UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN CONSERVACIÓN DE SUELOS Y AGUA

ALMACENAMIENTO DE CARBONO EN EL SUELO EN TRES SISTEMAS DE USO EN EL DISTRITO PADRE FELIPE LUYANDO, REGIÓN HUÁNUCO

Tesis

Para optar el título de:

INGENIERO EN CONSERVACIÓN DE SUELOS Y AGUA

PRESENTADO POR:

GIANCARLO JORDY ALEGRIA ORTEGA

Tingo María – Perú.

2025

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

Tingo María- Perú

FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES

ACTA DE SUSTENTACION DE TESIS N° 059-2025-FRNR-UNAS

Los que suscriben, Miembros del Jurado de Tesis, reunidos con fecha 06 de febrero de 2025, a horas 2:00 P.m. a través de la Sala Virtual de Conferencias Microsoft Teams de la Escuela Profesional de Ingeniería en Conservación de Suelos y Agua de la Facultad de Recursos Naturales Renovables de la Universidad Nacional Agraria de la Selva para calificar la tesis titulada:

"ALMACENAMIENTO DE CARBONO EN EL SUELO EN TRES SISTEMAS DE USO EN EL DISTRITO PADRE FELIPE LUYANDO, REGIÓN HUÁNUCO"

Presentado por el Bachiller: **ALEGRIA ORTEGA, GIANCARLO JORDY**, 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, 19 de mayo de 2025

Dr. LUCIO MANRIQUE DE LARA SUAREZ
PRESIDENTE

Ing. MSc. JUAN PABLO RENGIFO TRIGOZO
MIEMBRO

Ing. MSc. EDILBERTO DIAZ QUINTANA
MIEMBRO

Dr. JOSE DOLORES LEVANO CRISOSTOMO
ASESOR

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN CONSERVACIÓN DE SUELOS Y AGUA

Universidad	**:** Universidad Nacional Agraria de la Selva
Facultad	**:** Facultad de Recursos Naturales Renovables
Escuela Profesional	**:** Ingeniería en Conservación de Suelos y Agua
Título de tesis	**:** Almacenamiento de carbono en el suelo en tres sistemas de uso en el distrito Padre Felipe Luyando, región Huánuco
Autor	**:** Bach. Giancarlo Jordy Alegria Ortega
Asesor de tesis	**:** Dr. José Dolores Lévano Crisóstomo
Objetivo General	**:** Determinar el almacenamiento de carbono en el suelo en tres sistemas de uso en el distrito Padre Felipe Luyando, región Huánuco
Programa de Investigación	**:** Ciencias Básicas
Línea (s) de Investigación	**:** Ecología y Conservación de Suelos
Eje Temático de investigación	**:** Manejo del carbono orgánico en el suelo
Lugar de ejecución	**:** Naranjillo

Duración **: Fecha de inicio:** 01/04/2023 **Fecha de Término:** 31/10/2023

Financiamiento **: Propio (X) FEDU ( ) Eterno ( )**

Presupuesto **:** S/. 6 187.50

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
DIRECCIÓN DE GESTIÓN DE INVESTIGACIÓN - DGI
REPOSITORIO INSTITUCIONAL - UNAS
Correo: repositorio@unas.edu.pe

"Año de la recuperación y consolidación de la economía peruana"

CERTIFICADO DE SIMILITUD T.I. N° 251 - 2025 - CS-RIDUNAS

El Director de la Dirección de Gestión de Investigación de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, quien suscribe,

CERTIFICA QUE:

El Trabajo de Investigación; aprobó el proceso de revisión a través del software TURNITIN, evidenciándose en el informe de originalidad un índice de similitud no mayor del 25% (Art. 3° - Resolución N° 466-2019-CU-R-UNAS).

Programa de Estudio:

Ingeniería en Conservación de Suelos y Agua

Tipo de documento:

Tesis	X	Trabajo de Suficiencia Profesional	

TÍTULO	AUTOR	PORCENTAJE DE SIMILITUD
ALMACENAMIENTO DE CARBONO EN EL SUELO EN TRES SISTEMAS DE USO EN EL DISTRITO PADRE FELIPE LUYANDO, REGIÓN HUÁNUCO	GIANCARLO JORDY ALEGRIA ORTEGA	15 % Quince

Tingo Maria, 21 de julio de 2025

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
UNIDAD DE GESTIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

Dr. Tomas Menacho Mallqui
JEFE

C.C. Archivo

Escaneado con CamScanner

DEDICATORIA

A Dios, por brindarme la sabiduría, inteligencia y coraje para terminar mi carrera universitaria, además de enseñarme las soluciones hacia los problemas que se presentan en el camino.

A mis padres Danton Alegría y Caroly Ortega ya que son mi guía en cada paso que doy en la vida, por ayúdame a mejorar como persona y profesional, por brindarme el apoyo necesario durante esta etapa y por los sabios consejos que recibo día a día para fortalecer mis intelectuales.

A mis hermanas Gianina Alegría, Stefany Alegría y mi abuelita Gemma Maldonado (QEPD), que fueron y son mi impulso para enfrentar las adversidades que se presentan en la vida, por el apoyo y sustento brindado que me ayudaron a fortalecer como persona, muchas gracias.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional Agraria de la Selva, en especial a la Facultad de Recursos Naturales Renovables y escuela profesional de Ingeniería en Conservación de Suelos y Agua, añadido a todos los docentes que me apoyaron en el desarrollo en el ámbito profesional y como persona.

A mi asesor, el Dr. José Levano Crisostomo, por asesorarme, por su grandiosa paciencia y conocimientos, gracias por guiarme en esta etapa antes, durante y después del desarrollo de mi tesis.

A los miembros de jurado de tesis Dr. Lucio Manrique De Lara Suarez, MSc. Edilberto Díaz Quintana y MSc. Juan Pablo Rengifo Trigozo, por los conocimientos entregados ya que me ayudaron en gran manera mediante las observaciones señaladas y aportes que fueron beneficiosos para engrandecer la presente tesis.

A toda mi familia, por la confianza y estima que me entregaron, por creer en cada paso que doy y por el apoyo brindado.

ÍNDICE GENERAL

Página

I. INTRODUCCIÓN 1

1.1. Hipótesis 2

1.2. Objetivo general 2

1.2.1. Objetivos específicos 2

II. REVISIÓN DE LITERATURA 3

2.1. Ciclo de carbono 3

2.2. Efecto invernadero y clima 3

2.3. Mitigación de la emisión de GEI mediante la forestación 4

2.4. Secuestro de carbono 4

2.4.1. Secuestro de carbono en cultivos agrícolas 5

2.5. Captura de carbono 6

2.6. Almacenamiento de carbono 7

2.7. Biomasa y carbono 8

2.8. Carbono en el suelo 9

2.9. Estado del arte 9

III. MATERIALES Y MÉTODOS 13

3.1. Lugar de ejecución 13

3.2. Características del área en estudio 13

3.2.1. Sistema de uso de tierra con cultivo de *Theobroma cacao* L. (cacao) 13

3.2.2. Sistema de uso de tierra con cultivo de *Zea mays* (maíz) 14

3.2.3. Sistema de uso de tierra con cultivo de *Musa paradisiaca* L. (plátano) 14

3.3. Material y equipos 14

3.3.1. Materiales 14

3.3.2. Equipos 14

3.4. Criterios y análisis de estudio 14

3.4.1. Tipo y nivel de investigación 14

3.4.2. Diseño de investigación 14
3.5. Metodología 15
3.5.1. Estimar el almacenamiento de carbono en raíces en cultivos de *Theobroma cacao* L. (cacao), *Zea mays* (maíz) y *Musa paradisiaca* L. (plátano) 16
3.5.2. Estimar el almacenamiento de carbono en hojarascas en cultivos de *Theobroma cacao* L. (cacao), *Zea mays* (maíz) y *Musa paradisiaca* L. (plátano) 18
3.5.3. Estimar el almacenamiento de carbono en el suelo en cultivos de *Theobroma cacao* L. (cacao), *Zea mays* (maíz) y *Musa paradisiaca* L. (plátano) 19
3.6. Análisis estadístico 21
3.7. Población y muestra 22
3.7.1. Población 22
3.7.2. Muestra 22
3.8. Variables 22
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN 23
4.1. Estimar el almacenamiento de carbono en raíces en cultivos de *Theobroma cacao* L. (cacao), *Zea mays* (maíz) y *Musa paradisiaca* L. (plátano) 23
4.2. Estimar el almacenamiento de carbono en hojarasca en cultivos de *Theobroma cacao* L. (cacao), *Zea mays* (maíz) y *Musa paradisiaca* L. (plátano) 25
4.3. Estimar el almacenamiento de carbono en el suelo en cultivos de *Theobroma cacao* L. (cacao), *Zea mays* (maíz) y *Musa paradisiaca* L. (plátano) 27
V. CONCLUSIONES 30
VI. PROPUESTAS A FUTURO 31
VII. REFERENCIAS 32
ANEXO 36
Anexo 1. Instrumento de recopilación información 37
Anexo 2. Panel fotográfico 49
Anexo 3. Datos de análisis de suelos 53
Anexo 4. Mapa de ubicación de la zona estudiada 56

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla **Página**

1. Esquema de análisis de varianza 22

2. Descriptivos de almacenamiento de carbono en raíces en cultivos de *T. cacao, Z. mays* y *M. paradisiaca* 23

3. ANVA de almacenamiento de carbono en raíces en cultivos de *T. cacao, Z. mays* y *M. paradisiaca* 23

4. Prueba de Duncan (α=0,05) para el almacenamiento de carbono en raíces en cultivos de *T. cacao, Z. mays* y *M. paradisiaca* 24

5. Descriptivos de almacenamiento de carbono en hojarasca en cultivos de *T. cacao, Z. mays* y *M. paradisiaca* 25

6. ANVA de almacenamiento de carbono en hojarasca en cultivos de *T. cacao, Z. mays* y *M. paradisiaca* 26

7. Descriptivos de almacenamiento de carbono en el suelo en cultivos de *T. cacao, Z. mays* y *M. paradisiaca* 28

8. ANVA de almacenamiento de carbono en el suelo en cultivos de *T. cacao, Z. mays* y *M. paradisiaca* 28

9. Carbono almacenado en raíces de cultivo de cacao 37

10. Carbono almacenado en hojarasca de cultivo de cacao 37

11. Carbono almacenado del suelo de cultivo de cacao 37

12. Carbono almacenado en raíces de cultivo de cacao 38

13. Carbono almacenado en hojarasca de cultivo de cacao 38

14. Carbono almacenado del suelo de cultivo de cacao 38

15. Carbono almacenado en raíces de cultivo de cacao 39

16. Carbono almacenado en hojarasca de cultivo de cacao 39

17. Carbono almacenado del suelo de cultivo de cacao 39

18. Carbono almacenado en raíces de cultivo de cacao 40

19. Carbono almacenado en hojarasca de cultivo de cacao 40

20. Carbono almacenado del suelo de cultivo de cacao 40

21. Carbono almacenado en raíces de cultivo de maíz 41
22. Carbono almacenado en hojarasca de cultivo de maíz..... 41
23. Carbono almacenado del suelo de cultivo de maíz 41
24. Carbono almacenado en raíces de cultivo de maíz 42
25. Carbono almacenado en hojarasca de cultivo de maíz..... 42
26. Carbono almacenado del suelo de cultivo de maíz 42
27. Carbono almacenado en raíces de cultivo de maíz 43
28. Carbono almacenado en hojarasca de cultivo de maíz..... 43
29. Carbono almacenado del suelo de cultivo de maíz 43
30. Carbono almacenado en raíces de cultivo de maíz 44
31. Carbono almacenado en hojarasca de cultivo de maíz..... 44
32. Carbono almacenado del suelo de cultivo de maíz 44
33. Carbono almacenado en raíces de cultivo de plátano 45
34. Carbono almacenado en hojarasca de cultivo de plátano..... 45
35. Carbono almacenado del suelo de cultivo de plátano 45
36. Carbono almacenado en raíces de cultivo de plátano 46
37. Carbono almacenado en hojarasca de cultivo de plátano..... 46
38. Carbono almacenado del suelo de cultivo de plátano 46
39. Carbono almacenado en raíces de cultivo de plátano 47
40. Carbono almacenado en hojarasca de cultivo de plátano..... 47
41. Carbono almacenado del suelo de cultivo de plátano 47
42. Carbono almacenado en raíces de cultivo de plátano 48
43. Carbono almacenado en hojarasca de cultivo de plátano..... 48
44. Carbono almacenado del suelo de cultivo de plátano 48

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura **Página**

1. Imagen de localización del distrito de Padre Felipe Luyando – Naranjillo. 13

2. Esquema general de parcela muestral con medida de 500 m^2 para colección de muestras de raíces, hojarascas y suelo..... 15

