fisiológicos de las plantas. En contraste, los valores más bajos se registraron en el sistema con cultivo de yuca, con 14,34 t C ha⁻¹, siendo este el valor más reducido entre los sistemas de uso de tierra evaluados

Tabla 11. Prueba Tukey para la variable carbono orgánico en hojarasca por efecto del bloque.

Mérito	Sistemas de uso de la tierra	COS ± EE (t C ha ⁻¹)	Sig
1	Cacao	82,13 ± 6,10	a
2	Plátano	24,99 ± 4,77	b
3	Yuca	14,34 ± 2,32	c

Letras diferentes indican significancia estadística. EE = Error estándar de la media.

Finalmente, en la Figura 12 se aprecia que los SUT compuestos por especies agroforestales, como el cacao, continúan mostrando los valores más altos de carbono orgánico almacenado en hojas. Este comportamiento se explica porque, al caer al suelo, las hojas reducen la aparición de malezas y, durante su proceso de descomposición, aportan materia orgánica que mejora las propiedades del suelo. Estos resultados coinciden con estudios previos: Dilas y Jiménez (2020) determinaron valores notablemente inferiores, de 6,72 t C ha⁻¹, al evaluar el carbono orgánico en un bosque montano. De igual manera, Gonzales (2018), al estudiar

sistemas agroforestales a lo largo de un gradiente altitudinal, reportó que las mayores tasas de captura de carbono se registran en zonas de menor altitud, con un valor de $11,36 \text{ t C ha}^{-1}$, evidenciando que la altitud influye de manera significativa en la acumulación de carbono orgánico en la hojarasca.

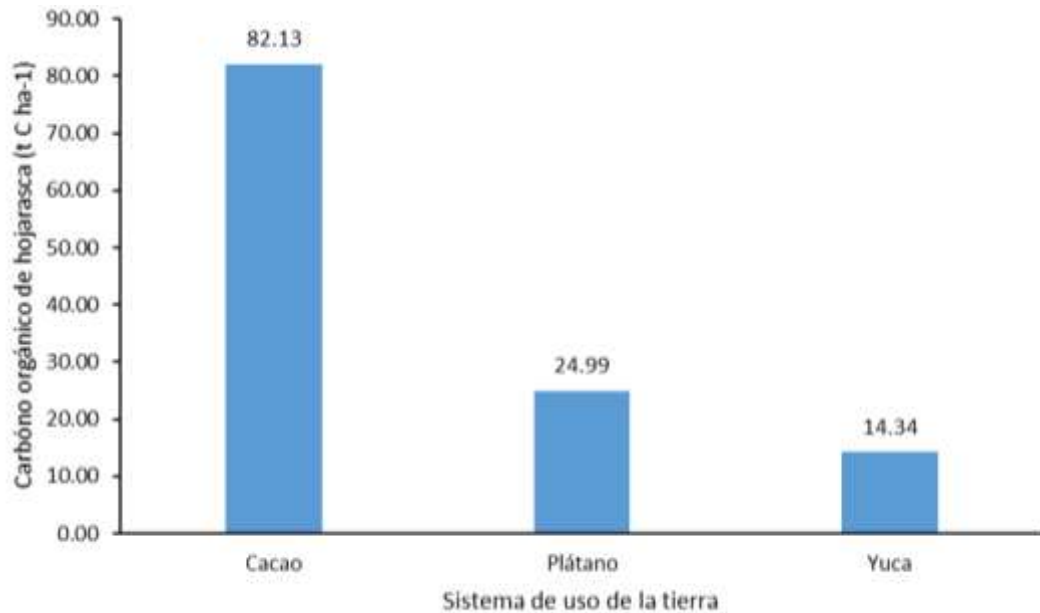


Figura 12. Comparación de promedios de carbono orgánico de hojarasca en los tres SUT.

Tabla 12. Tabla comparativa desarrollada a partir del análisis de información proveniente de fuentes externas

Componentes	Especies	nombre científico	carbono (t/ha)	carbono vegetal SAF (t/ha)
Forestal	caoba	<i>Swietenia macrophylla</i>	64,28	207,5
	Shimbillo	<i>Inga oerstediana</i>	61,78	
Cultivo agrícola	Platano	<i>Musa paradisiaca</i>	1,28	74,73
	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	80,16	
Forestal	Bolaina	<i>Guazuma crinita</i>	15,24	74,73
	Capirona	<i>Calycophyllum spruceanum</i>	1,98	
	Guaba	<i>Inga edulis</i>	5,05	
	Pumaquiro	<i>Aspidosperma macrocarpon</i>	3,98	
Cultivo agrícola	Platano	<i>Musa paradisiaca</i>	0,83	74,73
	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	47,65	

Fuente: D. Ramírez S. (2025)

Según Dixon (1995), la acumulación de biomasa en los SAF está relacionada con el manejo utilizado, composición de especies y región donde ocurre. El uso de prácticas de manejo del SAF y prácticas de conservación de preparación del suelo potencialmente puede

mitigar y reducir las emisiones de carbono, es decir secuestrarlo, capturarlo y mantenerlo el mayor tiempo posible en la biomasa y/o en el terreno.

Para D. Ramírez S. (2025) en su estudio nos dice que en un SAF con especies caoba, shimbillo, plátano y cacao el contenido de COS almacenado es de 207.5 t C ha así como también en un SAF con bolaina, capirona, guaba, pumaquiro, platano y cacao el contenido de COS almacenado es de 74,73 t C ha.

Tabla 13. Tabla de COS y CH por sistema productivo

Componentes	especies	nombre científico	carbono vegetal por sistema productivo (t/ha)
Cultivo agrícola (suelo)	cacao 1	<i>Theobroma cacao</i>	38,33
	cacao 2		42,64
	cacao 3		26,18
	plátano 1	<i>Musa paradisiaca</i>	25,61
	plátano 2		26,40
	plátano 3		26,05
	yuca 1	<i>Manihot esculenta C.</i>	15,20
	yuca 2		18,54
	yuca 3		15,11
Cultivo agrícola (hojarasca)	cacao 1	<i>Theobroma cacao</i>	80,90
	cacao 2		86,33
	cacao 3		79,15
	plátano 1	<i>Musa paradisiaca</i>	17,66
	plátano 2		28,50
	plátano 3		28,82
	yuca 1	<i>Manihot esculenta C.</i>	9,20
	yuca 2		17,08
	yuca 3		16,75

Siendo muy superior al presente estudio donde nuestro mayor contenido de COS almacenado es de 42.64 t C ha. Esto nos indica que en un SAF la captura y almacenamiento de COS es mayor ya que actúa como un mecanismo de protección y restauración de las propiedades del suelo tanto físicas, químicas y biológicas, a su vez esto influye en el enriquecimiento de la materia orgánica y control de la erosión lo que involucra la conservación de los suelos.

El suelo de la **Parcela 1 con sistema de yuca (*Manihot esculenta C.*)** presenta un pH Ligeramente ácido (6.2-6.5), una Conductividad eléctrica Óptima (46.64-69.53mS/m), presenta también una proporción de Materia Orgánica Bajo (0.68-0.86%), con niveles de

Nitrógeno Total Bajo (0.06-0.09%), Baja cantidad de Fósforo Disponible (0.92-1.1mg/kg), nivel Bajo de Potasio Disponible (59.31-64.01mg/kg), con respecto a las bases, presenta un Calcio Intercambiable Alto (19.7-22.1C mol(+)/Kg), un Magnesio Intercambiable Alto (3-3.5 C mol(+)/Kg), un Potasio Intercambiable Aceptable (0.41-0.59 C mol(+)/Kg) y un Sodio Intercambiable Muy bajo (0.53-0.83C mol(+)/Kg), además de ello, se adiciona un Aceptable nivel de Carbonato de calcio equivalente (15.33-20.99%) y una Aceptable Capacidad de Intercambio Catiónico efectiva (CICe) (13.67-15.77C mol(+)/Kg). Para terminar el suelo contiene 2 Clases Texturales Franco y Franco arcilloso (Figura 42).

El suelo de la **Parcela 2 con sistema de yuca (*Manihot esculenta C.*)** presenta un pH Neutro (6.5-6.8), una Conductividad eléctrica Óptima (26.44-27.78 mS/m), presenta también una proporción de Materia Orgánica Bajo (0.68-0.88%), con niveles de Nitrógeno Total Bajo (0.08-0.09 %), Baja cantidad de Fósforo Disponible (0.84-0.99 mg/kg), nivel Bajo de Potasio Disponible (53.77-56.04 mg/kg), con respecto a las bases, presenta un Calcio Intercambiable Alto (15.66-16.27 C mol(+)/Kg), un Magnesio Intercambiable Bajo (1.01-1.14 C mol(+)/Kg), un Potasio Intercambiable Aceptable (0.35-0.42 C mol(+)/Kg) y un Sodio Intercambiable Muy bajo (0.5-0.66 C mol(+)/Kg), además de ello, se adiciona un Aceptable nivel de Carbonato de calcio equivalente (10.3-11.28 %) y una Aceptable Capacidad de Intercambio Catiónico efectiva (CICe) (13.06-15 C mol(+)/Kg). Para terminar el suelo contiene 3 Clases Texturales Franco, Franco arcilloso y Arcilloso (Figura 43).

El suelo de la **Parcela 3 con sistema de yuca (*Manihot esculenta C.*)** presenta un pH Moderadamente ácido (5.7-5.9), una Conductividad eléctrica Óptima (29.49-30.74 mS/m), presenta también una proporción de Materia Orgánica Bajo (0.64-0.88%), con niveles de Nitrógeno Total Bajo (0.07-0.09%), Baja cantidad de Fósforo Disponible (1.09-1.28 mg/kg), nivel Bajo de Potasio Disponible (62.1-63.21mg/kg), con respecto a las bases, presenta un Calcio Intercambiable Alto (18.42-19.77 C mol(+)/Kg), un Magnesio Intercambiable Aceptable (2.15-2.82 C mol(+)/Kg), un Potasio Intercambiable Aceptable (0.42-0.48C mol(+)/Kg) y un Sodio Intercambiable Muy bajo (0.59-0.66 C mol(+)/Kg), además de ello, se adiciona un Aceptable nivel de Carbonato de calcio equivalente (15.73-16.44%) y una Aceptable Capacidad de Intercambio Catiónico efectiva (CICe) (15.03-15.81 C mol(+)/Kg). Para terminar el suelo contiene 3 Clases Texturales Franco, Franco arcilloso y Arcilloso (Figura 44).

El suelo de la **Parcela 1 con sistema de cacao (*Theobroma cacao L.*)** presenta un pH Neutro (7-7.2), una Conductividad eléctrica Óptima (70.05-72.44 mS/m), presenta también una proporción de Materia Orgánica Aceptable (1.89-2.34%), con niveles de Nitrógeno Total Aceptable (0.10-0.12%), Baja cantidad de Fósforo Disponible (1.09-1.28 mg/kg), nivel

Bajo de Potasio Disponible (57.33-68.9 mg/kg), con respecto a las bases, presenta un Calcio Intercambiable Aceptable (9.2-10.45 C mol(+)/Kg), un Magnesio Intercambiable Aceptable (1.4-1.93C mol(+)/Kg), un Potasio Intercambiable Aceptable (0.35-0.38C mol(+)/Kg) y un Sodio Intercambiable Muy bajo (1.21-1.3 C mol(+)/Kg), además de ello, se adiciona un Aceptable nivel de Carbonato de calcio equivalente (5.23-6.44%) y una Aceptable Capacidad de Intercambio Catiónico efectiva (CICe) (16.33-16.92 mol(+)/Kg). Para terminar el suelo contiene 2 Clases Texturales Arcilloso y Franco arcilloso (Figura 45).

El suelo en la **Parcela 2 con sistema de cacao (*Theobroma cacao L.*)** presenta un pH Neutro (7.1-7.4), una Conductividad eléctrica Óptima (25.33-30.45 mS/m), presenta también una proporción de Materia Orgánica Aceptable (1.68-2.79%), con niveles de Nitrógeno Total Aceptable (0.11-0.13%), Baja cantidad de Fósforo Disponible (1.2-1.33 mg/kg), nivel Aceptable de Potasio Disponible (123.33-130.22 mg/kg), con respecto a las bases, presenta un Calcio Intercambiable Aceptable (9.2-10.45 C mol(+)/Kg), un Magnesio Intercambiable Alto (3.15-3.5C mol(+)/Kg), un Potasio Intercambiable Aceptable (0.43-0.51C mol(+)/Kg) y un Sodio Intercambiable Muy bajo (0.72-0.75 C mol(+)/Kg), además de ello, se adiciona un Aceptable nivel de Carbonato de calcio equivalente (3.2-4.6%) y una Aceptable Capacidad de Intercambio Catiónico efectiva (CICe) (17.86-20.4 mol(+)/Kg). Para terminar el suelo contiene 2 Clases Texturales Arcilloso y Franco arcilloso (Figura 46).

El suelo en la **Parcela 3 con sistema de cacao (*Theobroma cacao L.*)** presenta un pH Neutro (6.4-6.8), una Conductividad eléctrica Óptima (28.53-31.67 mS/m), presenta también una proporción de Materia Orgánica Aceptable (1.06-1.61%), con niveles de Nitrógeno Total Aceptable (0.1-0.12 %), Baja cantidad de Fósforo Disponible (2.4-2.65 mg/kg), nivel Bajo de Potasio Disponible (100.06-105.43 mg/kg), con respecto a las bases, presenta un Calcio Intercambiable Aceptable (8.35-9.12 C mol(+)/Kg), un Magnesio Intercambiable Aceptable (2.9-3.15 C mol(+)/Kg), un Potasio Intercambiable Aceptable (0.43-0.48 C mol(+)/Kg) y un Sodio Intercambiable Muy bajo (0.49-0.65 C mol(+)/Kg), además de ello, se adiciona un Bajo nivel de Carbonato de calcio equivalente (3.02-3.2 %) y una Aceptable Capacidad de Intercambio Catiónico efectiva (CICe) (17.87-18.64 C mol(+)/Kg). Para terminar el suelo contiene 2 Clases Texturales Arcilloso y Franco arcilloso (Figura 47).

El suelo en la **Parcela 1 con sistema de plátano (*Musa paradisiaca L.*)** presenta un pH Neutro (6.7-7.2), una Conductividad eléctrica Óptima (20.53-23.71 mS/m), presenta también una proporción de Materia Orgánica Bajo (1.16-1.44%), con niveles de Nitrógeno Total Aceptable (0.1-0.12%), Baja cantidad de Fósforo Disponible (1.75-1.83mg/kg), nivel Bajo de Potasio Disponible (90.38-99.42mg/kg), con respecto a las bases, presenta un Calcio

Intercambiable Alto (19.78-21.2 C mol(+)/Kg), un Magnesio Intercambiable Bajo (1.24-1.28 C mol(+)/Kg), un Potasio Intercambiable Aceptable (0.35-0.38C mol(+)/Kg) y un Sodio Intercambiable Muy bajo (0.55-0.61C mol(+)/Kg), además de ello, se adiciona un Aceptable nivel de Carbonato de calcio equivalente (17.66-18.81%) y una Aceptable Capacidad de Intercambio Catiónico efectiva (CICe) (17.5-17.96 C mol(+)/Kg). Para terminar el suelo contiene 2 Clases Texturales Franco arenoso y Franco arcilloso (Figura 48).

El suelo en la **Parcela 2 con sistema de plátano (*Musa paradisiaca L.*)** presenta un pH Neutro (6.2-6.5), una Conductividad eléctrica Óptima (19.03-20.4 mS/m), presenta también una proporción de Materia Orgánica Bajo (1.28-1.51%), con niveles de Nitrógeno Total Aceptable (0.11-0.12%), Baja cantidad de Fósforo Disponible (1.28-1.7 mg/kg), nivel Aceptable de Potasio Disponible (120.5-127.35 mg/kg), con respecto a las bases, presenta un Calcio Intercambiable Alto (15.28-16.9 C mol(+)/Kg), un Magnesio Intercambiable Bajo (2.67-3.13 C mol(+)/Kg), un Potasio Intercambiable Aceptable (0.42-0.5 C mol(+)/Kg) y un Sodio Intercambiable Muy bajo (0.40-0.49C mol(+)/Kg), además de ello, se adiciona un Aceptable nivel de Carbonato de calcio equivalente (14.2-15 %) y una Aceptable Capacidad de Intercambio Catiónico efectiva (CICe) (16.68-17.5 C mol(+)/Kg). Para terminar el suelo contiene 2 Clases Texturales Franco arenoso y Franco arcilloso (Figura 49).

El suelo en la **Parcela 3 con sistema de plátano (*Musa paradisiaca L.*)** presenta un pH Ligeramente ácido (6.1-6.6), una Conductividad eléctrica Óptima (25.7-27.34 mS/m), presenta también una proporción de Materia Orgánica Bajo (1.29-1.44%), con niveles de Nitrógeno Total Aceptable (0.1-0.12 %), Baja cantidad de Fósforo Disponible (1.69-1.93 mg/kg), nivel Aceptable de Potasio Disponible (137.5-145.3 mg/kg), con respecto a las bases, presenta un Calcio Intercambiable Alto (14.23-15.04 C mol(+)/Kg), un Magnesio Intercambiable Alto (3.05-3.2 C mol(+)/Kg), un Potasio Intercambiable Aceptable (0.53-0.68 C mol(+)/Kg) y un Sodio Intercambiable Muy bajo (0.4-0.49 C mol(+)/Kg), además de ello, se adiciona un Aceptable nivel de Carbonato de calcio equivalente (12.05-12.96 %) y una Aceptable Capacidad de Intercambio Catiónico efectiva (CICe) (17.57-18.31 C mol(+)/Kg). Para terminar el suelo contiene 2 Clases Texturales Franco arenoso y Franco arcilloso (Figura 50).

V. CONCLUSIONES

1. El carbono orgánico (CO) en el suelo de sistemas productivos con plantación de yuca (*Manihot esculenta C.*), cacao (*Theobroma cacao L.*) y plátano (*Musa paradisiaca L.*) resultados ser estadísticamente diferentes, siendo el cacao (*Theobroma cacao L.*) el que demostró mayores resultados, siendo muy eficiente en la fijación de materia orgánica en suelos. Esto se evidencia por que los sistemas productivos como el cacao cuentan con abonamiento y encalados, lo que permite una mayor interacción entre los microorganismos y la materia orgánica del suelo, influyendo directamente en el COS.
2. Similarmente el carbono orgánico en hojarasca de sistemas productivos con plantación de yuca (*Manihot esculenta C.*), cacao (*Theobroma cacao L.*) y plátano (*Musa paradisiaca L.*) dieron diferencias significativas, donde el cacao representó la mayor cantidad de hojas, materia orgánica y carbono orgánico en hojas. Esto se evidencia por que los sistemas productivos como el cacao se realiza las podas lo que incrementa el contenido de hojarasca en el suelo, influyendo directamente en el contenido CH.

VI. PROPUESTAS A FUTURO

1. Mejorar el diseño de investigación a factorial, puesto que hay factores intrínsecos como la zona en estudio, considerar el tiempo de pudrición de las hojarasca debido que pueden ser especies que tienen buena cantidad de hojas pero que por su composición no se descomponen rápido o Viceversa.
2. Implementar y adecuar sistemas agroforestales, complementados con la aplicación de diversos tipos de abonos orgánicos disponibles, con el propósito de incrementar la materia orgánica y, al mismo tiempo, mejorar la captura de carbono orgánico (CO) en aquellos SUT que muestran bajos niveles de almacenamiento de carbono en el suelo
3. Realizar una investigación en los meses donde exista mayor precipitación con la intención de obtener mejores resultados respecto al contenido de COS y CH
4. Realizar evaluaciones con prácticas de CSA, donde se involucre métodos biológicos y mecánicos para prevenir la erosión, la degradación y el agotamiento de los nutrientes en los suelos.