3. Subparcela para la colecta de muestras de raíces..... 16

4. Colecta de muestras de raíces a tres profundidades. 17

5. Subparcela para la colecta de muestras de hojarascas..... 18

6. Subparcela para la colecta de muestras de suelo..... 20

7. Colecta de muestras de suelo y para determinar densidad aparente a tres profundidades.20

8. Dimensiones del cilindro metálico para determinar densidad aparente del suelo..... 20

9. Comparación de media de almacenamiento de carbono en raíces en los sistemas de uso de tierra……..... 24

10. Comparación de media de almacenamiento de carbono en hojarasca en los sistemas de uso de tierra……..... 26

11. Comparación de media de almacenamiento de carbono en el suelo en los sistemas de uso……..... 29

12. Calicata de 30x30x30 cm para colecta de muestras de suelo..... 49

13. Colecta de muestras de hojarasca dentro del cuadrante de 50x50 cm 49

14. Cilindros de volumen conocido para determinar la densidad aparente del suelo 50

15. Lavado de muestras de raíces..... 50

16. Secado de suelo al aire libre..... 51

17. Determinación de textura del suelo por el método de Bouyoucos..... 51

18. Muestras de hojarasca y cilindros de volumen conocido introducidos en la estufa..... 52

19. Pesaje de cilindro de volumen conocido para determinación de densidad aparente..... 52

RESUMEN

El trabajo de investigación tuvo como objetivo determinar el almacenamiento de carbono en el suelo en tres sistemas de uso en el distrito Padre Felipe Luyando, región Huánuco. El trabajo de investigación tiene un enfoque cuantitativo de tipo aplicada con un nivel de investigación descriptiva, mediante un diseño de investigación no experimental. El estudio se constituyó en base a tres sistemas de uso de tierra que fueron *Theobroma cacao* L. (cacao), *Zea mays* (maíz) y *Musa paradisiaca* L. (plátano) donde éstos fueron los tratamientos y en cada uno se realizó 4 repeticiones, donde los datos fueron sometidos a un análisis estadístico de la prueba de DGC (α = 0,05). Como resultado se obtuvo que existió diferencia estadística altamente significativa en el carbono almacenado en raíces donde ampliamente el mayor valor se obtuvo en el cultivo de *T. cacao* de 6,95 tn/ha, así mismo, con respecto al almacenamiento de carbono en hojarasca se obtuvo valores de 11,90 tn/ha, 8,61 tn/ha y 3,75 tn/ha en cultivos de *T. cacao, M. paradisiaca* y *Z. mays* respectivamente, por otro lado, en el almacenamiento de carbono en el suelo se obtuvieron valores de 32,64 tn/ha, 21,58 tn/ha y 20,35 tn/ha en cultivos de *T. cacao, Z. mays* y *M. paradisiaca* respectivamente. El cultivo de *T. cacao* obtuvo el promedio más alto en el carbono almacenado en raíces, hojarasca y suelo a comparación de los demás sistemas de uso; sin embargo, en el almacenamiento de carbono en hojarasca y raíces no existe significancia diferencia estadística.

Palabras clave: biomasa; almacenamiento; carbono

ABSTRACT

The objective of the research work was to determine soil carbon storage in three systems of use in the Padre Felipe Luyando district, Huanuco region [in Perú]. The research work has a quantitative applied approach with a descriptive research level, using a non-experimental research design. The study was based on three land use systems: *Theobroma cacao* L. (cacao), *Zea mays* (maize) and *Musa paradisiaca* L. (banana), where these were the treatments and in each one 4 replications were carried out, where the data were subjected to a statistical analysis of the DGC test ($\alpha = 0.05$). As a result it was obtained that there was a highly significant statistical difference in the carbon stored in roots where the highest value was obtained in the cultivation of T. cacao of 6.95 tn/ha, likewise, with respect to carbon storage in litter, values of 11.90 tn/ha, 8.61 tn/ha and 3.75 tn/ha were obtained in cultivations of *T. cacao*, *M. paradisiaca* and *Z. mays* respectively, on the other hand, in soil carbon storage values of 32.64 tn/ha, 21.58 tn/ha and 20.35 tn/ha were obtained in crops of *T. cacao*, *Z. mays* and *M. paradisiaca* respectively. *T. cacao* had the highest average carbon storage in roots, litter and soil compared to the other systems; however, there was no significant difference in carbon storage in litter and roots compared to the other systems.

Keywords: biomass; storage; carbon

I. INTRODUCCIÓN

Los componentes principales de almacenamiento de carbono en el suelo son el carbono orgánico del suelo, la biomasa de la hojarasca y biomasa de raíces del suelo. Según estimaciones encontraron que el carbono en la biomasa del bosque primario está en un rango de 60 y 230 t/ha^{-1} y bosques secundarios 25 y 190 t/ha^{-1}, el C en el suelo está dentro de 60 y 115 t / ha. La deforestación y quema ha causado la emisión de grandes cantidades de GEI, que corresponden a un 6 a 17 % de las emisiones antropogénicas de CO_2 a la atmosfera. Entre los años 2000 y 2010, se emitieron aproximadamente 1 Pg^3 C/año por destrucción del bosque tropical y uso de la tierra (Baccini et al., 2012).

Los diferentes componentes que conforman los sistemas productivos, sean estos agroforestales, forestales, agrosilvopastoriles entre otros, capturan el carbono atmosférico según su característica de desarrollo fisiológico y genético, por lo que se hace imprescindible contar con información científica de la cantidad de carbono que pueden secuestrar diversos sistemas de uso de tierra. El carbono orgánico en el suelo también es fundamental para sostener la fertilidad del suelo y se asocia con la productividad del ecosistema.; donde su contenido se usa como indicador de calidad del suelo, por lo anteriormente señalado, se considera que un mayor y mejor conocimiento de la distribución de la materia orgánica del suelo.

La investigación se justifica por la necesidad de identificar aquellos sistemas de uso que presentan diferencias significativas en la cuantificación de carbono orgánico en el suelo, la biomasa radicular, biomasa de hojarasca, porcentaje de materia orgánica y según los sistemas de uso darán como resultado la totalidad de carbono en dicho sector, ya que el suelo es fundamental no sólo para el sostén de todo y todo, sino también como fuente de sumideros de carbono que ayuda a mitigar el cambio climático y a mejorar este recurso.

Los alcances de la presente investigación contribuirán con información importante hacia la comunidad investigadora, para diferentes instituciones que monitorean y hacen control de dichos sistemas de cultivo; por lo expuesto en lo párrafos anteriores, en la investigación se planteó la siguiente pregunta:

¿Qué cantidad será el almacenamiento de carbono en el suelo en tres sistemas de uso en el distrito Padre Felipe Luyando, región Huánuco?

Además, como teoría se planteó:

1.1. Hipótesis

- El almacenamiento de carbono en el suelo varía según el sistema de uso en el distrito de Padre Felipe Luyando, región Huánuco.

1.2. Objetivo general

Determinar el almacenamiento de carbono en el suelo en tres sistemas de uso en el distrito Padre Felipe Luyando, región Huánuco.

1.2.1. Objetivos específicos

- Estimar el almacenamiento de carbono en raíces en cultivos de *Theobroma cacao* L. (cacao), *Zea mays* (maíz) y *Musa paradisiaca* L. (plátano).
- Estimar el almacenamiento de carbono en la hojarasca en cultivos de *Theobroma cacao* L. (cacao), *Zea mays* (maíz) y *Musa paradisiaca* L. (plátano).
- Estimar el almacenamiento de carbono en el suelo en cultivos de *Theobroma cacao* L. (cacao), *Zea mays* (maíz) y *Musa paradisiaca* L. (plátano).

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Ciclo de carbono

En la atmósfera hay entre 750 y 800 Pg de carbono, de las cuales la mayoría se encuentra como CO_2, aunque también se encuentran pequeñas cantidades de CO, CH_4 y otros compuestos hidrocarbonados diferentes del metano (Siegenthaler et al., 2005). La cantidad total de carbono en los océanos es de aproximadamente 3.8 x 10^4 Pg, lo que representa unas 50 veces más que el carbono presente en la atmósfera (Houghton, 2007).

El océano resulta en función una fuente de sumidero de C; en su superficie, el CO_2 atmosférico se disuelve en el agua, provocando su acidificación. Además, en la atmósfera, el CO_2 reacciona con el vapor de agua, formando ácido carbónico, un ácido débil que disuelve rocas y libera calcio, magnesio, potasio y sodio. Los reservorios de carbono se dividen en dos tipos de flujos o movimientos globales: el primero es el ciclo geoquímico, que se caracteriza por ser lento, con un tiempo de residencia prolongado, y puede abarcar desde la mineralización hasta la formación de rocas, entre otros procesos. El segundo tipo de flujo es el ciclo biológico, con tiempos de residencia cortos, que pueden ir desde unas pocas horas (como en el caso de las cianobacterias, algas y hongos) hasta cientos de años (como en los árboles). El carbono siempre ha estado en un continuo proceso de entrada y salida en distintos sistemas (Kasting y Walker, 1992).

2.2. Efecto invernadero y clima

El incremento en la T° globalizada, que se ha registrado en estos tiempos y se espera que continúe en las próximas décadas, es motivo de preocupación para los científicos, generando inquietud en diversos ámbitos. Aunque el fenómeno en sí mismo no parecería extraordinario, es relevante debido a las posibles consecuencias del cambio climático. Estas consecuencias incluyen implicaciones en la productividad alimentaria, la salud global, la economía mundial y las presiones de migratoriedad. Dada la falta de claridad sobre la magnitud de estos efectos, que podrían ser devastadores, los esfuerzos actuales se centran en determinar la ubicación, cronología y posible intensidad del cambio climático. Esto es fundamental para guiar las decisiones políticas necesarias que permitan evitar, mitigar o aliviar de alguna forma estas consecuencias (Maisonave, 1997).

El Efecto de Hibernación (EI) se refiere al incremento de T° en el globo terráqueo, sin los mencionados efectos la T° del suelo sería 18°C (291° K). Sin embargo, debido a las composiciones de loes mencionados gases en la capa de gas que rodea el globo terráqueo, la T° media general se eleva a aproximadamente +15°C (288°K). Los gases de EI, que influyen

significativamente en este proceso, se clasifican en orden de importancia según su impacto: vapor de agua, CO_2, clorofluorocarbonos (CFC), CH_4, N_2O, y O_3 (Maisonnave, 1997).

2.3. Mitigación de la emisión de GEI mediante la forestación

La vasta vegetación primaria y secundaria desempeñan crucialmente en el ciclo globalizado de C. Actualmente, la tala de árboles demanda un efecto aproximado de 1.8 Gt de C, lo que representa de emisiones porcentualmente de 20 por año de dióxido de C generadas antrópicamente. No obstante, se estima que remediar esto mediante buenas prácticas se capturaría C en valores aproximados de cincuenta a cien Gt C para finales de este siglo (Mendez, 2001).

El debate sobre la captación de C añadido al vacío estratégico relacionadas con las estrategias revertir las emisiones mediante situaciones de estrategia sigue en marcha. Sin número de obstaculizaciones para aprovechar estratégicamente la captura de C con la forestación son de carácter institucional, económico y político. Una regulación internacional más estricta sobre la capturación de C se torna esencial para garantizar productividad y sean aplicados a estrategias de restauración de áreas degradadas y no degradadas (UNEP y GEMS, 1992).

En nuestro país, emite CO_2 mediante: disminución de especie vegetativa 62%, energética 27% e industrialización 11%. El basto bosque se exige que sean considerados con valores mucho más que la madera, quiere decir como servicios ambientales que generan valores de diversas funcionalidades a nivel mundial. Como ejemplo consideramos el reciclaje de materiales dentro de los ciclos biogeoquímicos (como sumideros de CO_2), proteger el suelo, y la optimización hidrológica en las cuencas (UICN, 2001).

Los bosques tornan como un aspecto valorativo especia en la captación de CO_2, ya que es clave en la mitigación del efecto invernadero. Cada hectareaje de éstos puede capturar 34 tn CO_2 anualmente. En la selva caducifolia tropical, cada hectareaje captura 164.8 toneladas de CO_2 de la atmósfera anualmente en su biomasa).

2.4. Secuestro de carbono

Nasi et al. (2002) sostienen que los árboles y los bosques son capaces de almacenar carbono. Diversos estudios indican que la capacidad de almacenamiento es potencialmente elevada, destacando las acumulaciones y expulsiones de este recurso en los climas estables con especies vegetativas. Un conjunto de especies vegetativas de primera escala puede almacenar aproximadamente 250 tn/hectárea, distribuidas entre el suelo y la vegetación. Por otro lado, la agricultura migratoria podría liberar con aproximación 200 tn/C, y aún más si se transforma en gramíneas u homogeneidad de cultivos. Los bosques abiertos contienen alrededor de 115

toneladas de carbono, de las cuales entre una cuarta y una tercera parte se liberaría si se cambian a otro uso.

Secuestrar C mediante las especies vegetativas de primera escala es convertible hacia el servicio del ambiente con reconocimiento total, de valor agregado económicamente significativo en fronteras con desarrollo (Ramírez et al., 1999). Esto es debido al enfoque preocupante por los cambios climáticos impactando en las actividades humanas añadido a recursos de la naturaleza, principalmente provocado por emisiones de industrialización, actividad agrícola, emisiones de consumismo de combustibles y quema indiscriminada. Estos factores toman responsabilidad del cambio drástico del clima; entre ellos, el CO_2, que sobreabunda en la capa de aire que cubre el planeta (Cielsa, 1996).