VII. REFERENCIAS

- Acosta Mireles, M., Carrillo Anzures, F., Buendía Rodríguez, E., Benavides Solorio, J. D. D., Flores Ayala, E., & González Molina, L. (2020). Carbono en suelo, hierbas y arbustos en una plantación forestal en Jalisco, México. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 11(6), 1377-1387.
- Acosta M., Etcheverrers D., Monreal C., Quednow E., Hidalgo C. (2001). Un método para la medición del carbono en los compartimientos subterráneos (raíces y suelo) de sistemas forestales y agrícolas en terrenos de ladera en México. *Colegio de Postgraduados, México*. 15 p.
- Alegre J., Arévalo L., Ricse A., Barbaran J. y Palm C. (2001). Reservas de Carbono y emisión de gases con diferentes sistemas de uso de la tierra en dos sitios de la amazonía peruana. *Symposium Internacional de Agroforesteria*. Manaus, Brazil EMBRAPA 21-24 de noviembre 2000.
- Ampuero, W., y Aponte, H. (2020). Estimación del carbono almacenado en un juncal de *Schoenoplectus americanus* en el humedal costero Los Pantanos de Villa (Lima- Perú). *Arnaldoa*, 27(1), 267-281.
- Anon (2011). El dióxido de carbono, emisiones y sumideros. Disponible: <http://www.homepage.mac.com/uriarte/caracteristicasco2.html>.
- Arévalo, J., y Aponte, H. (2020). Almacenamiento de carbono y agua en *Tillandsia latifolia* Meyen en un sector del Tillandsial de Piedra Campana (Lima/Perú). *Ecología aplicada*, 19(1), 9-15.
- Arévalo, L., Alegre J., Palm, Ch. (2003). Manual de las reservas totales de carbono en los diferentes sistemas de uso de la tierra en Perú. Publicación de STC - CGIAR Ministerio de agricultura. Edición gráfica Miguel Álvarez A. Pucallpa. Perú. 24p.
- Arnau, J. (1995). Metodología de la investigación en psicología. En M. T. Anguera, J. Arnau, M. Ato, R. Martínez, J. Pascual, J., y G. Vallejo, G. (Eds.), *Métodos de investigación en Psicología* (Cap. 1). Madrid: Síntesis.

- Ávila, Gabriela; Jiménez, F.; Beer, J.; Gómez, M. & Ibrahim, M. (2001). Almacenamiento, fijación de carbono y valoración de servicios ambientales en sistemas agroforestales en Costa Rica. *Agroforestería en las Américas*. 8 (30):32.
- Baldocchi, D., Ryu, Y. & Keenan, T. (2016). Terrestrial Carbon Cycle Variability [version 1; referees: 2 approved]. *F1000Research*, Issue 5.
- Carrasco, S. (2010). Metodología de investigación. Editorial Acuario París – España.
- Centro Mundial Agroforestal - ICRAF. (2009). Guía para la determinación de carbono en pequeñas propiedades rurales. Lima, Perú. 79 p.
- Chávez Suazo, J. P. (2018). Captura y almacenamiento de carbono de los bosques estacionalmente secos de la costa norte (Lambayeque), como mitigación frente al cambio climático.
- Chidiak M, A, Moreira y C. Greco (2003). Captura de carbono y desarrollo sustentable en la Patagonia Argentina: Sinergias y Desafío. CEPAL, Universidad de San Andrés y CENIT.
- Contreras-Santos, J. L., Martínez-Atencia, J., Cadena-Torres, J., & Falla-Guzmán, C. K. (2020). Evaluación del carbono acumulado en suelo en sistemas silvopastoriles del Caribe colombiano. *Agronomía Costarricense*, 44(1), 29-41.
- Corsino Torres, A. F. (2022). Variación altitudinal del contenido de carbono orgánico del suelo en diferentes usos de la tierra en la microcuenca del río Toro (Chanchamayo-Junín).
- Coyne, M. (2000). Microbiología del suelo: Un enfoque exploratorio. Editorial Paraninfo. ITP An Internacional Publishing Company.
- Dávila Cueva, V. C. (2022). Almacenamiento de carbono en el suelo de las unidades fisiográficas del fundo CIPTALD–Tulumayo, Tingo María-Huánuco.
- Dilas-Jiménez, J. O., y Jiménez, A. O. H. (2020). Captura de carbono por un bosque montano de neblina del Perú. *Alpha Centauri*, 1(3), 13-25.
- Dixon, R.K. (1995). SAF's y gases invernadores. *Agroforestería en las Américas*, 2(7), 22-27. <https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/6822>
- D. RAMIREZ S. (2025). "ALMACENAMIENTO DE CARBONO EN SISTEMAS AGROFORESTALES DE *Theobroma cacao* (CACAO AROMÁTICO) EN DOS UNIDADES FISIOGRÁFICAS"

- Estrada, P. (2001). Cambio Climático Global: Causas y Consecuencias. 16 ed. México. 11 p
- Follett, R.F. & McConkey, B. (2000). The role of cropland agriculture for sequestration in the Greta Plain. In: Proceeding of the Conference on Grey Plains Soil Fertility, Vol 8, pp.1-15. FOLLETT, R.F. (2001) Soil management concepts and carbon sequestration cropland soils. Soil & Tillage Research 61: 77-92.
- Gómez, A., Azócar, A. (2002). Áreas potenciales para el desarrollo del cultivo cacao en el Estado Mérida. Agronomía. Tropical. Maracay.
- Gómez, J. D., Etchevers, J. D., Monterroso, A. I., Campo, J., Paustian, K., & Asensio, C. (2021). Carbono orgánico del suelo y su relación con la biomasa radical de *Quercus* sp. Madera y bosques, 27(SPE).
- González Rodríguez, J. F. (2018). Carbono almacenado en sistemas agroforestales de *Coffea arabica* L. “café” de 4 y 7 años en relación a la gradiente altitudinal, Huánuco.
- Holdridge, R.L. (2000). Ecología basada en zonas de vida. Quinta reimpresión. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA) San José- Costa Rica, 216pp. <http://repositorio.iica.int/handle/11324/7936>.
- Hurtado de B. J. (2002). El Proyecto de investigación Comprensión holística de la Metodología y la investigación. (Séptima edición). Ediciones Quirón. Sypal, Servicios y Proyecciones para América Latina. Caracas, Venezuela.
- Kane, D. (2015). Carbon Sequestration Potential on Agricultural Lands: A Review of Current Science and Available Practices, s.l.: s.n.
- Keiluweit, M., Bougoure, J. J., Nico, P. S., Pett-Ridge, J., Weber, P. K. & Kleber, M. (2015). Mineral protection of soil carbon counteracted by root exudates. Nature Climate Change, 5: 588–595.

- Lapeyre, T.; Alegre, J. y Arévalo, L. (2004). Determinación de las reservas de carbono de la biomasa aérea, en diferentes sistemas de uso de la tierra en San Martín, Perú. Tesis Mag. Sc. Lima, Perú. UNALM. 61 p.
- Le Quéré, C., Andrew, R. M., Canadell, J. G., Sitch, S., Korsbakken, J. I., Peters, G. P., Manning, A. C., Boden, T. A., Tans, P. P., Houghton, R. A., Keeling, R. F., Alin, S., Andrews, O. D., Anthoni, P., Barbero, L., Bopp, L., Chevallier, F., Chini, L. P., Ciais, P., Currie, K., Delire, C., Doney, S. C., Friedlingstein, P., Gkritzalis, T., Harris, I., Hauck, J., Haverd, V., Hoppema, M., Goldewijk, K. K., Jain, A. K., Kato, E., Körtzinger, A., Landschützer, P., Lefèvre, N., Lenton, A., Lienert, S., Lombardozzi, D., Melton, J. R., Metzl, N., Millero, F., Monteiro, P. M. S., Munro, D. R., Nabel, J. E. M.
- S., Nakaoka, S-I, O'Brien, K., Olsen, A., Omar, A. M., Ono, T., Pierrot, D., Poulter, B., Rödenbeck, C., Salisbury, J., Schuster, U., Schwinger, J., Séférian, R., Skjelvan, I., Stocker, B. D., Sutton, A. J., Takahashi, T., Tian, H., Tilbrook, B., van der Laan-Luijkx, I. T., van der Werf, G. R., Viovy, N., Walker, A. P., Wiltshire, A. J. & Zaehle, S. (2016). Global Carbon Budget (2016). *Earth System Science Data*, 8: 605-649.
- López Angulo, R. S. (2020). Carbono almacenado en el suelo en plantaciones de bolaina (Guazuma crinita) establecidas a diferentes altitudes en la provincia Leoncio Prado, Perú.
- Macdicken, K. (1997). A guide to Monitoring Carbón Storage in Forestry and Agroforestry Projects Arlington, VA: Winrock International Institute for Agricultural Development. 43 p.
- Martínez, E., Mogollón, J. P., Rodríguez, N. (2008). Orgánico y propiedades del suelo. *Scielo* 8(1): 68-96. [En línea]: (<http://www.scielo.cl/pdf/rcsuelo/v8n1/art06.pdf>, 01 julio , 2010).
- Masera (2001). Captura de carbono ante el cambio climático. *Revista madera y bosque*. Mexico
- Méndez González J, Morales Carredano F, Ruiz García VJ, Nájera Luna JA, Graciano Luna JJ, Návar JJ. (2002). Ecuaciones de biomasa para fuste de *Pinus cooperi* y *P. leiophylla* de la región del Salto, Durango. México. XV Congreso Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico Agropecuario, Campeche.

- Muños, M. (2006). “Dinámica del Carbono Orgánico del Suelo en Ecosistemas de la Zona Mediterránea de Chile” Para optar al Grado Académico de Doctor en Ciencias de Recursos Naturales, Temuco - Chile Pág. 44 – 45.
- Nasi, R., Wunder, S., Campos, J. 2002. Servicios de los ecosistemas forestales ¿Podrían ellos pagar para detener la deforestación? Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, Turrialba, Costa Rica. Informe Técnico No 331. 37p.
- Ordoñez, A. (1999). Estimación de la captura de carbono en un estudio de Caso, Instituto Nacional de Ecología, SEMARNAP. México DF.
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación & Grupo técnico intergubernamental sobre los suelos – FAO & GTIS. (2015). Status of the World’s Soil Resources, Roma: s.n.
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación - FAO. (2004). National forest resources assessment WP 94. Rome. Consultado el 22 de abril de 2012. Tomado de:<http://www.fao.org/docrep/008/ae578e/AE578E00.html>.
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación - FAO. (2000). Sistemas de uso de la tierra en los trópicos húmedos y la emisión y secuestro de CO₂. World Soil Resources Reports 88. Rome. 98 p.
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación - FAO (1999). Situación de los bosques del mundo. Roma, Italia [En línea] (<http://www.fao.org/docrep/011/i0350si0350s00.htm>, documentos, 02 May. 2014).
- Panel Intergubernamental sobre cambio climático - IPCC. (2014). Climate Change (2014): Synthesis, Report Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Geneva: IPCC.
- Panel Intergubernamental sobre cambio climático - IPCC. (2007). Cambio climático. 30may2010: http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4_syr_sp.pdf.
- Panel Intergubernamental sobre cambio climático - IPCC. (2000). Land use, land-use change, and forestry special report. Cambridge University Press 377 pp.
- Paul, E. (2014). Soil microbiology, ecology and biochemistry. Academic Press. pp. 598.

- Quiñonez Alvarado, 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.
- Reyes, G., Brown, S., Chapman, J. y Lugo, A.E. (1992). Wood densities of tropical tree species. U. S. Department of Agriculture. Forest Service. Southern Forest Experiment station. New Orleans, Luisiana. 15 p.
- Robert, M. (2002). Captura de carbono en los suelos para un mejor manejo de la tierra (No. 96). Food & Agriculture Org. Roncal-García, S.; Soto-Pinto, L.; Castellanos-Albores, J.; Ramírez-Marcial, N.; DE JONG, B. (2008). Sistemas agroforestales y almacenamiento de carbono en comunidades indígenas de Chiapas, México. *Interciencia*, 33(3): 200–206.
- Rosero Obando, G. A. (2019). Evaluación de carbono orgánico del suelo en el ecosistema de páramo de la microcuenca del río Chimborazo en base a las actividades antrópicas (Bachelor's thesis, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo).
- Salgado, L. (2004). El mecanismo de desarrollo limpio en actividades de uso de la tierra, cambio de uso y forestería (LULUCF) y su potencial en la región latinoamericana. Chile.
- Schlegel, B, Gayoso, J. Guerra, J. (2001). Manual de procedimientos para inventarios de carbono en ecosistemas forestales. Valdivia, Chile. 17 p.
- Schmidt, M. W. I., Torn, M. S., Abiven, S., Dittmar, T., Guggenberger, G., Janssens, I. A., Kleber, M., Kögel-Knabner, I., Lehmann, J., Manning, D. A. C., Nannipieri, P., Rasse, D. P., Weiner, S. & E. Trumbore, S. E. (2011). Persistence of soil organic matter as an ecosystem property. *Nature*, 478: 49–56.
- Schneider SH. (1989). The Greenhouse Effect: Science and Policy. *Science* 243(10):271-281.
- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú - SENAMHI. (2021). Descarga de datos meteorológicos a nivel nacional. <https://www.senamhi.gob.pe/?p=descarga-datos-hidrometeorológicos>.
- Thévenot, M., Dignac, M.-F. & Rumpel, C. (2010). Fate of lignins in soils: a review. *Soil Biology and Biochemistry*, 42: 1200-1211.

- Villogas, K. (2013). Almacenamiento de carbono en sistemas agroforestales (SAF) con cacao (*Theobroma cacao L.*) en producción. [tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. Repositorio Institucional UNAS. <http://repositorio.unas.edu.pe/handle/UNAS/163>.
- Walkley A, Black A, (1934). An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Sci.* 37: 29-38.
- Zavala, W., Merino, E., y Peláez, P. (2018). Influencia de tres sistemas agroforestales del cultivo de cacao en la captura y almacenamiento de carbono. *Scientia Agropecuaria*, 9(4), 493-501

ANEXOS

Anexo A. Base de datos de las evaluaciones

Tabla 14. Datos generales recopilados para carbono almacenado en el suelo en la tesis.

Cultivo	N°	Muestra	%MO	Factor	%C	Da (g/cm³)	COS (Tn/ha)
Y1	1	1	0.74	0.58	0.43	1.33	14.35
	2	2	0.83	0.58	0.48	1.33	16.10
	3	3	0.78	0.58	0.45	1.4	15.75
	4	4	0.68	0.58	0.40	1.33	13.20
	5	5	0.86	0.58	0.50	1.33	16.60
Y2	6	1	0.95	0.58	0.55	1.4	19.25
	7	2	0.96	0.58	0.56	1.33	18.60
	8	3	0.75	0.58	0.44	1.25	13.60
	9	4	0.90	0.58	0.52	1.4	18.20
	10	5	0.92	0.58	0.53	1.4	18.70
Y3	11	1	0.64	0.58	0.37	1.33	12.34
	12	2	0.88	0.58	0.51	1.4	17.89
	13	3	0.81	0.58	0.47	1.33	15.67
	14	4	0.68	0.58	0.40	1.33	13.21
	15	5	0.69	0.58	0.40	1.65	16.44
C1	16	1	1.89	0.58	1.10	1.25	34.27
	17	2	2.08	0.58	1.21	1.33	40.15
	18	3	2.04	0.58	1.18	1.25	36.89
	19	4	2.34	0.58	1.36	1.25	42.50
	20	5	2.09	0.58	1.21	1.25	37.84
C2	21	1	2.79	0.58	1.62	1.33	53.78
	22	2	2.61	0.58	1.51	1.33	50.32
	23	3	2.03	0.58	1.18	1.25	36.82
	24	4	1.68	0.58	0.97	1.25	30.36
	25	5	2.31	0.58	1.34	1.25	41.92
C3	26	1	1.06	0.58	0.62	1.33	20.45
	27	2	1.51	0.58	0.87	1.25	27.32
	28	3	1.42	0.58	0.82	1.25	25.78
	29	4	1.61	0.58	0.93	1.25	29.15

Cultivo	N°	Muestra	%MO	Factor	%C	Da (g/cm³)	COS (Tn/ha)
	30	5	1.46	0.58	0.85	1.33	28.20
P1	31	1	1.16	0.58	0.67	1.33	22.34
	32	2	1.42	0.58	0.82	1.3	26.78
	33	3	1.44	0.58	0.84	1.3	27.15
	34	4	1.28	0.58	0.74	1.33	24.59
	35	5	1.44	0.58	0.84	1.3	27.19
P2	36	1	1.34	0.58	0.77	1.3	25.18
	37	2	1.43	0.58	0.83	1.33	27.65
	38	3	1.28	0.58	0.74	1.33	24.73
	39	4	1.51	0.58	0.87	1.3	28.41
	40	5	1.38	0.58	0.80	1.3	26.03
P3	41	1	1.34	0.58	0.78	1.3	25.34
	42	2	1.44	0.58	0.83	1.3	27.11
	43	3	1.38	0.58	0.80	1.33	26.59
	44	4	1.29	0.58	0.75	1.33	24.88
	45	5	1.40	0.58	0.81	1.3	26.33

Tabla 15. Datos generales recopilados para carbono almacenado en hojarasca en la tesis

Cultivo	N°	Muestra	Peso seco	Factor	biomasa	Factor	COH
Y1	1	1	437.00	0.04	17.48	0.5	8.74
	2	2	479.00	0.04	19.16	0.5	9.58
	3	3	455.50	0.04	18.22	0.5	9.11
	4	4	448.00	0.04	17.92	0.5	8.96
	5	5	480.50	0.04	19.22	0.5	9.61
Y2	6	1	836.00	0.04	33.44	0.5	16.72
	7	2	879.50	0.04	35.18	0.5	17.59
	8	3	902.00	0.04	36.08	0.5	18.04
	9	4	815.50	0.04	32.62	0.5	16.31
	10	5	837.00	0.04	33.48	0.5	16.74
Y3	11	1	796.00	0.04	31.84	0.5	15.92
	12	2	842.00	0.04	33.68	0.5	16.84
	13	3	866.50	0.04	34.66	0.5	17.33