La forma de contrarrestar lo que impacta el CO_2, en el efecto invernadero, además de reducir sus emisiones, es mantenerlo almacenado en la biomasa y el suelo durante el mayor tiempo posible. Los bosques desempeñan un papel crucial como sumideros de CO_2. No obstante, los sistemas agroforestales también pueden desempeñar un papel significativo. Un estudio realizado en una hectárea con uso agroforestal reveló que se puede almacenar 95 Mg de carbono, añadiendo el impacto beneficioso y servicios (López, 1998).

Conforme a la participación de los aspectos maderables de las especies vegetativas en la biomasa aérea es crucial conforme a la capturación de C. Componente por el cual es la esencia de fijación de carbono porque, al eliminar las coberturas, hace reducción de captura de carbono en la biomasa aérea, sino también en el suelo. Por otro lado, los sistemas agroforestales, los árboles son el componente más relevante de la biomasa aérea. Con un porcentaje de 68 carbono capturado proviene especies arbóreas con gran magnitud. Además, con resultados bibliográficos obtuvieron que la cantidad de C fijado está estrechamente relacionada con las regiones específicas, influenciada por las condiciones climáticas (Alvarado et al., 1999).

2.4.1. Secuestro de carbono en cultivos agrícolas

En los cultivos agrícolas, el estrés ambiental, como la salinidad, la sequía, las temperaturas extremas, el déficit hídrico y la reducción de la radiación solar, altera tanto la estructura como el metabolismo de las plantas, lo que a su vez impacta su crecimiento y capacidad de secuestrar CO_2 (Kanninen et al., 2001).

En este contexto, las investigaciones han demostrado que el estrés hídrico es el factor más limitante, ya que una cantidad adecuada de flujo de agua a través de la planta es esencial para mantener su nutrición y la absorción de CO_2. Otro aspecto relevante es la

temperatura, ya que valores elevados pueden aumentar la fotorespiración, un mecanismo de protección del aparato fotosintético que no implica la fijación de CO_2.

Dado lo anterior, es evidente que varios factores deben considerarse al establecer cultivos con el propósito de secuestrar CO_2. Ejemplos de cultivos agrícolas representativos en zonas templadas, manejados en grandes extensiones, incluyen Z. mays, cebada, trigo y avena, con valores de secuestro promedio de carbono de 3,5 t C/ha/año (Verhulst et al., 2004).

En regiones tropicales, la conversión de tierras para actividades agrícolas suele implicar la eliminación de la cobertura forestal, lo que genera una liberación de CO_2 mucho mayor que la cantidad que los cultivos pueden capturar. Como resultado, las reservas de carbono en los cultivos tropicales generalmente son inferiores a las de los bosques naturales, independientemente del tipo. Por ejemplo, los cultivos de caña de azúcar tienen una reserva promedio de 9 Mg C ha^{-1}, los cultivos de té 28 Mg C ha^{-1}, los sistemas agroforestales con Coffea arabica (café) 51 Mg C ha^{-1}, los cultivos de cacao 58 Mg C ha^{-1}, los de coco 60 Mg C ha^{-1}, y los cultivos de palma aceitera 45 Mg C ha^{-1} (Rügnitz et al., 2008).

Las pasturas también representan una fuente significativa de movilización de CO_2. Según datos de coberturas bajas en América Latina, establecer éstos con alteraciones ha demostrado subir el COS. En Brasil, la introducción de oberturas bajas o gramíneas mejoradas en áreas quemadas resultó en un incremento del COS. El potencial de los SAF para el encubrimiento de C se sitúa valorativamente de 20-204 t/ha^{-1}, con la mayor parte de este COS. Además, estos sistemas pueden incrementar las reservas de carbono anualmente entre 1,8 y 5,2 t ha^{-1} (Botero, 2001).

2.5. Captura de carbono

El carbono generalmente se asocia con la idea de almacenar reservas en suelos, bosques y otros tipos de vegetación, aunque estas reservas están en constante riesgo de perderse. También se fomenta el aumento de las reservas de carbono mediante la creación de nuevas plantaciones forestales, la implementación de sistemas agroforestales y la rehabilitación de bosques degradados. La conservación, la reforestación y una gestión optimizada de los bosques son los principales métodos para capturar carbono atmosférico. En teoría, el efecto de la captura de carbono a través de la forestación puede ser cuantificado estimando la cantidad almacenada en la biomasa terrestre y en los productos de madera (UNEP y GEMS, 1992).

Sin embargo, la captura de carbono mediante la plantación de árboles representa solo una pequeña y temporal solución al problema del calentamiento global. Para abordar este problema de manera efectiva, sería necesario modificar nuestros patrones de consumo y nuestra actitud hacia el medio ambiente. La captura de carbono ocurre únicamente durante el crecimiento de los árboles. Los árboles absorben dióxido de carbono (CO_2) de la atmósfera, junto con otros elementos del suelo y el aire, para convertirlos en madera. La cantidad de CO_2 que un árbol captura en un año es solo una fracción pequeña, correspondiente al incremento anual de su biomasa, multiplicado por la cantidad de carbono presente en su biomasa. Aproximadamente entre el 42% y el 50% de la biomasa de un árbol (materia seca) está compuesta por carbono. Existe una captura neta de carbono solo mientras el árbol continúa creciendo hasta alcanzar su madurez (De La Vega, 2007).

Cuando un árbol muere, libera a la atmósfera la misma cantidad de carbono que absorbió durante su vida. En un bosque maduro y estable, la cantidad de carbono emitida es igual a la cantidad capturada, lo que significa que el balance neto de carbono es nulo. Por lo tanto, lo más relevante no es cuánto carbono captura un árbol en un momento dado, sino cuánto carbono puede almacenar a lo largo de toda su vida. Para calcular la captura de carbono, es crucial conocer el tiempo que tarda un bosque en alcanzar su madurez. Los índices de captura de carbono varían según el tipo de árboles, el suelo, la topografía y las prácticas de manejo forestal (De La Vega, 2007).

Tanto plantas como animales y humanos son formas de vida basadas en el carbono que utilizan la energía solar para obtener el carbono necesario para la química celular. Las plantas absorben CO_2 a través de las estomas en sus hojas; particularmente durante la noche, los árboles emiten más CO_2 del que absorben. Las plantas concentran alrededor del 40% de carbono en sus tejidos vegetales, lo que pone de manifiesto la impresionante capacidad de la fotosíntesis (Ismiño y Chappa, 2006).

2.6. Almacenamiento de carbono

La cantidad de carbono (C) secuestrado está relacionada con la capacidad del bosque para mantener una determinada cantidad de biomasa por hectárea, lo cual depende de su heterogeneidad y está influenciado por las condiciones del suelo y el clima. Las plantas tienen la habilidad de almacenar CO_2 de la atmósfera, ya que durante la fotosíntesis se fija el carbono, que luego se utiliza para producir el alimento necesario para su crecimiento. Se estima que una hectárea de plantación puede absorber alrededor de 10 t C ha^{-1}/año de la atmósfera,

dependiendo de las condiciones locales. El concepto de carbono almacenado está vinculado a la capacidad del bosque para mantener una cierta cantidad de biomasa por hectárea, influenciada por la heterogeneidad del ecosistema y las condiciones del suelo y el clima (Arévalo et al., 2003).

Los árboles pueden almacenar dióxido de carbono atmosférico gracias a la fotosíntesis, proceso que captura CO_2 y lo utiliza para generar el alimento necesario para su crecimiento. Se estima que una hectárea de plantación arbórea puede absorber alrededor de 10 toneladas de carbono de la atmósfera, dependiendo de las condiciones específicas del lugar (Hidalgo, 2006).

Se calcula que aproximadamente el 45% de la biomasa vegetal total es carbono, lo que implica que los bosques acumulan carbono que no se libera a la atmósfera. En los ecosistemas de bosques tropicales, la biomasa seca puede variar entre 150 y 382 t ha^{-1}, lo que significa que la capacidad máxima de almacenamiento de carbono varía entre 67,5 y 171 t ha^{-1} (Fernández, 2010).

2.7. Biomasa y carbono

La biomasa es el volumen total de materia orgánica sobre la tierra, la escala de interpretación es arbitraria: árbol, hectárea, región, país, etc. Es la densidad de biomasa el mismo concepto expresado por unidad de área (ha^{-1}). El producto entre densidad de la biomasa por la superficie, dará la biomasa total del espacio requerido (Callo, 2000).

En la cuantificación de la biomasa se suelen subestimar algunas variables: las palmeras y las raíces, de aporte oscilante de acuerdo al clima y suelo pueden llegar hasta tercera parte (Barbarán, 2001). Las plantas usan el sol para crecer y la materia orgánica de la planta se llama biomasa y almacena a corto plazo la energía solar en forma de carbono.

La biomasa es parte del ciclo natural del carbono entre la tierra y el aire; asimismo, en el concepto de biomasa no se debe incluir la turba (combustible fósil formado de residuos vegetales acumulados en sitios pantanosos, de color pardo oscuro, aspecto terroso y poco peso, y que al arder produce humo denso), que a efectos de emisiones de CO_2 equivale a un combustible fósil; además, dados los impactos ambientales derivados de la explotación de turberas, no se podría considerar energía renovable la obtenida de esta fuente de energía (López, 1994).

2.8. Carbono en el suelo

El carbono es la base esencial de la vida en nuestro planeta, y su ciclo es crucial para el desarrollo de todos los organismos. Es el componente fundamental en la formación de moléculas como carbohidratos, lípidos, proteínas y ácidos nucleicos, con todas las moléculas orgánicas formadas por cadenas de carbono conectadas entre sí. El carbono se acumula en compartimentos conocidos como depósitos y circula activamente entre ellos. De estos depósitos, los océanos almacenan 38 000 Gt, el suelo 15 000 Gt, la atmósfera 750 Gt y las plantas 560 Gt (FAO, 2004).

La atmósfera y la hidrósfera son las principales reservas de carbono (en forma de CO_2) accesibles para los seres vivos. Los océanos, que albergan la mayor cantidad de carbono, incluyen depósitos significativos como las "praderas marinas", que ocupan solo el 0,2% de la superficie terrestre. Estas praderas, formadas por pastos adaptados a ambientes salinos como las especies Tholassius y Posidonias, se encuentran generalmente en aguas poco profundas, donde reciben suficiente luz para realizar la fotosíntesis. Así, capturan y almacenan carbono de manera rápida y eficiente en sus raíces profundas y vegetación aérea (IPCC, 2007).

El carbono, siendo el elemento químico esencial de los compuestos orgánicos, circula a través de los océanos, la atmósfera, el suelo y el subsuelo, que actúan como reservorios naturales. El carbono se transfiere de un depósito a otro mediante procesos químicos, físicos y biológicos. El almacenamiento de carbono en depósitos fósiles resulta en una disminución de los niveles de CO_2 en la atmósfera; sin embargo, la liberación de este carbono, como ocurre con la explotación de petróleo y gas natural, provoca un desequilibrio en el ciclo, aumentando la cantidad de CO_2 atmosférico, especialmente si la capacidad de reciclaje disminuye debido a la reducción de la masa forestal (IPCC, 2007).

Los suelos de los ecosistemas terrestres contienen entre 2 y 4 veces más carbono en forma de sustancia inerte. La producción primaria neta se sitúa entre 120 000 y 170 000 millones t ha^{-1} de materia seca, lo que equivale a 75 000 millones t ha^{-1} de carbono, de los cuales 2/3 se producen en ecosistemas terrestres y 1/3 en ecosistemas marinos. La misma cantidad de carbono es respirada anualmente y devuelta al medio ambiente en forma de CO_2. Además, se ha determinado que entre un tercio y, en ocasiones, la mitad o más del carbono y energía que se incorpora en el bosque se encuentra en el suelo en forma de hojarasca (Barbarán, 2001).

2.9. Estado del arte

Internacionales:

Hernández et al. (2021) estudiaron el almacenamiento de carbono en sistemas agroforestales en los Llanos Orientales en Colombia, tuvo como objetivo estimar el almacenaje de carbono en la biomasa aérea, necromasa y carbono orgánico del suelo en sistemas agroforestales con café, sistemas silvopastoriles y en bosque. El método empleado fue el establecimiento de 44 parcelas de muestreo, en donde se tomaron medidas dasométricas a individuos con un diámetro del tronco a la altura del pecho (dap) $\geq$ 2.5 cm (latizales, fustales y fustales grandes), cuyos valores fueron transformados a carbono con modelos de biomasa y una fracción de carbono default. En los tres sistemas agropecuarios, se contó el número de árboles de cacao, café, plantas asociadas y se identificó el tipo de uso (maderable, alimento, combustión). Como resultados más resaltantes fueron que el almacenamiento de carbono presentó diferencias significativas ($P < 0.0001$) entre usos del suelo. La mayor acumulación se encontró en bosque, con 216.6 t C/ha^{-1}, superando en 59, 72 y 73 % a SAF cacao, SSP y SAF café, respectivamente. Fabaceae, Lauraceae y Primulaceae presentaron el mayor almacenamiento de carbono. En SAF cacao, la mayor acumulación de carbono fue encontrada en especies para alimento humano; en SAF café y SSP, el mayor almacenamiento fue presentado en las especies maderables. Concluyen que los resultados resaltan el potencial de almacenamiento de carbono en los sistemas productivos de mayor importancia en el departamento del Meta, lo cual es importante para el diseño de estrategias que permitan integrar acciones de mitigación de emisiones de gases de efecto invernadero y promover la economía campesina local.