Cultivo	N°	Muestra	Peso seco	Factor	biomasa	Factor	COH
	14	4	805.50	0.04	32.22	0.5	16.11
	15	5	877.50	0.04	35.1	0.5	17.55
C1	16	1	3917.00	0.04	156.68	0.5	78.34
	17	2	4133.50	0.04	165.34	0.5	82.67
	18	3	4071.00	0.04	162.84	0.5	81.42
	19	4	3959.00	0.04	158.36	0.5	79.18
	20	5	4144.50	0.04	165.78	0.5	82.89
C2	21	1	4226.00	0.04	169.04	0.5	84.52
	22	2	4397.00	0.04	175.88	0.5	87.94
	23	3	4415.50	0.04	176.62	0.5	88.31
	24	4	4283.50	0.04	171.34	0.5	85.67
	25	5	4260.50	0.04	170.42	0.5	85.21
C3	26	1	3892.00	0.04	155.68	0.5	77.84
	27	2	4013.50	0.04	160.54	0.5	80.27
	28	3	3929.50	0.04	157.18	0.5	78.59
	29	4	3971.50	0.04	158.86	0.5	79.43
	30	5	3981.00	0.04	159.24	0.5	79.62
P1	31	1	821.00	0.04	32.84	0.5	16.42
	32	2	917.50	0.04	36.7	0.5	18.35
	33	3	879.00	0.04	35.16	0.5	17.58
	34	4	945.50	0.04	37.82	0.5	18.91
	35	5	852.00	0.04	34.08	0.5	17.04
P2	36	1	1392.00	0.04	55.68	0.5	27.84
	37	2	1433.50	0.04	57.34	0.5	28.67
	38	3	1460.50	0.04	58.42	0.5	29.21
	39	4	1417.50	0.04	56.7	0.5	28.35
	40	5	1421.50	0.04	56.86	0.5	28.43
P3	41	1	1487.00	0.04	59.48	0.5	29.74
	42	2	1395.50	0.04	55.82	0.5	27.91
	43	3	1417.50	0.04	56.7	0.5	28.35
	44	4	1421.00	0.04	56.84	0.5	28.42
	45	5	1484.00	0.04	59.36	0.5	29.68

Anexo B. Panel fotográfico



Figura 13. Selección de las parcelas de yuca (*Manihot esculenta C.*).



Figura 14. Selección de las parcelas de cacao (*Theobroma cacao L.*).



Figura 15. Selección de las parcelas de plátano (*Musa paradisiaca L.*).



Figura 16. Georreferenciación y limpieza de la parcela de yuca (*Manihot esculenta C.*).



Figura 17. Georreferenciación y limpieza de la parcela de cacao (*Theobroma cacao L.*).



Figura 18. Georreferenciación y limpieza de la parcela de plátano (*Musa paradisiaca L.*).



Figura 19. Parcelación del cultivo de yuca (*Manihot esculenta C.*)



Figura 20. Sub parcelación del cultivo de yuca (*Manihot esculenta C.*).



Figura 21. Verificación de las sub parcelas de yuca (*Manihot esculenta C.*).



Figura 22. Instalación de la parcela general en el cultivo de cacao (*Theobroma cacao L.*)



Figura 23. Sub parcelación y verificación en el cultivo de cacao (*Theobroma cacao L.*)



Figura 24. Parcelación del cultivo de plátano (*Musa paradisiaca L.*)



Figura 25. Sub parcelación del cultivo de plátano (*Musa paradisiaca L.*)



Figura 26. Recolección de hojarasca de la parcela de plátano (*Musa paradisiaca L.*)



Figura 27. Muestreo de suelos en la parcela de plátano (*Musa paradisiaca L.*).



Figura 28. Recolección de hojarasca de la parcela de cacao (*Theobroma cacao L.*).



Figura 29. Recolección de hojarasca con guantes para evitar contaminación.



Figura 30. Muestreo de suelos en la parcela de cacao (*Theobroma cacao L.*).



Figura 26. Codificación del suelo obtenido en parcelas de cacao (*Theobroma cacao* L.).



Figura 32. Codificación del suelo obtenido en parcelas de plátano (*Musa paradisiaca* L.).



Figura 33. Codificación del suelo obtenido en parcelas de yuca (*Manihot esculenta* C.).



Instituto Nacional de Innovación Agraria

INFORME DE ENSAYO
N° 11394-24/SU/ LABSAF - EL PORVENIR

I. INFORMACIÓN GENERAL

Cliente Propietario / Productor Dirección del cliente Solicitado por Muestreado por Número de muestra(s) Producto declarado Presentación de las muestras(s) Referencia del muestreo Procedencia de muestra(s) Fecha(s) de muestreo Fecha de recepción de muestra(s) Lugar de ensayo Fecha(s) de análisis Cotización del servicio Fecha de emisión	Gerson Jimenez Pintado Gerson Jimenez Pintado Nuevo San Martin Gerson Jimenez Pintado Gerson Jimenez Pintado 5 muestras Suelo Agrícola Bolsas de papel Nuevo San Martin Polvora/Tocache/San Martin 2024-08-23 2024-09-24 Laboratorio de Suelos, Aguas y Foliarés - LABSAF El Porvenir 2024-08-26 268-EPV-24 2024-09-06
--	---

II. RESULTADO DE ANÁLISIS

ITEM	1	2	3	4	5		
Código de Laboratorio	SU282-EPV-24	SU283-EPV-24	SU284-EPV-24	SU285-EPV-24	SU286-EPV-24		
Matriz Analizada	Suelo	Suelo	Suelo	Suelo	Suelo		
Fecha de Muestreo	2024-08-23	2024-08-23	2024-08-23	2024-08-23	2024-08-23		
Hora de Inicio de Muestreo (h)	14:43	14:45	14:47	14:48	14:49		
Condición de la muestra	Conservada	Conservada	Conservada	Conservada	Conservada		
Código/identificación de la Muestra por el Cliente	M1	M2	M3	M4	M5		
Ensayo	Unidad	LC	Resultados	Resultados	Resultados	Resultados	Resultados
pH	unid. pH	0.1	6.5	6.2	6.4	6.4	6.3
Conductividad	mS/m	1	48.75	67.35	69.53	46.64	50.36
Materia Orgánica (**)	%	0.5	0.74	0.83	0.78	0.88	0.86
Nitrógeno Total (**)	%	0.1	0.07	0.09	0.07	0.06	0.09
Fósforo Disponible (**)	mg/kg	0.1	0.94	1.1	0.95	0.92	1.07
Potasio Disponible (**)	mg/kg	3.2	59.31	63.12	64.01	63.6	61.2
Calcio Intercambiable (**)	C mol(+)/Kg	0.2	22.1	20.77	21.86	19.7	20.3
Magnesio Intercambiable(**)	C mol(+)/Kg	0.1	3.2	3.2	3.4	3.5	3
Potasio Intercambiable (**)	C mol(+)/Kg	0.1	0.47	0.54	0.59	0.43	0.41
Sodio Intercambiable (**)	C mol(+)/Kg	0.1	0.53	0.72	0.77	0.83	0.81
Carbonato de calcio equivalente	%	0.5	20.99	16.34	17.21	19.86	15.33
ClCe (**)	C mol(+)/Kg	--	13.67	15.77	14.24	14.22	15.61
Análisis de Textura (**)							
Arena	%	--	34.86	32.18	44.2	35.4	30.88
Limo	%	--	28.95	30.13	40.1	29.99	30.1
Arcilla	%	--	35.19	37.69	15.70	34.61	39.02
Clase Textural	--	--	Franco Arcilloso	Franco Arcilloso	Franco	Franco Arcilloso	Franco Arcilloso
Densidad aparente	g/cm3	--	1.33	1.33	1.4	1.33	1.33



Red de Laboratorios de Suelos, Aguas y Foliarés
Acreditado con la Norma
NTP-ISO/IEC 17025:2017
Direccion Central Regional del Ferrocarril Beltrán Terry No. 131 - Juan Garcia - San Martín - San Martín

Página 1 de 2
Fecha: Ver. 04
www.inia.gob.pe

Figura 34. Análisis de suelos de la parcela 1 de yuca (*Manihot esculenta* C.).



Instituto Nacional de Innovación Agraria

INFORME DE ENSAYO
N° 11394-24/SU/ LABSAF - EL PORVENIR

I. INFORMACIÓN GENERAL

Cliente	Gerson Jimenez Pintado
Propietario / Productor	Gerson Jimenez Pintado
Dirección del cliente	Nuevo San Martín
Solicitado por	Gerson Jimenez Pintado
Muestreado por	Gerson Jimenez Pintado
Número de muestra(s)	5 muestras
Producto declarado	Suelo Agrícola
Presentación de las muestras(s)	Boisas de papel
Referencia del muestreo	Nuevo San Martín
Procedencia de muestra(s)	Poivora/Tocache/San Martín
Fecha(s) de muestreo	2024-08-23
Fecha de recepción de muestra(s)	2024-08-24
Lugar de ensayo	Laboratorio de Suelos, Aguas y Follares - LABSAF El Porvenir
Fecha(s) de análisis	2024-08-26
Cotización del servicio	268-EPV-24
Fecha de emisión	2024-09-06

II. RESULTADO DE ANÁLISIS

ITEM	1	2	3	4	5		
Código de Laboratorio	SU287-EPV-24	SU288-EPV-24	SU289-EPV-24	SU290-EPV-24	SU291-EPV-24		
Matriz Analizada	Suelo	Suelo	Suelo	Suelo	Suelo		
Fecha de Muestreo	2024-08-23	2024-08-23	2024-08-23	2024-08-23	2024-08-23		
Hora de Inicio de Muestreo (h)	14:53	14:55	14:58	15:00	15:03		
Condición de la muestra	Conservada	Conservada	Conservada	Conservada	Conservada		
Código/Identificación de la Muestra por el Cliente	M1	M2	M3	M4	M5		
Ensayo	Unidad	LC	Resultados	Resultados	Resultados	Resultados	Resultados
pH	unid_pH	0.1	6.60	6.70	6.50	6.70	6.80
Conductividad	mS/m	1	26.44	27.78	26.82	26.50	27.31
Materia Orgánica (**)	%	0.5	0.64	0.88	0.81	0.66	0.69
Nitrógeno Total (**)	%	0.1	0.09	0.09	0.08	0.09	0.09
Fósforo Disponible (**)	mg/kg	0.1	0.84	0.93	0.99	0.85	0.90
Potasio Disponible (**)	mg/kg	3.2	53.77	55.89	54.63	54.75	56.04
Calcio Intercambiable (**)	C mol(+)/Kg	0.2	16.20	15.66	15.92	16.04	16.27
Magnesio Intercambiable(**)	C mol(+)/Kg	0.1	1.10	1.03	1.14	1.08	1.01
Potasio Intercambiable (**)	C mol(+)/Kg	0.1	0.35	0.41	0.38	0.42	0.40
Sodio Intercambiable (**)	C mol(+)/Kg	0.1	0.52	0.66	0.50	0.51	0.64
Carbonato de calcio equivalente	%	0.5	11.20	10.30	10.92	11.13	11.28
C/Co (**)	C mol(+)/Kg	—	13.56	14.23	13.06	15.00	14.75
Análisis de Textura (**)							
Arena	%	—	43.11	31.00	21.53	45.93	46.42
Limo	%	—	39.52	32.13	30.21	31.89	30.10
Arcilla	%	—	17.37	36.87	48.26	22.18	23.48
Clase Textural	—	—	Franco Arcilloso	Franco	Franco Arcilloso	Franco Arcilloso	Arcilloso
Densidad aparente	g/cm3	—	1.33	1.40	1.33	1.33	1.25



Red de Laboratorios de Suelos, Aguas y Follares
Acreditado con la Norma
NTP-ISO/IEC 17025:2017

Dirección: Carretera Marginal del Ferrocarril Desahogado Km 103 - José Santos - San Martín - Huancayo

Página 1 de 2
Fecha: 09/09/24
www.inia.gob.pe

Figura 35. Análisis de suelos de la parcela 2 de yuca (*Manihot esculenta* C.).



Instituto Nacional de Innovación Agraria

INFORME DE ENSAYO
N° 11394-24/SU/ LABSAF - EL PORVENIR

I. INFORMACIÓN GENERAL

Ciente	Gerson Jimenez Pintado
Propietario / Productor	Gerson Jimenez Pintado
Dirección del cliente	Nuevo San Martín
Solicitado por	Gerson Jimenez Pintado
Muestreo por	Gerson Jimenez Pintado
Número de muestra(s)	5 muestras
Producto declarado	Suelo Agrícola
Presentación de las muestras(s)	Bolsas de papel
Referencia del muestreo	Nuevo San Martín
Procedencia de muestra(s)	Polvora/Tocache/San Martín
Fecha(s) de muestreo	2024-08-23
Fecha de recepción de muestra(s)	2024-08-24
Lugar de ensayo	Laboratorio de Suelos, Aguas y Foliáres - LABSAF El Porvenir
Fecha(s) de análisis	2024-08-26
Cotización del servicio	266-EPV-24
Fecha de emisión	2024-09-06

II. RESULTADO DE ANÁLISIS

ITEM	1	2	3	4	5		
Código de Laboratorio	SU292-EPV-24	SU293-EPV-24	SU294-EPV-24	SU295-EPV-24	SU296-EPV-24		
Matriz Analizada	Suelo	Suelo	Suelo	Suelo	Suelo		
Fecha de Muestreo	2024-08-23	2024-08-23	2024-08-23	2024-08-23	2024-08-23		
Hora de Inicio de Muestreo (h)	15:38	15:41	15:42	15:45	15:47		
Condición de la muestra	Conservada	Conservada	Conservada	Conservada	Conservada		
Código/Identificación de la Muestra por el Cliente	M1	M2	M3	M4	M5		
Ensayo	Unidad	LC	Resultados	Resultados	Resultados	Resultados	Resultados
pH	unid. pH	0.1	5.80	5.70	5.80	5.80	5.90
Conductividad	mS/m	1	30.55	29.49	30.03	30.37	30.74
Materia Orgánica (**)	%	0.5	0.64	0.88	0.81	0.68	0.69
Nitrógeno Total (**)	%	0.1	0.07	0.09	0.08	0.07	0.07
Fósforo Disponible (**)	mg/kg	0.1	1.12	1.28	1.10	1.12	1.09
Potasio Disponible (**)	mg/kg	3.2	62.34	63.05	62.10	63.21	62.90
Calcio Intercambiable (**)	C mol(+)/Kg	0.2	18.42	19.05	19.00	18.96	19.77
Magnesio Intercambiable(**)	C mol(+)/Kg	0.1	2.53	2.82	2.33	2.20	2.15
Potasio Intercambiable (**)	C mol(+)/Kg	0.1	0.44	0.47	0.42	0.46	0.48
Sodio Intercambiable (**)	C mol(+)/Kg	0.1	0.63	0.60	0.61	0.59	0.66
Carbonato de calcio equivalente	%	0.5	16.44	16.32	16.00	16.04	15.73
ClCe (**)	C mol(+)/Kg	-	15.44	15.23	15.03	15.33	15.81
Análisis de Textura (**)							
Arena	%	-	27.00	45.23	31.62	29.35	17.63
Limo	%	-	31.45	29.00	30.75	29.88	29.55
Arcilla	%	-	41.55	25.77	37.63	40.77	52.62
Clase Textural	-	-	Franco Arcilloso	Franco	Franco Arcilloso	Franco Arcilloso	Arcilloso
Densidad aparente	g/cm3	-	1.33	1.40	1.33	1.33	1.25



Red de Laboratorios de Suelos, Aguas y Foliáres
Acreditado con la Norma
NTP-ISO/IEC 17025:2017
Dirección: Carretera Magister El Porvenir (Municipio Topy Km 13.8 - Aseo Cuatro - San Martín - San Martín)

Página 1 de 1
24/9/2024
www.inia.gub.pe

Figura 36. Análisis de suelos de la parcela 3 de yuca (*Manihot esculenta* C.).



Instituto Nacional de Innovación Agraria

INFORME DE ENSAYO
N° 11394-24/SU/ LABSAF - EL PORVENIR

I. INFORMACIÓN GENERAL

Cliente Propietario / Productor Dirección del cliente Solicitado por Muestreado por Número de muestra(s) Producto declarado Presentación de las muestras(s) Referencia del muestreo Procedencia de muestra(s) Fecha(s) de muestreo Fecha de recepción de muestra(s) Lugar de ensayo Fecha(s) de análisis Cotización del servicio Fecha de emisión	Gerson Jimenez Pintado Gerson Jimenez Pintado Nuevo San Martin Gerson Jimenez Pintado Gerson Jimenez Pintado 5 muestras Suelo Agrícola Bolsas de papel Nuevo San Martin Polvora/Tocache/San Martin 2024-08-22 2024-08-24 Laboratorio de Suelos, Aguas y Foliáres - LABSAF El Porvenir 2024-08-26 266-EPV-24 2024-09-06
--	---

II. RESULTADO DE ANÁLISIS

ITEM	1	2	3	4	5		
Código de Laboratorio	SU252-EPV-24	SU253-EPV-24	SU254-EPV-24	SU255-EPV-24	SU256-EPV-24		
Matriz Analizada	Suelo	Suelo	Suelo	Suelo	Suelo		
Fecha de Muestreo	2024-08-22	2024-08-22	2024-08-22	2024-08-22	2024-08-22		
Hora de Inicio de Muestreo (h)	14:43	14:47	14:50	14:55	15:01		
Condición de la muestra	Conservada	Conservada	Conservada	Conservada	Conservada		
Código/Identificación de la Muestra por el Cliente	M1	M2	M3	M4	M5		
Ensayo	Unidad	LC	Resultados	Resultados	Resultados	Resultados	Resultados
pH	unid. pH	0.1	7.20	7.00	7.10	7.20	7.20
Conductividad	mS/m	1	72.44	70.34	71.83	70.05	71.20
Materia Orgánica (**)	%	0.5	1.89	2.08	2.04	2.34	2.09
Nitrógeno Total (**)	%	0.1	0.10	0.11	0.11	0.12	0.11
Fósforo Disponible (**)	mg/kg	0.1	1.12	1.28	1.10	1.12	1.09
Potasio Disponible (**)	mg/kg	3.2	60.44	62.24	57.33	68.90	64.00
Calcio Intercambiable (**)	C mol(+)/Kg	0.2	9.20	10.45	9.50	9.68	10.02
Magnesio Intercambiable(**)	C mol(+)/Kg	0.1	1.63	1.40	1.93	1.65	1.75
Potasio Intercambiable (**)	C mol(+)/Kg	0.1	0.35	0.37	0.38	0.35	0.37
Sodio Intercambiable (**)	C mol(+)/Kg	0.1	1.21	1.26	1.30	1.27	1.22
Carbonato de calcio equivalente	%	0.5	5.30	6.44	5.70	5.23	6.20
ClCe (**)	C mol(+)/Kg	—	16.84	16.33	16.88	16.45	16.92
Análisis de Textura (**)							
Arena	%	—	16.42	29.42	15.70	16.05	15.20
Limo	%	—	30.40	32.22	29.45	30.10	30.00
Arcilla	%	—	53.18	38.36	54.85	53.85	54.80
Clase Textural	—	—	Arcilloso	Franco Arcilloso	Arcilloso	Arcilloso	Arcilloso
Densidad aparente	g/cm ³	—	1.25	1.33	1.25	1.25	1.25



Red de Laboratorios de Suelos, Aguas y Foliáres
Acreditado con la Norma
NTP-ISO/IEC 17025:2017
Direccion: Casaca Regional del Ferrocarril Balaídos Tercer Km 13.3 - Juan Osorio - San Martín - San Martín

Página 1 de 2
Fecha: 11/09/24
www.inia.gob.pe

Figura 37. Análisis de suelos de la parcela 1 de cacao (*Theobroma cacao L.*).