Andrade et al. (2016) en sus estudios sobre carbono orgánico del suelo en bosques riparios, arrozales y pasturas en piedras en la ciudad de Tolima – Colombia, tuvieron como objetivo la estimación del carbono orgánico del suelo en la interfase entre bosques riparios, matriz de arrozales y pasturas mediante manejos orgánicos. Seleccionaron dos lotes en producción (arroz y pastura) y se estimaron el COS en ellos y en borde e interior de bosques riparios adyacentes a 0-20 cm de profundidad. Cuantificaron la densidad aparente y la concentración de carbono orgánico y estimaron el potencial cambio en el COS por cambios de uso del suelo entre el arroz, pastura y los bosques riparios. Las interfaces arroz-bosque ripario y pastura-bosque ripario almacenaron en promedio 65,6 y 61,3 t C ha^{-1}, respectivamente, sin diferencias significativas ($p>0,05$). No se detectaron diferencias estadísticas ($p>0,05$) entre matrices agropecuarias (arroz y pastura) en ninguna de las variables. La posición de muestreo (matriz y borde e interior de los bosques) tuvo impacto significativo ($p>0,05$) solo en la densidad aparente: 1,7 vs 1,1 vs 1,0 g/cm^3 al interior y el borde de los bosques y la matriz,

respectivamente. El COS no fue afectado estadísticamente ($p>0,05$) por la posición en la interface bosque ripario-matriz. La conversión de bosques riparios a arrozales o pasturas con manejo orgánico no está emitiendo gases de efecto invernadero, por el contrario, está incrementando el COS en 3,2 t C ha^{-1}.

Galicia et al. (2016) estudiaron el almacén y dinámica de carbono orgánico en bosques templados en México, donde tuvieron como objetivo el conocimiento del almacenaje de carbono en suelos en bosques templados, donde distribuyeron 23 tipos de suelos, principalmente Leptosoles, Regosoles, Luvisoles, Phaeozems, Cambisoles, Umbrisoles y Andosoles formados a partir de materiales volcánicos en el centro del país, sedimentarios en la Sierra Madre Oriental y una variedad amplia de sustratos en la Sierra Madre Occidental. El almacenamiento de carbono del suelo varió con el tipo de suelo, la composición de especies y el relieve, donde los Andosoles, a pesar de su escasa abundancia, son los suelos con la mayor capacidad de almacenar carbono debido a sus características mineralógicas, donde tuvo un valor de 310 Mg C/ha^{-1}. Los cambios en el carbono orgánico del suelo y los flujos de carbono en los bosques templados en México son el resultado de cambios locales, generados por las actividades humanas como el cambio de uso, el manejo forestal, los incendios, la regeneración y la sustitución de especies. El cambio de uso de suelo es uno de los principales factores que explican los flujos de carbono en estos ecosistemas, sin embargo, aún no existe evidencia clara de que sea en sentido negativo.

Nacionales y locales:

Enriquez (2018) estudió la determinación de captura de carbono en suelos de un sistema agroforestal con café en el Valle Esquilaya, Puno – Perú, tuvo como objetivo determinar la captura de carbono; asimismo, realizó en sistemas agroforestales con café y tomando como grupo control o grupo testigo a suelos con pastura. La metodología consistió en la recopilación de datos de las propiedades físicas y químicas del suelo. Para el estudio se consideró dos unidades exploratorias: Sistema agroforestal agroforestales con café y un suelo con pastura, se tomaron 5 puntos al azar y dos repeticiones en cada punto por sistema. Los resultados del contenido de carbono orgánico entre sistemas si hubo diferencia significativa puesto que el sistema con café tuvo mayor captura de carbono a diferencia de los suelos con pastura. Asimismo, respecto al comportamiento a través de los estratos, si existe diferencia significativa. Así también en la caracterización del suelo entre sistemas y profundidad si hubo diferencia significativa. Del estudio realizado concluye que si hubo diferencia significativa entre SUT con café a diferencia de la pastura ya que el carbono orgánico para pastura fue de 108.6 t C ha^{-1}, y

para pastura 38,3 t C ha^{-1}. Por tanto, un sistema agroforestal con café influye en el contenido de materia orgánica, densidad aparente y en la captura de carbono orgánico en el suelo.

Odar (2018) estudió el almacenamiento de carbono en sistemas agroforestales de café en el anexo de Vilaya, Amazonas – Perú, tuvo como objetivo evaluar el almacenaje de carbono aéreo y porcentaje de carbono del suelo en policultivos de café, donde consideraron cuatro componentes de almacenamiento: biomasa aérea viva (árboles y café), suelo, hojarasca y maleza. Para la estimación de la cantidad de biomasa usó el método directo a través de la fragmentación, peso seco y peso húmedo de cada uno de sus componentes. Para el café se estableció una ecuación alométrica: B(kg)=14.928-5.319(DAP)+0.598(DAP)2-0.019(DAP)3, que relaciona a la biomasa aérea seca con el diámetro de la planta, considerando un coeficiente de determinación de 0.947. Los resultados muestran que los sistemas de café-guaba-pashaco almacenaron 26.922 t C ha^{-1}, mientras que los de café- guaba, 16.305 t C ha^{-1} en la biomasa aérea. Adicionalmente, observó la existencia de correlación altamente significativa entre el porcentaje de carbono del suelo y el porcentaje de nitrógeno (índice de correlación de r = 0.989). Finalmente, observó que los sistemas café-guaba-pashaco presentaron un porcentaje del 2.58% de carbono en el suelo, mientras que los de café-guaba, 2.51%.

Huamaní (2016) estudió el almacenamiento de carbono del *Stipa ichu* en las praderas naturales altoandinas del Lucanas, Ayacucho – Perú, tuvo como objetivo la determinación del almacenamiento de carbono en ichu, lo cual fue necesario cuantificar el peso seco y fresco de la biomasa arbustiva, herbácea, raíz. El método utilizado fue el método destructivo y en el caso de biomasa arbustiva, herbácea, por otro lado, colectó datos con el método no destructivo por medio de fórmulas establecidas para el contenido de carbono en la tesis se utilizó la metodología dada por el IPCC (El Panel Intergubernamental del Cambio Climático) el cual nos indica como valor estándar al 0.50 para la determinación de la fracción de conversión. Como resultado más importante fueron que determinó que la cantidad carbono en biomasa arbustiva fue de hasta 8 93 t ha^{-1}, biomasa en raíces 0,4 t ha^{-1} y carbono en el suelo con 44.42 t ha^{-1}. Por lo que se concluye que las praderas naturales alto andinas con especie de ichu en Lucanas contribuyen significativamente a la disminución del CO_2 en la atmosfera.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Lugar de ejecución

La investigación se ejecutó en el distrito de Padre Felipe Luyando – Naranjillo, que se encuentra ubicado aproximadamente a 6 km de la ciudad de Tingo María, con coordenadas UTM 391695 E y 8978019 N, con una altitud de 640 msnm.

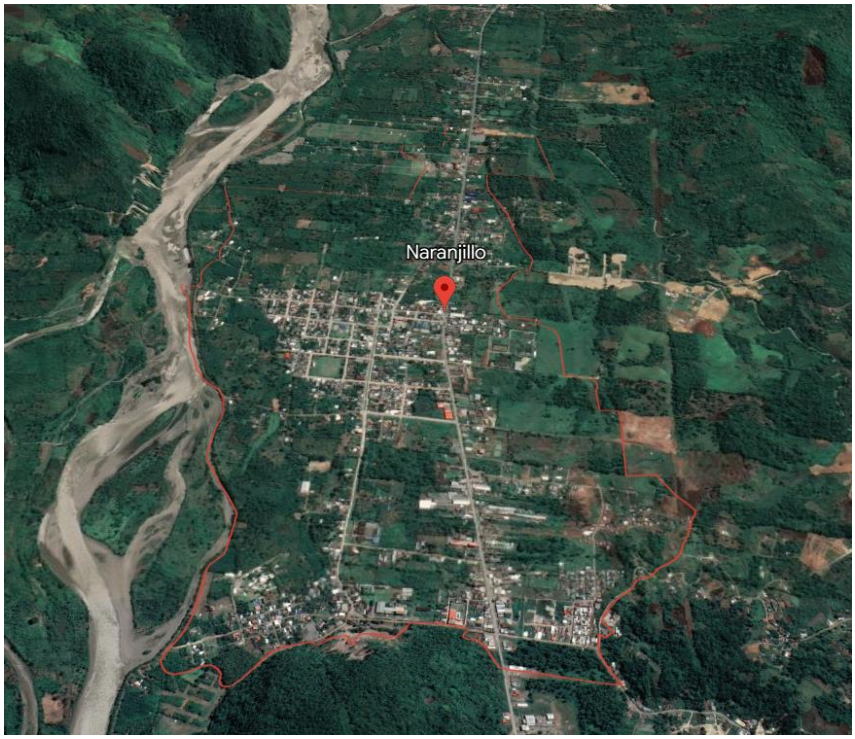

Figura 1. Imagen de localización del distrito de Padre Felipe Luyando – Naranjillo.
Fuente: Google Earth

3.2. Características del área en estudio

De acuerdo a la clasificación de zonas de vida y el diagrama bioclimático elaborada por Holdridge (1987), el distrito de Padre Felipe Luyando – Naranjillo se encuentra clasificado como formación vegetal de bosque muy húmedo Premontano Tropical (bmh-PT), y teniendo en consideración a las regiones naturales que fue propuesta por Pulgar (1987), dicho distrito se encuentra en el sector denominado como Selva Alta.

3.2.1. Sistema de uso de tierra con cultivo de *Theobroma cacao* L. (cacao)

Este sistema de uso contó con 8 años de instalación a partir de la siembra, que además cuenta con una densidad de siembra de 4m x 4m entre cada planta que es

aproximadamente 625 plantas por hectárea, cuenta con una extensión de 2 ha^{-1} y tiene 3% de pendiente.

3.2.2. Sistema de uso de tierra con cultivo de *Zea mays* (maíz)

El cultivo contó con 3 meses de instalación a partir de la siembra, el distanciamiento de siembra es de 70 cm entre surco que además cuenta de 4 a 5 semillas por voleo, tiene una extensión de 2 ha^{-1} y la pendiente es de 1%, cabe resaltar que esta área viene siendo utilizada desde hace 2 años sólo para el cultivo de maíz.

3.2.3. Sistema de uso de tierra con cultivo de *Musa paradisiaca* L. (plátano)

El sistema de uso contó con 4 meses de instalación, el distanciamiento de siembra es de 4m x 2m donde cada sitio establecido tuvo dos plantas que aproximadamente cuenta con 2500 planta por cada hectárea, cuenta con una extensión de 2 ha^{-1} con una pendiente de 2% y el cultivo se desarrolla mejor cuando se encuentra cerca a los ríos por lo que este cultivo se encuentra cercana al río Huallaga.

3.3. Material y equipos

3.3.1. Materiales

Estacas, cuadrante, machete, pala, wincha, rafia, bolsas, costal, marcador, cilindros, EPP's, vaso de precipitación, probetas y reactivos.

3.3.2. Equipos

Cámara fotográfica, GPS, balanza digital y estufa.

3.4. Criterios y análisis de estudio

3.4.1. Tipo y nivel de investigación

La investigación tiene un enfoque cuantitativo (Hernández et al., 2014), se llevó a cabo mediante el tipo aplicada con un nivel de investigación descriptiva, donde se inició con compilación de información bibliográfica existente y comprender – cuantificar el almacenamiento de carbono.

3.4.2. Diseño de investigación

La investigación comprendió con un diseño no experimental (Hernández et al., 2014) ya que estuvo orientado a la descripción y observación de comportamiento del almacenamiento de carbono en los sistemas de uso de la tierra.

3.5. Metodología

La investigación se realizó de forma descriptiva, debido a que se describe la cantidad de almacenamiento de carbono existente en los tres sistemas de uso de tierra donde se estableció parcelas muestrales tal como se detalla en la Figura 2.