Instituto Nacional de Innovación Agraria

INFORME DE ENSAYO
N° 11394-24/SU/ LABSAF - EL PORVENIR

I. INFORMACIÓN GENERAL

Cliente	Gerson Jimenez Pintado
Propietario / Productor	Gerson Jimenez Pintado
Dirección del cliente	Nuevo San Martín
Solicitado por	Gerson Jimenez Pintado
Muestreado por	Gerson Jimenez Pintado
Número de muestra(s)	5 muestras
Producto declarado	Suelo Agrícola
Presentación de las muestra(s)	Bolsas de papel
Referencia del muestreo	Nuevo San Martín
Procedencia de muestra(s)	Polvora/Tocache/San Martín
Fecha(s) de muestreo	2024-08-22
Fecha de recepción de muestra(s)	2024-08-24
Lugar de ensayo	Laboratorio de Suelos, Aguas y Follares - LABSAF El Porvenir
Fecha(s) de análisis	2024-08-26
Cotización del servicio	268-EPV-24
Fecha de emisión	2024-09-06

II. RESULTADO DE ANÁLISIS

ITEM	1	2	3	4	5		
Código de Laboratorio	SU257-EPV-24	SU258-EPV-24	SU259-EPV-24	SU260-EPV-24	SU261-EPV-24		
Matriz Analizada	Suelo	Suelo	Suelo	Suelo	Suelo		
Fecha de Muestreo	2024-08-22	2024-08-22	2024-08-22	2024-08-22	2024-08-22		
Hora de Inicio de Muestreo (h)	15:16	15:18	15:22	15:28	15:31		
Condición de la muestra	Conservada	Conservada	Conservada	Conservada	Conservada		
Código/Identificación de la Muestra por el Cliente	M1	M2	M3	M4	M5		
Ensayo	Unidad	LC	Resultados	Resultados	Resultados	Resultados	Resultados
pH	umid_pH	0.1	7.40	7.30	7.10	7.30	7.30
Conductividad	mS/m	1	25.33	27.31	30.45	27.00	27.61
Materia Orgánica (**)	%	0.5	2.79	2.61	2.03	1.88	2.31
Nitrógeno Total (**)	%	0.1	0.13	0.12	0.11	0.10	0.12
Fósforo Disponible (**)	mg/kg	0.1	1.32	1.33	1.27	1.20	1.28
Potasio Disponible (**)	mg/kg	3.2	130.22	125.60	123.33	126.10	125.29
Calcio Intercambiable (**)	C mol(+)/Kg	0.2	6.32	7.00	6.58	6.23	6.70
Magnesio Intercambiable(**)	C mol(+)/Kg	0.1	3.50	3.20	3.26	3.15	3.22
Potasio Intercambiable (**)	C mol(+)/Kg	0.1	0.51	0.43	0.47	0.45	0.45
Sodio Intercambiable (**)	C mol(+)/Kg	0.1	0.73	0.74	0.72	0.75	0.74
Carbonato de calcio equivalente	%	0.5	3.20	4.60	3.53	3.44	3.21
ClCe (**)	C mol(+)/Kg	—	20.40	18.55	17.86	18.40	17.99
Análisis de Textura (**)							
Arena	%	—	31.23	31.05	16.54	17.20	16.30
Limo	%	—	31.64	30.95	28.41	30.75	31.55
Arcilla	%	—	37.13	38.00	55.05	52.05	52.15
Clase Textural	—	—	Franco Arcilloso	Franco Arcilloso	Arcilloso	Arcilloso	Arcilloso
Densidad aparente	g/cm3	—	1.33	1.33	1.25	1.25	1.25



Red de Laboratorios de Suelos, Aguas y Follares
Acreditado con la Norma
NTP-ISO/IEC 17025:2017

Dirección: Carretera Regional del Ferrocarril Belisario Solís Km 13.2 - José Guzmán - San Martín - San Martín

Página 1 de 2
Fecha: 09/09/24
www.inia.gub.uy

Figura 38. Análisis de suelos de la parcela 2 de cacao (*Theobroma cacao L.*).



Instituto Nacional de Innovación Agraria

INFORME DE ENSAYO
N° 11394-24/SU/ LABSAF - EL PORVENIR

I. INFORMACIÓN GENERAL

Ciiente	Gerson Jimenez Pintado
Propietario / Productor	Gerson Jimenez Pintado
Dirección del cliente	Nuevo San Martin
Solicitado por	Gerson Jimenez Pintado
Muestreado por	Gerson Jimenez Pintado
Número de muestra(s)	5 muestras
Producto declarado	Suelo Agrícola
Presentación de las muestras(s)	Bolsas de papel
Referencia del muestreo	Nuevo San Martin
Procedencia de muestra(s)	Polvora/Tocache/San Martin
Fecha(s) de muestreo	2024-08-22
Fecha de recepción de muestra(s)	2024-08-24
Lugar de ensayo	Laboratorio de Suelos, Aguas y Follares - LABSAF El Porvenir
Fecha(s) de análisis	2024-09-25
Cotización del servicio	268-EPV-24
Fecha de emisión	2024-09-06

II. RESULTADO DE ANÁLISIS

ÍTEM	1	2	3	4	5		
Código de Laboratorio	SU262-EPV-24	SU263-EPV-24	SU264-EPV-24	SU265-EPV-24	SU266-EPV-24		
Matriz Analizada	Suelo	Suelo	Suelo	Suelo	Suelo		
Fecha de Muestreo	2024-08-22	2024-08-22	2024-08-22	2024-08-22	2024-08-22		
Hora de inicio de Muestreo (h)	15:40	15:43	15:48	15:56	16:01		
Condición de la muestra	Conservada	Conservada	Conservada	Conservada	Conservada		
Código/Identificación de la Muestra por el Cliente	M1	M2	M3	M4	M5		
Ensayo	Unidad	LC	Resultados	Resultados	Resultados	Resultados	Resultados
pH	und. pH	0.1	6.80	6.50	6.50	6.60	6.40
Conductividad	mS/m	1	30.30	31.67	28.53	28.54	30.90
Materia Orgánica (**)	%	0.5	1.06	1.51	1.42	1.61	1.46
Nitrógeno Total (**)	%	0.1	0.10	0.11	0.11	0.12	0.11
Fósforo Disponible (**)	mg/kg	0.1	2.54	2.60	2.40	2.65	2.55
Potasio Disponible (**)	mg/kg	3.2	100.30	105.43	100.06	102.40	105.32
Calcio Intercambiable (**)	C mol(+)/Kg	0.2	8.35	8.42	9.12	8.52	8.55
Magnesio Intercambiable(**)	C mol(+)/Kg	0.1	3.10	3.00	3.12	2.90	3.15
Potasio Intercambiable (**)	C mol(+)/Kg	0.1	0.47	0.48	0.45	0.45	0.43
Sodio Intercambiable (**)	C mol(+)/Kg	0.1	0.65	0.63	0.53	0.52	0.49
Carbonato de calcio equivalente	%	0.5	3.10	3.20	3.15	3.05	3.02
CICe (**)	C mol(+)/Kg	—	18.64	18.12	18.08	18.24	17.87
Análisis de Textura (**)							
Arena	%	—	32.50	18.23	18.50	19.18	30.20
Limo	%	—	30.00	31.70	29.77	29.85	30.05
Arcilla	%	—	37.50	50.07	51.73	50.97	39.75
Clase Textural	—	—	Franco Arcilloso	Arcilloso	Arcilloso	Arcilloso	Franco Arcilloso
Densidad aparente	g/cm ³	—	1.33	1.25	1.25	1.25	1.33



Red de Laboratorios de Suelos, Aguas y Follares
Acreditado con la Norma
NTP-ISO/IEC 17025:2017

Dirección: Carretera Magisteral San Fernando Estación Terry Km 11.3 - San Carlos - San Martín

Página 1 de 1
F-68 / Ver.04
www.inia.gob.pe

Figura 39. Análisis de suelos de la parcela 3 de cacao (*Theobroma cacao L.*).



INFORME DE ENSAYO
N° 11394-24/SU/ LABSAF - EL PORVENIR

Instituto Nacional de Innovación Agraria

I. INFORMACIÓN GENERAL

Cliente	Gerson Jimenez Pintado
Propietario / Productor	Gerson Jimenez Pintado
Dirección del cliente	Nuevo San Martín
Solicitado por	Gerson Jimenez Pintado
Muestreado por	Gerson Jimenez Pintado
Número de muestra(s)	5 muestras
Producto declarado	Suelo Agrícola
Presentación de las muestras(s)	Bolsas de papel
Referencia del muestreo	Nuevo San Martín
Procedencia de muestra(s)	Polvora/Tocache/San Martín
Fecha(s) de muestreo	2024-08-23
Fecha de recepción de muestra(s)	2024-08-24
Lugar de ensayo	Laboratorio de Suelos, Aguas y Follares - LABSAF El Porvenir
Fecha(s) de análisis	2024-08-26
Cotización del servicio	268-EPV-24
Fecha de emisión	2024-09-06

II. RESULTADO DE ANÁLISIS

ITEM	1	2	3	4	5		
Código de Laboratorio	SU267-EPV-24	SU268-EPV-24	SU269-EPV-24	SU270-EPV-24	SU271-EPV-24		
Matriz Analizada	Suelo	Suelo	Suelo	Suelo	Suelo		
Fecha de Muestreo	2024-08-23	2024-08-23	2024-08-23	2024-08-23	2024-08-23		
Hora de Inicio de Muestreo (h)	10:14	10:17	10:19	10:22	10:24		
Condición de la muestra	Conservada	Conservada	Conservada	Conservada	Conservada		
Código/Identificación de la Muestra por el Cliente	M1	M2	M3	M4	M5		
Ensayo	Unidad	LC	Resultados	Resultados	Resultados	Resultados	Resultados
pH	und. pH	0.1	6.70	7.10	7.00	6.80	7.20
Conductividad	µS/cm	1	23.71	20.53	21.06	22.21	21.90
Materia Orgánica (**)	%	0.5	1.16	1.42	1.44	1.28	1.44
Nitrogeno Total (**)	%	0.1	0.10	0.12	0.12	0.11	0.12
Fósforo Disponible (**)	mg/kg	0.1	1.75	1.80	1.83	1.83	1.79
Potasio Disponible (**)	mg/kg	3.2	94.23	95.44	99.42	90.38	96.30
Calcio Intercambiable (**)	C mol+/Kg	0.2	21.20	20.40	19.78	21.06	20.93
Magnesio Intercambiable (**)	C mol+/Kg	0.1	1.25	1.28	1.27	1.27	1.24
Potasio Intercambiable (**)	C mol+/Kg	0.1	0.36	0.38	0.38	0.35	0.38
Sodio Intercambiable (**)	C mol+/Kg	0.1	0.57	0.55	0.57	0.51	0.58
Carbonato de calcio equivalente	%	0.5	16.44	17.66	18.10	17.95	18.81
ClCe (**)	C mol+/Kg	-	17.50	17.71	17.84	17.50	17.96
Análisis de Textura (**)							
Arena	%	-	38.42	55.21	54.50	40.05	55.00
Limo	%	-	32.95	31.70	32.50	31.63	30.98
Arcilla	%	-	28.53	13.09	13.00	28.12	14.04
Clase Textural	-	-	Franco Arcilloso	Franco Arenoso	Franco Arenoso	Franco Arcilloso	Franco Arenoso
Densidad aparente	g/cm ³	-	1.33	1.30	1.30	1.33	1.30



Red de Laboratorios de Suelos, Aguas y Follares
Acreditado con la Norma
NTP-ISO/IEC 17025:2017
Dirección: Calles República del Paraguay 1001 Km 12.5 - San Martín - del Norte - del Sur

Figura 1 de 2
7 de 100.00
www.inia.gob.pe

Figura 40. Análisis de suelos de la parcela 1 de plátano (*Musa paradisiaca L.*).



Instituto Nacional de Innovación Agraria

INFORME DE ENSAYO
N° 11394-24/SU/ LABSAF - EL PORVENIR

I. INFORMACIÓN GENERAL

Cliente	Gerson Jimenez Pintado
Propietario / Productor	Gerson Jimenez Pintado
Dirección del cliente	Nuevo San Martín
Solicitado por	Gerson Jimenez Pintado
Muestreado por	Gerson Jimenez Pintado
Número de muestra(s)	5 muestras
Producto declarado	Suelo Agrícola
Presentación de las muestras(s)	Bolsas de papel
Referencia del muestreo	Nuevo San Martín
Procedencia de muestra(s)	Polvora/Tocache/San Martín
Fecha(s) de muestreo	2024-08-23
Fecha de recepción de muestra(s)	2024-08-24
Lugar de ensayo	Laboratorio de Suelos, Aguas y Foliaves - LABSAF El Porvenir
Fecha(s) de análisis	2024-08-26
Cotización del servicio	268-EPV-24
Fecha de emisión	2024-09-06

II. RESULTADO DE ANÁLISIS

ITEM	1	2	3	4	5		
Código de Laboratorio	SU272-EPV-24	SU273-EPV-24	SU274-EPV-24	SU275-EPV-24	SU276-EPV-24		
Matriz Analizada	Suelo	Suelo	Suelo	Suelo	Suelo		
Fecha de Muestreo	2024-08-23	2024-08-23	2024-08-23	2024-08-23	2024-08-23		
Hora de inicio de Muestreo (h)	10:40	10:43	10:45	10:48	10:50		
Condición de la muestra	Conservada	Conservada	Conservada	Conservada	Conservada		
Código/Identificación de la Muestra por el Cliente	M1	M2	M3	M4	M5		
Ensayo	Unidad	LC	Resultados	Resultados	Resultados	Resultados	Resultados
pH	unid. pH	0.1	6.20	6.50	6.50	6.30	6.30
Conductividad	mS/m	1	20.40	19.62	20.10	19.03	19.14
Materia Orgánica (**)	%	0.5	1.34	1.43	1.28	1.51	1.38
Nitrógeno Total (**)	%	0.1	0.11	0.12	0.11	0.12	0.11
Fósforo Disponible (**)	mg/kg	0.1	1.32	1.63	1.70	1.30	1.28
Potasio Disponible (**)	mg/kg	3.2	121.50	127.35	123.80	120.50	120.94
Calcio Intercambiable (**)	C mol(+)/Kg	0.2	16.90	15.66	15.28	16.81	16.58
Magnesio Intercambiable(**)	C mol(+)/Kg	0.1	2.87	2.98	3.13	2.83	2.70
Potasio Intercambiable (**)	C mol(+)/Kg	0.1	0.48	0.50	0.49	0.42	0.45
Sodio Intercambiable (**)	C mol(+)/Kg	0.1	0.41	0.40	0.48	0.49	0.44
Carbonato de calcio equivalente	%	0.5	14.40	15.00	14.95	14.71	14.20
C/Ce (**)	C mol(+)/Kg	--	16.93	17.50	17.39	17.10	16.88
Análisis de Textura (**)							
Arena	%	--	62.54	38.50	40.01	52.34	43.99
Limo	%	--	31.04	31.00	31.63	30.40	30.00
Arcilla	%	--	16.42	30.50	28.36	17.26	16.01
Clase Textural	--	--	Franco Arenoso	Franco Arcilloso	Franco Arcilloso	Franco Arenoso	Franco Arenoso
Densidad aparente	g/cm3	--	1.30	1.33	1.33	1.30	1.30



Red de Laboratorios de Suelos, Aguas y Foliaves
Acreditado con la Norma
NTP-ISO/IEC 17025:2017
Dirección: Carretera Nacional Sur Francisco de Paula Terry Km 13.5 - Juan Guano - San Martín - Sur Norte

Página 1 de 2
F-01 / Ver-04
www.inia.gob.pe

Figura 41. Análisis de suelos de la parcela 2 de plátano (*Musa paradisiaca L.*).



Instituto Nacional de Innovación Agraria

INFORME DE ENSAYO
N° 11394-24/SU/ LABSAF - EL PORVENIR

I. INFORMACIÓN GENERAL

Cliente	Gerson Jimenez Pintado
Propietario / Productor	Gerson Jimenez Pintado
Dirección del cliente	Nuevo San Martin
Solicitado por	Gerson Jimenez Pintado
Muestreado por	Gerson Jimenez Pintado
Número de muestra(s)	5 muestras
Producto declarado	Suelo Agrícola
Presentación de las muestras(s)	Bolsas de papel
Referencia del muestreo	Nuevo San Martin
Procedencia de muestra(s)	Polvora/Tocache/San Martin
Fecha(s) de muestreo	2024-08-23
Fecha de recepción de muestra(s)	2024-08-24
Lugar de ensayo	Laboratorio de Suelos, Aguas y Follares - LABSAF El Porvenir
Fecha(s) de análisis	2024-08-26
Cotización del servicio	268-EPV-24
Fecha de emisión	2024-08-08

II. RESULTADO DE ANÁLISIS

ITEM	1	2	3	4	5		
Código de Laboratorio	SU277-EPV-24	SU278-EPV-24	SU279-EPV-24	SU280-EPV-24	SU281-EPV-24		
Matriz Analizada	Suelo	Suelo	Suelo	Suelo	Suelo		
Fecha de Muestreo	2024-08-23	2024-08-23	2024-08-23	2024-08-23	2024-08-23		
Hora de Inicio de Muestreo (h)	10:54	10:56	10:57	11:00	11:02		
Condición de la muestra	Conservada	Conservada	Conservada	Conservada	Conservada		
Código/Identificación de la Muestra por el Cliente	M1	M2	M3	M4	M5		
Ensayo	Unidad	LC	Resultados	Resultados	Resultados	Resultados	Resultados
pH	unid. pH	0.1	6.10	6.60	6.30	6.20	6.50
Conductividad	µS/cm	1	25.70	25.00	27.34	26.90	25.88
Materia Orgánica (**)	%	0.5	1.34	1.44	1.38	1.29	1.40
Nitrogeno Total (**)	%	0.1	0.11	0.12	0.11	0.10	0.12
Fósforo Disponible (**)	mg/kg	0.1	1.70	1.93	1.69	1.75	1.80
Potasio Disponible (**)	mg/kg	3.2	140.50	145.30	139.73	140.66	137.50
Calcio Intercambiable (**)	C mol+/Kg	0.2	14.80	15.04	14.72	14.23	15.00
Magnesio Intercambiable (**)	C mol+/Kg	0.1	3.10	3.20	3.05	3.14	3.18
Potasio Intercambiable (**)	C mol+/Kg	0.1	0.56	0.61	0.57	0.53	0.68
Sodio Intercambiable (**)	C mol+/Kg	0.1	0.41	0.40	0.48	0.49	0.44
Carbonato de calcio equivalente	%	0.5	12.96	12.05	12.85	12.50	12.10
ClC (**)	C mol+/Kg	-	17.57	18.31	17.60	17.64	18.10
Análisis de Textura (**)							
Arena	%	-	51.62	54.10	41.01	40.20	55.20
Limo	%	-	30.55	30.65	31.58	31.00	31.03
Arcilla	%	-	17.83	15.25	27.41	28.80	13.77
Clase Textural	-	-	Franco Arenoso	Franco Arenoso	Franco Arcilloso	Franco Arcilloso	Franco Arenoso
Densidad aparente	g/cm3	-	1.30	1.30	1.33	1.33	1.30



Red de Laboratorios de Suelos, Aguas y Follares
Acreditado con la Norma
NTP-ISO/IEC 17025:2017

Dirección: Carretera Marginal del Porvenir, Barranquilla, Tumbes No. 112 - José Gualpa - Tel: 054 - 268 268

Página 1 de 2
Full / Versión
www.inia.gob.pe

Figura 42. Análisis de suelos de la parcela 3 de plátano (*Musa paradisiaca L.*)