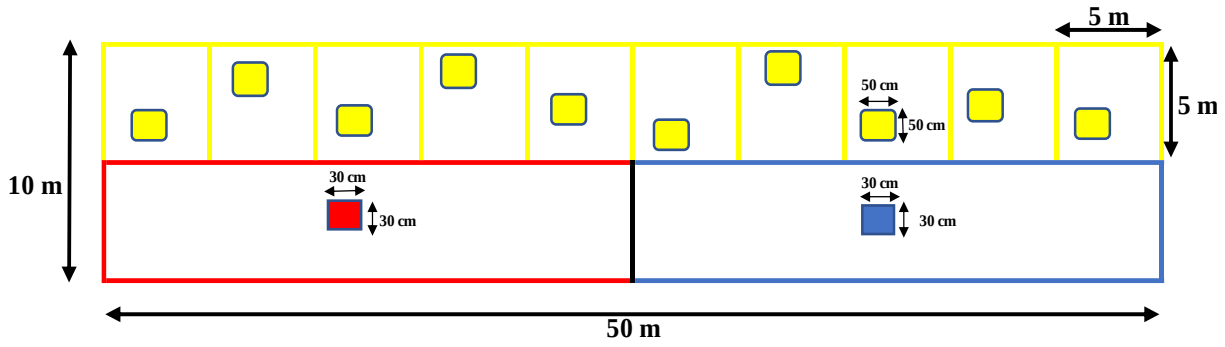

Figura 2. Esquema general de parcela muestral con medida de 500 m^2 para colección de muestras de raíces, hojarascas y suelo.

Donde:

Puntos de colecta de muestras de raíces

Puntos de colecta de muestras de hojarascas

Puntos de colecta de muestras de suelo

La parcela general muestral para la recolección de muestras de raíces, hojarascas y suelo tuvo una medida de 50 m x 10 m siendo en total 500 m^2 tal como se detalla en la Figura 2, seguidamente para colectar muestras de raíces se realizó una subparcela de 125 m^2 donde se tomó muestras a profundidades de 0 cm a 10 cm, 10 cm a 20 cm y de 20 cm a 30 cm con una totalidad de 36 muestras de raíces (Arévalo et al., 2003). Para colectar muestras de hojarascas se realizó una subparcela de 250 m^2 y estuvo dividido en 10 partes por igual (Macdicken, 1997) con una totalidad de 120 muestras de hojarascas, finalmente para la recolección de muestras de suelo y para determinar densidad aparente se realizó en la subparcela de 125 m^2 donde se tomó muestras a tres profundidades que son de 0-10 cm, de 10-20 cm y de 20-30 cm con una totalidad de 36 muestras de suelo y 36 muestras con cilindros metálicos con medidas de 5,6 cm de diámetro y 7,1 cm de altura para determinar densidad aparente; asimismo, cada SUT funcionó como tratamiento por lo que en tal sentido fueron tres tratamientos y en cada uno de ellos se estableció cuatro repeticiones.

Los sistemas de uso de tierra (SUT) con cultivos de *Theobroma cacao* L. (cacao), *Zea mays* (maíz) y *Musa paradisiaca* L. (plátano) cuenta cada uno con una extensión de 2 ha^{-1}, por lo que se estableció una parcela general muestral por cada 0.5 ha^{-1} por lo que en total fueron cuatro parcelas muestrales por cada SUT, siendo en total 12 parcelas muestrales en los tres SUT; asimismo, se realizaron delimitaciones muestrales conforme lo realizado por (Schlegel et al., 2001) con muestreos completamente al azar en la parcela muestral general con medidas de 50m x 10m, donde también hubo subparcelas para separar los muestreos de raíces, hojarasca y suelo.

3.5.1. Estimar el almacenamiento de carbono en raíces en cultivos de *Theobroma cacao* L. (cacao), *Zea mays* (maíz) y *Musa paradisiaca* L. (plátano)

- **Estratificación del área en estudio**

Se realizó el reconocimiento de acuerdo al mapa de ubicación del distrito de Padre Felipe Luyando – Naranjillo, con el propósito de estratificar e identificar puntos de parcelas muestrales.

- **Colecta de muestras de raíces**

Se empleó la metodología propuesta por (ICRAF, 2009), donde cada muestra colectada fue correctamente codificada y se llevó al laboratorio para el respectivo análisis.

Se realizó una calicata en la subparcela de 25 m x 5 m (125 m^2) con medidas de 30 cm x 30 cm x 30 cm para cada lado y las muestras fueron divididos en tres profundidades con rangos de 0-10 cm, 10-20 cm y 20-30 cm tal como se muestra en la figura 3 y 4, se colectó las muestras de cada profundidad y se depositaron en bolsas plásticas para ser llevadas al laboratorio de suelos, donde se colectó una totalidad de 36 muestras de raíces de todos los tratamientos debidamente codificadas.

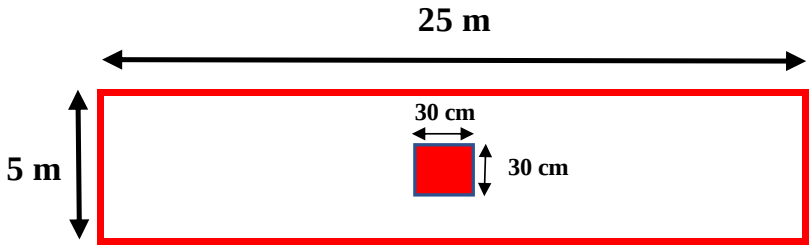

Figura 3. Subparcela para la colecta de muestras de raíces.

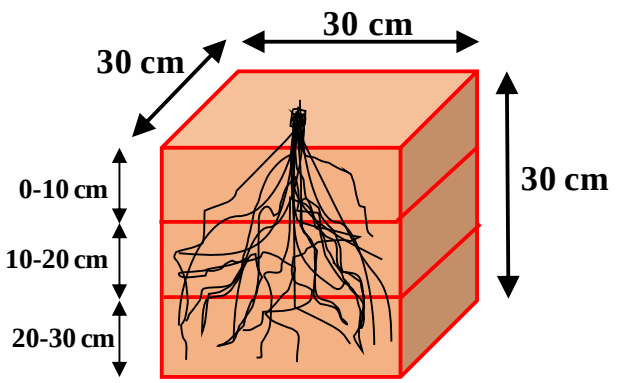

Figura 4. Colecta de muestras de raíces a tres profundidades.

– **Colecta de datos de raíces**

Las muestras de raíces que fueron colectadas a tres profundidades que son de 0-10 cm, 10-20 cm y 20-30 cm fueron cada una debidamente codificadas y lavadas mediante un tamiz de 1,5 mm donde los residuos de tierra puedan drenar quedando únicamente raíces, después se dejó secar al aire libre por 30 minutos aproximadamente y enseguida se pesó para obtener el peso fresco de cada muestra, a continuación, cada muestra se puso en bolsas de papel para ser llevadas a una estufa a 70 °C por un lapso de 48 horas (ICRAF, 2009), enseguida se retiró de la estufa y se dejó enfriar por un tiempo de 10 minutos, luego se llevó a pesar en una balanza digital para obtener el peso seco de la muestra de raíces para realizar los respectivos cálculos.

– **Estimación de almacenamiento de carbono en raíces**

En la estimación de carbono almacenado en raíces se utilizó las fórmulas propuestas por (ICRAF, 2009) e (IPCC, 2007).

$$\mathbf{CR = BR\ (t/ha^{-1}) \times 0.50} \qquad \ldots\ldots\ldots\

3.5.2. Estimar el almacenamiento de carbono en hojarascas en cultivos de *Theobroma cacao* L. (cacao), *Zea mays* (maíz) y *Musa paradisiaca* L. (plátano)

– **Estratificación del área en estudio**

Se realizó el reconocimiento de acuerdo al mapa de ubicación del distrito de Padre Felipe Luyando – Naranjillo, con el propósito de estratificar e identificar puntos de parcelas muestrales y enseguida se estableció la subparcela para la correcta extracción de muestras de hojarascas.

– **Colecta de muestras de hojarascas**

Se empleó la metodología propuesta por (ICRAF, 2009), donde cada muestra colectada fue correctamente codificada para ser llevado al laboratorio para el respectivo análisis.

Se colectó toda la hojarasca y fragmento orgánico que esté dentro de un cuadrante de madera con medidas de 0.5 m x 0.5 m ubicado en la subparcela de 50 m x 5 m tal como se muestra en la figura 5, el cuadrante de madera se estableció al azar en todas las subparcelas, en total se colectó diez muestras de hojarascas por cada parcela establecida, donde se colectó una totalidad de 120 muestras de hojarascas en todos los tratamientos establecidos y fueron debidamente codificadas.

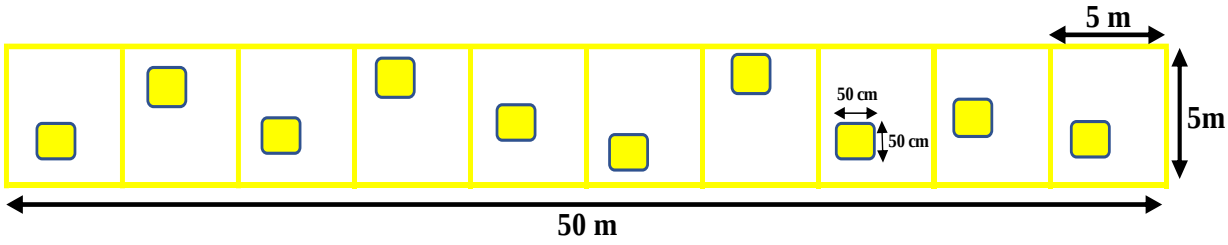

Figura 5. Subparcela para la colecta de muestras de hojarascas.

– **Colecta de datos de hojarascas**

Las muestras de hojarasca fueron pesadas con una balanza digital para obtener el peso fresco de cada muestra, en seguida se colocó en una bolsa de papel para ser colocada en

la estufa a 60 °C por un tiempo de 48 horas (ICRAF, 2009) y enseguida se pesó con la balanza digital y se obtuvo el peso seco de cada muestra.

– **Estimación de almacenamiento de carbono en hojarascas**

En la estimación de carbono almacenado en la hojarasca se utilizó las fórmulas propuestas por (ICRAF, 2009) e (IPCC, 2007).

CH = BH (t/ha^{-1}) x 0.50 ……...(2)

Donde:

CH : Carbono en hojarascas

BH : Biomasa de hojarascas (Diferencia de pesos de hojarascas)

0.50 : Valor propuesto por el IPCC

3.5.3. Estimar el almacenamiento de carbono en el suelo en cultivos de *Theobroma cacao* L. (cacao), *Zea mays* (maíz) y *Musa paradisiaca* L. (plátano)

– **Estratificación del área en estudio**

Se hizo el reconocimiento de acuerdo al mapa de ubicación del distrito de Padre Felipe Luyando – Naranjillo, con el propósito de estratificar e identificar puntos de parcelas muestrales y enseguida se estableció la subparcela con la calicata para la correcta extracción de muestras de suelo.

– **Colecta de muestras de suelo**

Se empleó la metodología propuesta por (ICRAF, 2009), donde cada muestra colectada fue correctamente codificada para ser llevado al laboratorio para el respectivo análisis.

Se realizó una calicata en la subparcela restante de 25 m x 5 m (125 m^2) con medidas de 30 cm x 30 cm x 30 cm para cada lado para la obtención de muestras de suelo y las muestras fueron divididos en tres profundidades con rangos de 0-10 cm, 10-20 cm y 20-30 cm tal como se muestra en la figura 6 y 7, enseguida se colectó las muestras de suelo de aproximadamente 500 gramos que se depositaron en bolsas plásticas y que cada muestra fue codificada para ser llevadas al laboratorio de conservación de suelos, donde se colectó una totalidad de 36 muestras de suelos, también se introdujo cilindros metálicos con medidas de 5,6

cm de diámetro y 7,1 cm de altura que se estableció en cada profundidad tal como se muestra en la figura 8, para la determinación de densidad aparente del suelo, siendo en total 36 muestras de cilindros metálicos con suelo para determinar densidad aparente del suelo que fueron debidamente codificadas.

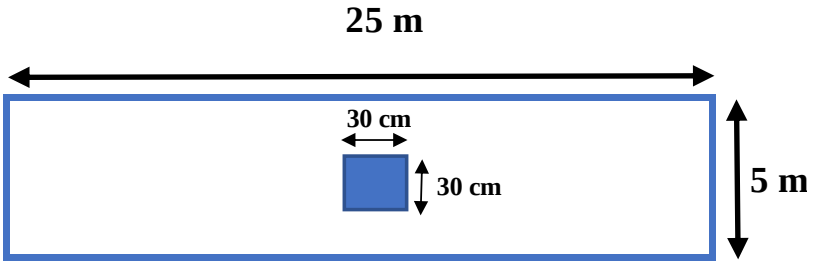

Figura 6. Subparcela para la colecta de muestras de suelo.

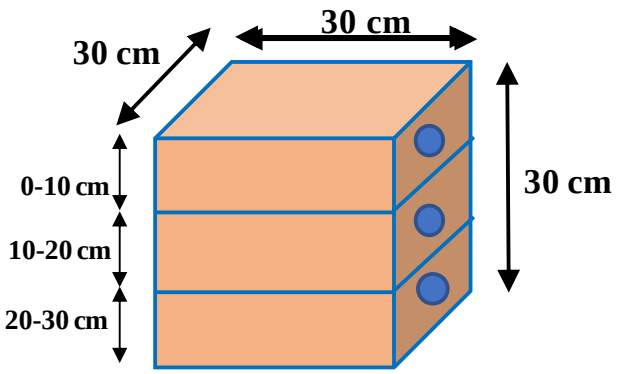

Figura 7. Colecta de muestras de suelo y para determinar densidad aparente a tres profundidades.

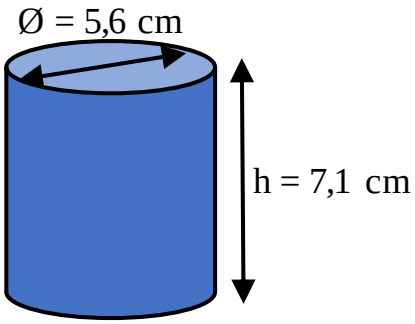

Figura 8. Dimensiones del cilindro metálico para determinar densidad aparente del suelo.

– **Colecta de datos de suelo**

Cada muestra de suelo fue secada al aire libre en sombra por un lapso de 3 días, enseguida fueron tamizadas y pasadas pon un tamiz de 2 mm y luego se realizó análisis de porcentaje de materia orgánica (Walkley y Black, 1934).

– **Estimación de almacenamiento de carbono en el suelo**

En la estimación de carbono almacenado en el suelo se utilizó las siguientes fórmulas propuestas por (ICRAF, 2009) y (Walkley y Black, 1934).

CS = %C x Da x Ps ……...(3)

Donde:

CS : Carbono en el suelo (t/ha^{-1})

%C : 0.58 x % Materia Orgánica

Da : Densidad aparente (g/cm^3)

Ps : Profundidad del suelo (cm)

3.6. Análisis estadístico

Con la finalidad de estimar carbono en las raíces, la hojarasca y el suelo de los sistemas de uso del suelo (SUS) se utilizó como estadísticos a la media del valor y el error estándar de la media con el cual se estimó el intervalo de la media poblacional mediante la expresión:

Media poblacional = Media muestral±1.96*error estándar de la media

Además, con la finalidad de poder realizar la comparación de los grupos muestreados o sistemas de usos de los suelos (tratamientos) y por tratarse a un grupo mayor a dos por comparar se utilizó como herramienta estadística a análisis de la varianza (ANVA o ANOVA).

Los datos fueron sometidos a la prueba DGC (α = 0,05) (Calzada, 1982); asimismo, para el procesamiento de dichos datos se utilizó el programa SPSS versión 25.

Los datos fueron sometidos a la prueba DGC (α = 0,05) (Calzada, 1982); asimismo, para el procesamiento de dichos datos se utilizó el programa SPSS versión 25.

Tabla 1. Esquema de análisis de varianza

Fuente de variación	GL	SC	CM	F Cal.	P valor
Tratamientos	t-1	SC_{trat}	$SC_{trat}/gl_{trat} = CM_{trat}$	CM_{trat}/CM_{ee}	
Error	(t)*(b-1)	SC_{ee}	$SC_{ee}/gl_{ee} = CM_{ee}$		
Total	(t*b) - 1	SC_{total}			

t: tratamientos., b: repetición

3.7. Población y muestra

3.7.1. Población

La población estuvo constituida por los sistemas de uso de tierra (SUT).

3.7.2. Muestra

La muestra lo conformaron 36 muestras de raíces, 120 muestras de hojarascas, 36 muestras de suelos y 36 muestras para determinar densidad aparente.

3.8. Variables

a) Independiente

Los sistemas de uso de tierra con plantaciones de *Theobroma cacao* L. (cacao), *Zea mays* (maíz) y *Musa paradisiaca* L. (plátano).

b) Dependiente

Almacenamiento de carbono en raíces, hojarascas y suelos.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Estimar el almacenamiento de carbono en raíces en cultivos de *Theobroma cacao* L. (cacao), *Zea mays* (maíz) y *Musa paradisiaca* L. (plátano)

Como se visualiza a continuación (Tabla 2) el coeficiente de variación es superior en el cultivo de *Musa paradisiaca* (plátano) con un valor porcentual de 42,70, en tal sentido los sistemas de uso de tierra (SUT) con cultivo de *Zea mays* (maíz) y *Theobroma cacao* (cacao) presentaron un coeficiente de variación porcentual de 38,89 y 33,13 respectivamente; en tal sentido los valores porcentuales mencionados no presentan homogeneidad.

Tabla 2. Descriptivos de almacenamiento de carbono en raíces en cultivos de *T. cacao*, *Z. mays* y *M. paradisiaca*

Sistemas de uso de tierra	N	Media (tC/ha)	DE	EE	Mínimo	Máximo	CV (%)
Cacao	4	6,95	2,30	1,15	5,16	10,30	33,13
Maíz	4	0,64	0,25	0,13	0,38	0,95	38,89
Plátano	4	0,61	0,26	0,13	0,43	0,99	42,70

N: Repeticiones; DE: desviación estándar; EE: Error estándar; CV: Coeficiente de variación.

Tal como se puede contemplar en el análisis de varianza (Tabla 3) con la variable de almacenamiento de carbono en raíces de los tres SUT, se evidencia que la diferencia estadística arroja un valor de altamente significativo, esto indica que dichos valores son estadísticamente desemejantes a nivel de carbono radicular.

Tabla 3. ANVA de almacenamiento de carbono en raíces en cultivos de *T. cacao*, *Z. mays* y *M. paradisiaca*

Fuentes de variación	SC	gl	CM	F	Sig.
Sistemas de uso del suelo	106,672	2	53,336	29,454	<0,001**
Error aleatorio	16,297	9	1,811		
Total	**122,969**	**11**			

CV: 49,22%. **: Alta significancia estadística.

A luz de lo anterior, con los resultados obtenidos de almacenamiento de carbono en raíces en cultivos de *T. cacao*, *Z. mays* y *M. paradisiaca* conforme a la prueba estadística de Duncan (α=0,05), tal como se puede observar a continuación (Tabla 4) existen dos agrupaciones sub homogéneas, donde cada grupo refleja la similitud por cada tratamiento señalado, siendo el tratamiento con cultivo de *T. cacao* con el más alto valor (6,95 tn/ha) a comparación del resto de tratamientos.

Tabla 4. Prueba de Duncan (α=0,05) para el almacenamiento de carbono en raíces en cultivos de *T. cacao*, *Z. mays* y *M. paradisiaca*

Sistema de uso del suelo	N	Media (tC/ha)	Significancia
Plátano	4	0,61	b
Maíz	4	0,64	b
Cacao	4	6,95	a

Letras diferentes demuestran significancia estadística.

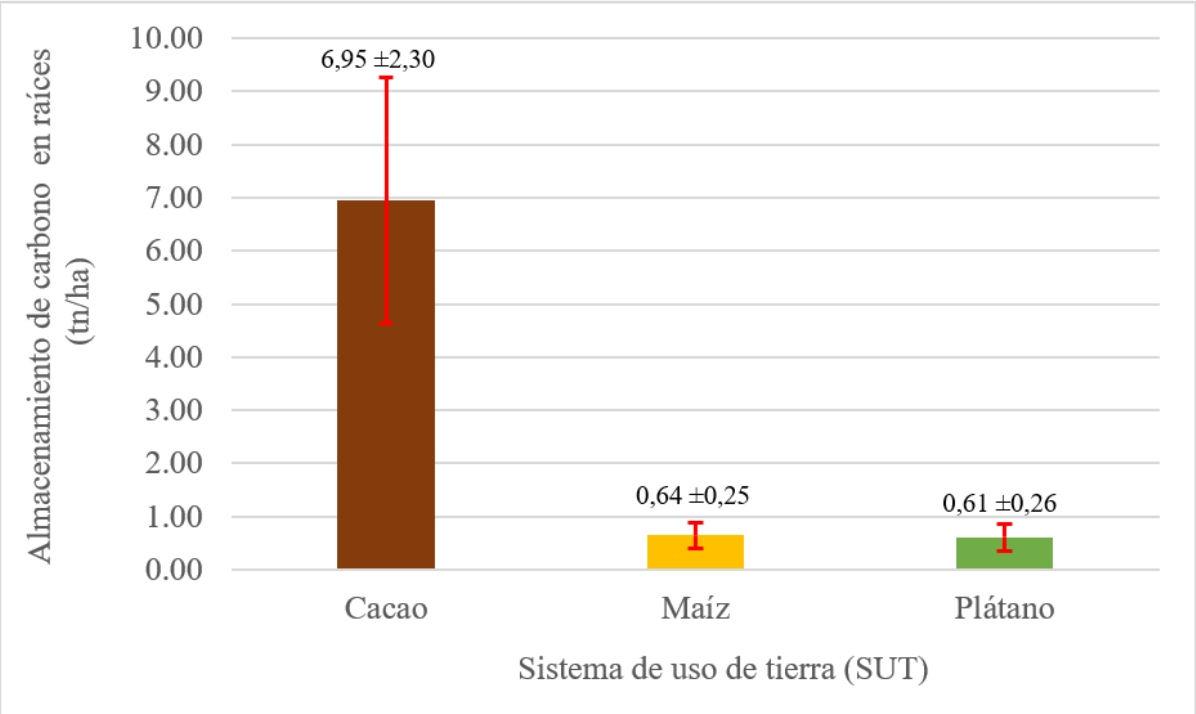

Figura 9. Comparación de media de almacenamiento de carbono en raíces en los sistemas de uso de tierra.

En la Figura 9 se puede observar los valores de almacenamiento de carbono en raíces en los SUT con cultivo de *T. cacao*, *Z. mays* y *M. paradisiaca*, donde el cultivo de *T. cacao* es en sobremanera superior a los demás SUT con un valor de 6,95 tn/ha en la media,

puesto que este cultivo presenta cuantioso sistema radicular en los primeros centímetros del suelo; por otra parte, se puede apreciar que los SUT con cultivo de *Z. mays* y *M. paradisiaca* presentan una media que es muy inferior, obteniendo valores de 0,64 tn/ha y 0,61 tn/ha respectivamente, donde cabe resaltar que estos dos últimos cultivos no generan tantas raíces y es por ello que reflejan dichos valores obtenidos.

La cantidad de raíces finas se ve asociada según la profundidad del suelo, esto quiere decir que a menor profundidad existirá mayor volumen de raíces finas, además se obtuvo como resultante que a mayor profundidad del suelo la densidad aparente aumenta, sin embargo, el volumen de raíces disminuye; en tal sentido el cultivo de *T. cacao* cuenta con un sistema radicular que se desarrolla cercana a la superficie del suelo. En relación con eso, Gómez et al. (2021) menciona que la densidad aparente del suelo aumenta según su profundidad de la misma, además dichos factores se relacionan inversamente proporcional tanto en la biomasa radicular y el almacenamiento de carbono orgánico, dicho esto, varía conforme a los caracteres de las especies vegetales como son la frondosidad del árbol, edad, densidad, además de la altura de la especie.

4.2. Estimar el almacenamiento de carbono en hojarasca en cultivos de *Theobroma cacao* L. (cacao), *Zea mays* (maíz) y *Musa paradisiaca* L. (plátano)

A continuación, se visualiza (Tabla 5) el coeficiente de variación es superior en el cultivo de *T. cacao* con un valor porcentual de 81,45, en ese marco los sistemas de uso de tierra (SUT) con cultivo de *Zea mays* (maíz) y *M. paradisiaca* (plátano) presentaron un coeficiente de variación porcentual de 71,77 y 27,05 respectivamente; en tal sentido los valores porcentuales mencionados no presentan homogeneidad en los resultados.

Tabla 5. Descriptivos de almacenamiento de carbono en hojarasca en cultivos de *T. cacao*, *Z. mays* y *M. paradisiaca*

Sistemas de uso del suelo	N	Media (tC/ha)	DE	EE	Mínimo	Máximo	CV (%)
Cacao	4	11,90	9,69	4,85	3,64	25,90	81,45
Maíz	4	3,75	2,69	1,35	1,77	7,72	71,77
Plátano	4	8,61	2,33	1,16	5,62	11,23	27,05

N: Repeticiones; DE: desviación estándar; EE: Error estándar; CV: Coeficiente de variación.

Tal como se puede contemplar en el análisis de varianza (Tabla 6) con la variable de almacenamiento de carbono en hojarasca de los tres sistemas de uso de tierra con cultivo de *T. cacao* (cacao), *Z. mays* (maíz) y *M. paradisiaca* (plátano), se evidencia que en los resultados que no existe diferencia estadística significativa en cada cultivo estudiado, puesto que esto indica que dichos valores obtenidos son estadísticamente semejantes a nivel de carbono en la hojarasca.

Tabla 6. ANVA de almacenamiento de carbono en hojarasca en cultivos de *T. cacao*, *Z. mays* y *M. paradisiaca*

Fuentes de variación	SC	gl	CM	F	Sig.
Sistemas de uso del suelo	134,535	2	67,268	1,893	0,206ns
Error aleatorio	319,804	9	35,534		
Total	**454,339**	**11**			

CV: 73,72%. ns: Ausencia de significancia estadística.

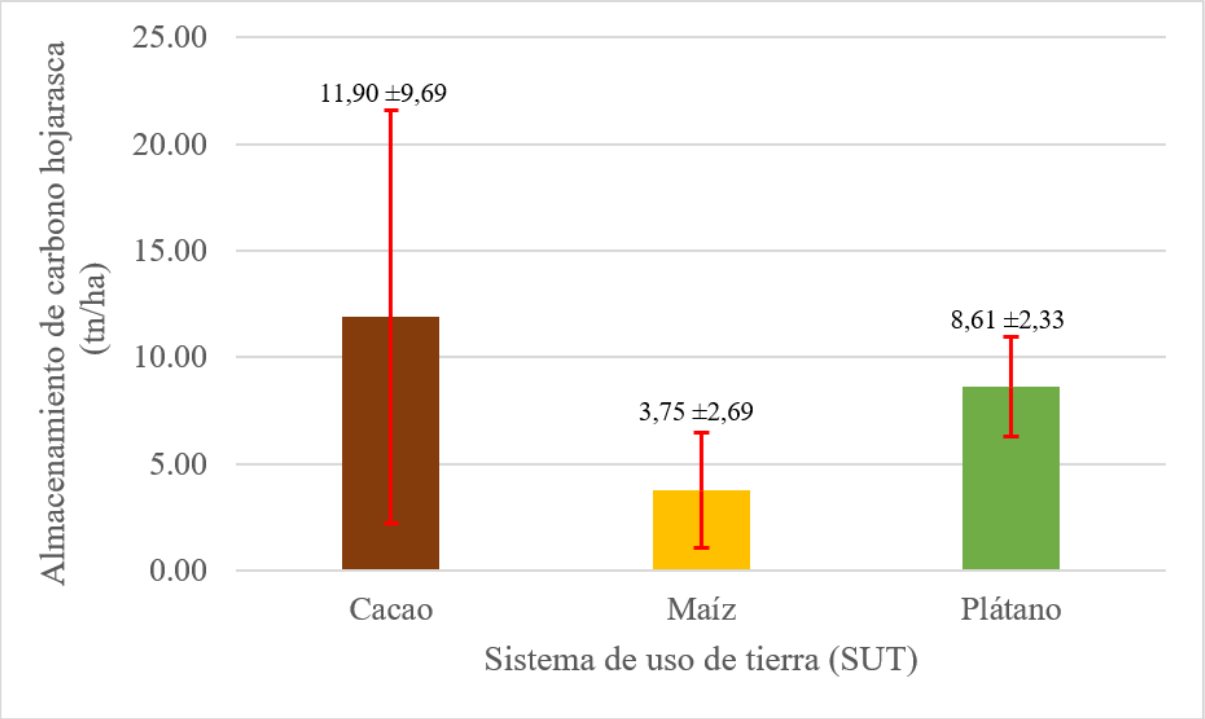

Figura 10. Comparación de media de almacenamiento de carbono en hojarasca en los sistemas de uso de tierra.

En la Figura 10 se puede observar los valores de almacenamiento de carbono en hojarasca en los sistemas de uso de tierra (SUT) con cultivo de *T. cacao* (cacao), *Z. mays* (maíz) y *M. paradisiaca* (plátano), donde los valores muestran que el cultivo de *T. cacao* es superior en promedio a comparación del resto de los SUT presentes en el estudio, donde el mencionado cultivo presentó un valor de 11,90 tn/ha en la media con una desviación estándar de ±9,69, todo lo mencionado es debido a que este cultivo presenta gran cantidad de hojas por cada especie, además de que la copa de dicha especie es frondosa que almacena gran cantidad de hojas, a comparación de los demás cultivos estudiados que fisiológicamente cuentan con escasez en el desarrollo de hojas y por ende al momento de que dichas hojas se desprenden hacia el suelo son muy escasos por lo que al momento de extraer el volumen de la biomasa de la hojarasca es bajo, por otra parte, se puede apreciar que el SUT con cultivo de *M. paradisiaca* presenta una media de 8,61 tn/ha puesto que este cultivo teniendo las hojas de gran tamaño la producción de la misma es escasa, por otro lado, el SUT con cultivo de *Z. mays* presenta una media que es muy inferior, obteniendo un valor de 3,75 tn/ha, siendo éste último cultivo con un resultado muy bajo, debido a la escasez de las hojas que presenta.

La proporción de la hojarasca se relaciona según el tipo de copa de árbol de cultivo por cada SUT, con base a ello, las especies vegetativas de diferentes tipos cuentan con una fisiología de tipo y cantidad de hojas que además se torna con referencia el factor edáfico y clima, con relación a ello, el SUT con cultivo de *T. cacao* presentan las hojas de considerable tamaño, además dicha especie genera cuantiosa cantidad de hojas debido a que la copa de árbol es considerablemente grande con relación a los demás cultivos estudiados. Con relación a lo anterior, los estudios realizados por Chuquizuta el al. (2016) mostraron resultados inferiores con relación al almacenamiento de carbono en hojarasca, esto debido a que el factor clima tiene influencia sobre el cultivo, además mencionan que los climas templados pueden almacenar mayor carbono ya que se debe a que en estas condiciones la descomposición de las mismas se torna más tardíos. Por otro, Poveda et al. (2013) muestran resultados muy inferiores de carbono almacenado en hojarasca bajo un sistema agroforestal con cultivo de *T. cacao*, obteniendo un valor promedio de 0,3 tn/ha, donde indican que es el segundo con mayor reservorio de almacenamiento de carbono.

4.3. Estimar el almacenamiento de carbono en el suelo en cultivos de *Theobroma cacao* L. (cacao), *Zea mays* (maíz) y *Musa paradisiaca* L. (plátano)

A continuación, se puede visualizar (Tabla 7) que el coeficiente de variación es ampliamente superior en el sistemas de uso de tierra (SUT) con cultivo de *M. paradisiaca*

(plátano) con un valor porcentual de 54,93; en ese marco, los SUT con cultivo de *Zea mays* (maíz) y *T. cacao* (cacao) presentaron un coeficiente de variación porcentual muy inferiores con relación al anterior cultivo mencionado, obteniendo porcentajes de 16,17 y 13,37 respectivamente; en tal sentido, los valores porcentuales mencionados no presentan homogeneidad en los resultados.

Tabla 7. Descriptivos de almacenamiento de carbono en el suelo en cultivos de *T. cacao*, *Z. mays* y *M. paradisiaca*

Sistemas de uso del suelo	N	Media (tC/ha)	DE	EE	Mínimo	Máximo	CV (%)
Cacao	4	32,64	4,36	2,18	26,97	37,61	13,37
Maíz	4	21,58	3,49	1,74	17,09	25,52	16,17
Plátano	4	20,38	11,20	5,60	8,19	32,25	54,93

N: Repeticiones; DE: desviación estándar; EE: Error estándar; CV: Coeficiente de variación.

Tal como se puede contemplar en el análisis de varianza (Tabla 8) con respecto a la variable de almacenamiento de carbono en el suelo de los tres sistemas de uso de tierra con cultivo de *T. cacao* (cacao), *Z. mays* (maíz) y *M. paradisiaca* (plátano), donde se evidencia que en los resultados que no existe diferencia estadística significativa en cada cultivo estudiado, a un nivel de significancia de p valor 0,075 > 0,05 puesto que este resultado es un indicador que dichos valores obtenidos son estadísticamente semejantes a nivel de almacenamiento de carbono en el suelo.

Tabla 8. ANVA de almacenamiento de carbono en el suelo en cultivos de *T. cacao*, *Z. mays* y *M. paradisiaca*

Fuentes de variación	SC	gl	CM	F	Sig.
Sistemas de uso del suelo	365,337	2	182,668	3,499	0,075ns
Error aleatorio	469,805	9	52,201		
Total	835,142	11			

CV: 29,05%. ns: Ausencia de significancia estadística.

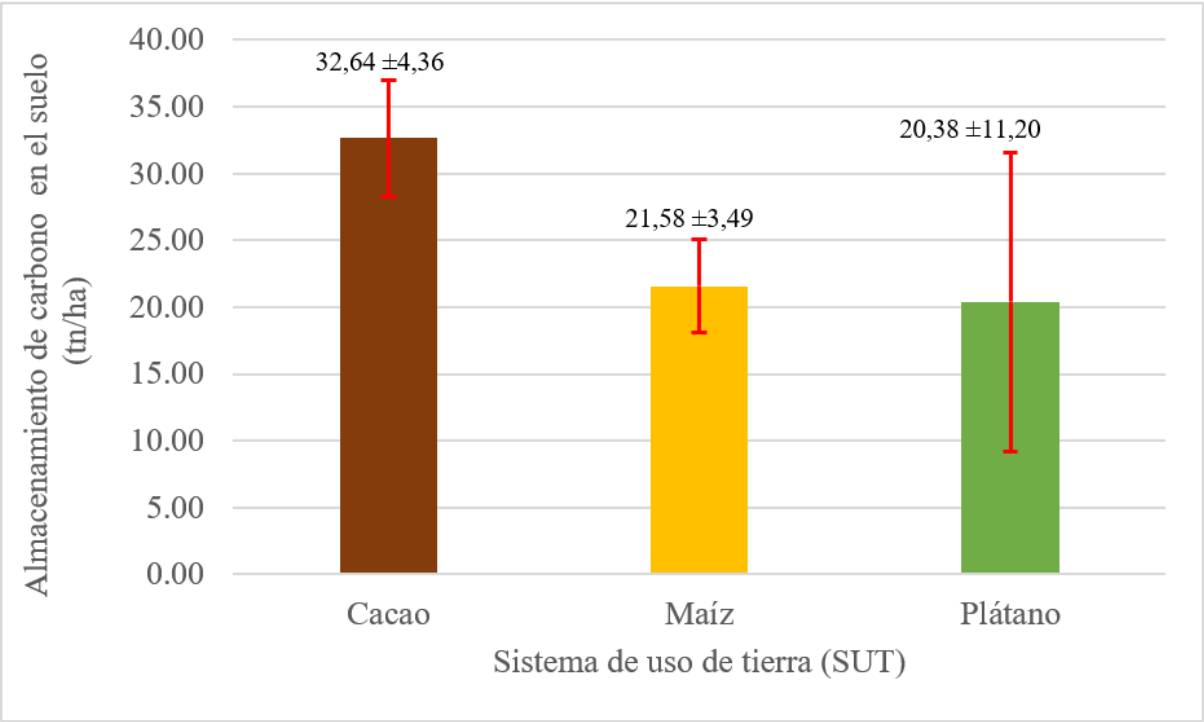

Figura 11. Comparación de media de almacenamiento de carbono en el suelo en los sistemas de uso.

En la Figura 11 se puede observar los valores de almacenamiento de carbono en el suelo en los sistemas de uso de tierra (SUT) con cultivo de *T. cacao* (cacao), *Z. mays* (maíz) y *M. paradisiaca* (plátano), donde los valores muestran que el cultivo de *T. cacao* es superior en promedio a comparación del resto de cultivos, donde dicho cultivo presentó un valor de 32,64 tn/ha en la media y con una desviación estándar de ±4,36, todo lo mencionado es debido a que este cultivo presentó el contenido de materia orgánica con un valor alto en comparación del los demás cultivos, por otro lado, el SUT con plantaciones de *Z. mays* y *M. paradisiaca* tuvieron promedios similares con un total de 21,58 tn/ha y 20,38 tn/ha respectivamente.

El porcentaje de material orgánico presente en los suelos es primordial para el almacenamiento de carbono orgánico de dicho recurso, donde el cultivo de *T. cacao* tuvo los valores más altos de porcentaje de materia orgánico en cada rango de profundidad de suelo, esto se debe a que dicho cultivo por ser de un regular tamaño generan gran cantidad de hojas y tanto las ramas y el tallo son de tamaño regular, por lo que con cierta tiempo tanto las hojas, las ramas y al momento de las cosechas la cascara de los frutos se desprenden hacia el suelo y éstos se descomponen generando materia orgánica. Resultados similares encontró por Unda (2021) en cultivos de *T. cacao* de etapa madura, donde resalta que tanto la materia orgánica y la topografía del terreno son un factor primordial para la captura de carbono orgánico.

V. CONCLUSIONES

1. Existe diferencia altamente significativa en el almacenamiento de carbono en raíces en los tres sistemas de uso con cultivo de *T. cacao* (cacao), *Z. mays* (maíz) y *M. paradisiaca* (plátano); donde el cultivo de *T. cacao* superó significativamente en promedio de carbono radicular; cabe señalar que la raíz principal de este cultivo crece hasta 2 metros de profundidad, sin embargo, las raíces secundarias se desarrollan en los primeros 30 centímetros del suelo donde se evidencia en los resultados; por otro lado, todo lo contrario sucede con el resto de cultivos ya que a nivel fisiológico presentan limitado crecimiento radicular.

2. En el almacenamiento de carbono en hojarasca no existe diferencia estadística significativa; sin embargo, el sistema de uso con cultivo de *T. cacao* registró el valor más alto en promedio, seguido del sistema de uso con cultivo de *M. paradisiaca*, puesto que ambos sistemas de uso cuentan con hojas con grandes dimensiones que ayuda a almacenar grandes cantidades de carbono orgánico.

3. Se registró que en el almacenamiento de carbono en el suelo de tres sistemas de uso no existe diferencia estadística significativa; esto quiere decir que los resultados de dichos valores son semejantes; por otro lado, cabe señalar que en promedio el sistema de uso con cultivo de *T. cacao* superó al resto de sistemas de uso estudiados, además el sistema de uso con cultivo de *Z. mays* y *M. paradisiaca* tuvieron resultados parecidos en promedio. Todo ello refleja que el porcentaje de la materia orgánica es importante en la captura de carbono en el suelo.

VI. PROPUESTAS A FUTURO

1. Ampliar el análisis y enfoque de la investigación a escala provincial y regional, con el propósito de construir investigaciones a lo largo del tiempo que permita comprender el dinamismo del carbono orgánico que se almacena con el paso del tiempo, con la finalidad de trazar una metodología adecuada para el manejo, conservación y mejoramiento en la captura de carbono.

2. Realizar estudios con mayor detalle donde sean incluidos todos los sistemas de uso de tierra que existen dentro del distrito, con el propósito de obtener información con mayor detalle referente a la capacidad de almacenamiento de carbono orgánico que cuentan los SUT y por ende el distrito.

3. Implementar la investigación añadiendo la variable de carbono aéreo de los sistemas de uso existentes en el distrito, con el propósito de obtener información precisa sobre el carbono global almacenado, además de implementar una base para el monitoreo de cultivos temporales, cíclicos y perennes.

VII. REFERENCIAS

Alvarado, J.; López, D, E; Medina B. (1999). Cuantificación estimada del dióxido de carbono fijado por el agroecosistema café en Guatemala. Boletín PROMECAFE, 81 (enero-abril). P. 7-14.

Andrade-Castañeda, H. J., Segura-Madrigal, M. A., & Rojas-Patiño, A. S. (2016). Carbono orgánico del suelo en bosques riparios, arrozales y pasturas en Piedras, Tolima, Colombia. *Agronomía Mesoamericana*, *27*(2), 233-241.

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.

Baccini A., Goetz S., Laporte N., Walker, W., (2012). Estimated carbon dioxide emissions from tropical deforestation by carbon density maps. Revista Nature climate change.

Barbarán, J. (2001). Cuantificación de biomasa y carbono en los principales sistemas de uso del suelo en Campo Verde. Pucallpa, Perú. Tesis lng. Agrónomo. Universidad Nacional de Ucayali. 66p.

Botero, J. (2001). Contribución de los sistemas ganaderos tropicales al secuestro de carbono. Taller Agroforestería para la producción animal en América Latina, FAO. Roma, Italia. p. 6-9.

Callo, D. (2000). Cuantificación del carbono secuestrado por algunos SAF's y testigos, en tres pisos ecológicos de la Amazonia del Perú. Chapingo, México. Tesis Msc. Maestría en Agroforestería para el desarrollo sostenible. Universidad Autónoma Chapingo. 72p.

Calzada, B.J. (1982). Métodos estadísticos para la investigación. Lima, Perú. 644 p.

Chuquizuta, P. D., Ruiz, G. F., Salas, C. T., & López, L. A. (2016). Carbono almacenado en cinco sistemas de uso de tierra, en la región San Martín Perú. *Rinderesu*, *1*(2), 57-67.

Cielsa, W. M. (1996). Cambio climático, bosques y ordenación forestal. Una visión de conjunto. Estudio FAO Montes No 126. 147 p.

De La Vega, Jorge. (2007). Calentamiento Global – Captura de Carbono. México.

Enriquez Lope, L. M. (2018). Determinación de captura de carbono en suelos de un sistema agroforestal con café (Coffea arábica) en el Valle Esquilaya-Región Puno, 2018.

Fernandez, Luis. (2010). Valoración Económica de una Plantación de Aguaje (mauritia flexuosa Lt.) Establecida en un Bosque Secundario. Tingo María, Perú

Food and Agriculture Organization of the United Nations – 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.

Galicia, L., Gamboa Cáceres, A. M., Cram, S., Chávez Vergara, B., Peña Ramírez, V., Saynes, V., & Siebe, C. (2016). Almacén y dinámica del carbono orgánico del suelo en bosques templados de México. *Terra Latinoamericana*, *34*(1), 1-29.

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).

Hernández, R; Fernández, C; Baptista, P. (2014). Metodología de la investigación. 6 ed. México, McGraw-Hill. 600 p.

Hernández-Núñez, H. E., Andrade, H. J., Suárez-Salazar, J. C., Gutiérrez-García, G. A., Trujillo-Trujillo, E., & Casanoves, F. (2021). Almacenamiento de carbono en sistemas agroforestales en los Llanos Orientales de Colombia. *Revista de Biología Tropical*, *69*(1), 352-368.

Hidalgo, Prudencio. (2006). Determinación de las reservas totales de carbono en plantaciones forestales de “eucalyptus globulus L”. En marcará – Carhuaz, 2003. Perú. 39 pág.

Holdridge, R. (1987). Ecología basada en zonas de vida. 3 ed. San José, Costa Rica, Servicio editorial IICA. 216 p.

Houghton, R. (2007). Balancing the global carbon budget. Annual review of earth and planetary sciences. Saint Luis. 35(1):313-347.

Huamaní Quispe, L. J. (2016). Almacenamiento de Carbono del Ichu Stipa Ichu en las Praderas Naturales Altoandinas de Lucanas, Puquio–Ayacucho. 2016.

ICRAFF – Centro mundial agroforestal (2009). Guía para la determinación de carbono en pequeñas propiedades rurales. Lima, Perú. 79 p.

IPCC. (2007) Panel Intergubernamental sobre cambio climático. Cambio climático. 30may2010: http://www.ipcc.ch/pdf/ assessment-report/ar4/syr/ar4_syr_sp.pdf.

Ismiño, M.; Chappa S.M., C.E. (2006.) “Estimación del Carbono en la Biomasa Aérea del Café bajo sombra de guaba en la Provincia de Lamas - Perú” Para optar el Título de Ingeniero Agrónomo, UNSM – T Pág. 17.

Kanninen, M. (2001). Secuestro de Carbono en bosques, su papel en el ciclo global. Taller Agroforestería para la producción animal en América Latina, FAO. Roma, Italia. p. 25-28.

Kasting, J. y Walker, J. (1992). The geochemical carbon cycle and the uptake of fossil fuel CO2. Department of Geosciences, Penn State University, University Park. p. 2-4.

López, A. (1998). Aporte de los sistemas silvopastoriles al secuestro de carbono en el suelo. Tesis Mag. Sc. CATIE, Turrialba, Costa Rica. 50 p.

López, W. (1994). “Sistemas Agrarios de producción” Tarapoto – Perú. 113 p.

Macdicken, K. (1997). A guide to Monitoring Carbón Storage in Forestry and Agroforestry Projects.Arlington, VA: Winrock International Institute for Agricultural Development. 43 p.

Maisonnave, R. (1997). El Efecto Invernadero y el Clima. Conferencia realizada para la Academia Nacional de Ingeniería el día 28 de octubre de 1997 en el Salón de Actos del Ministerio de Educación y Cultura. Perú. 30 pág.

Mendez, E. (2001). Ecuaciones de biomasa para especies de matorral espinoso tamaulipeco del nordeste de México. Datos con aplicaciones para inventarios de biomasa. México. 74 pág.

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.

Odar Rojas, B. A. (2018). Evaluación de almacenamiento de carbono en sistemas agroforestales de café (Coffea spp.) En el anexo de Vilaya, distrito de Colcamar, provincia de Luya, Amazonas, 2017-2018.

Poveda, V., Orozco, L., Medina, C., Cerda, R., & López, A. (2013). Almacenamiento de carbono en sistemas agroforestales de cacao en Waslala, Nicaragua. *Agroforestería en las Américas*, (49).

Pulgar, J. (1987). Geografía del Perú. Lima, Perú. 26 p.

Ramírez, O; Rodríguez, L; Finegan, B; Gómez, M. (1999). Implicaciones económicas del secuestro de CO_2 en los bosques naturales. Revista Forestal Centroamericana. "279: 10-16".

Rügnitz, M.; Chacón, M.; Porro, R. (2009). Guía para la determinación de carbono en pequeñas propiedades rurales. Center for International Forestry Research (CIFOR). 1ra. ed. Bogor Barat, Indonesia. 92 p.

Schlegel, B, Gayoso, J. Guerra, J. (2001). Manual de procedimientos para inventarios de carbono en ecosistemas forestales. Valdivia, chile. 17 p.

Siegenthaler, F.; Stocker, E.; Tonnin, D.; Luthi, J.; Scwander, B.; Stauffer, D. (2005). Stable carbon cycle–climate relationship during the late pleistocene. Sciencie, Boston. 353(5752):1313-1314.

UICN. (2001) "Aporte a la Estrategia Nacional sobre Diversidad Biológica". Comité Peruano de la Unión Mundial para la Conservación. Lima, Perú.

UNEP y GEMS. (1992). Los gases que producen el efecto de invernadero, cambio climático global. Sánchez – Vélez A. Y. Gerón D., Traductores. Universidad Autónoma de Chapingo, Chapingo, México. 41 p.

Unda, S. B. (2021). El Efecto de diversos atributos topográficos sobre el carbono orgánico en varios usos del suelo. *Revista Ciencia UNEMI*, *14*(35), 43-53.

Verhulst, N., Francois, I., Govaerts, B. (2004). Agricultura de conservación y captura de carbono en el suelo. Centro internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT). México D.F, México. p. 8-9.

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.

ANEXO

Anexo 1. Instrumento de recopilación información

Parcela 1: Cultivo de cacao (*Theobroma cacao*) – Repetición N° 1

Coordenadas: N: 8978533 E: 390125

Altitud: 640 msnm

Extensión de cultivo: 2 ha

Tabla 9. Carbono almacenado en raíces de cultivo de cacao

Profundidad (cm)	Raíces peso fresco (g)	Raíces peso seco (g)	Biomasa (t/ha)	Carbono en raíces (t/ha)
0 – 10	96,51	25,27	4,212	2,106
10 - 20	61,73	20,14	3,357	1,678
20 - 30	40,84	16,45	2,742	1,371
Total	199,08	61,86	10,310	5,155

Tabla 10. Carbono almacenado en hojarasca de cultivo de cacao

N° cuadrante	Hojarasca peso húmedo (g)	Hojarasca peso seco (g)	Biomasa (t/ha)	Carbono en hojarasca (t/ha)
1	250,10	131,73	5,269	2,635
2	144,53	69,79	2,792	1,396
3	222,99	121,82	4,873	2,436
4	379,95	200,81	8,032	4,016
5	201,38	118,49	4,740	2,370
6	125,50	65,67	2,627	1,313
7	197,35	121,70	4,868	2,434
8	363,00	222,90	8,916	4,458
9	234,30	107,47	4,299	2,149
10	279,10	134,40	5,376	2,688
Total	2398,20	1294,78	51,791	25,896

Tabla 11. Carbono almacenado del suelo de cultivo de cacao

Profundidad (cm)	Densidad aparente (g/cc)	%Carbono	Carbono del Suelo (t/ha)
0 – 10	1,23	1,110	13,653
10 – 20	1,27	0,740	9,398
20 - 30	1,35	0,290	3,915
Total	3,85	2,140	26,966

Parcela 2: Cultivo de cacao (*Theobroma cacao*) – Repetición N° 2

Coordenadas: N: 8978512 E: 390123

Altitud: 640 msnm

Extensión de cultivo: 2 ha

Tabla 12. Carbono almacenado en raíces de cultivo de cacao

Profundidad (cm)	Raíces peso fresco (g)	Raíces peso seco (g)	Biomasa (t/ha)	Carbono en raíces (t/ha)
0 - 10	150,45	80,18	13,363	6,682
10 - 20	95,31	23,44	3,907	1,953
20 - 30	59,24	19,96	3,327	1,663
Total	305,00	123,58	20,597	10,298

Tabla 13. Carbono almacenado en hojarasca de cultivo de cacao

N° cuadrante	Hojarasca peso húmedo (g)	Hojarasca peso seco (g)	Biomasa (t/ha)	Carbono en hojarasca (t/ha)
1	17,36	14,38	0,575	0,288
2	19,10	16,72	0,669	0,334
3	26,55	20,59	0,824	0,412
4	23,20	19,89	0,796	0,398
5	25,69	22,29	0,892	0,446
6	10,03	6,90	0,276	0,138
7	28,95	23,98	0,959	0,480
8	20,10	15,97	0,639	0,319
9	29,41	22,29	0,892	0,446
10	23,95	18,90	0,756	0,378
Total	224,34	181,91	7,276	3,638

Tabla 14. Carbono almacenado del suelo de cultivo de cacao

Profundidad (cm)	Densidad aparente (g/cc)	%Carbono	Carbono del Suelo (t/ha)
0 – 10	1,37	1,370	18,769
10 – 20	1,47	0,690	10,143
20 - 30	1,38	0,630	8,694
Total	4,22	2,690	37,606

Parcela 3: Cultivo de cacao (*Theobroma cacao*) – Repetición N° 3

Coordenadas: N: 8978502 E: 390120

Altitud: 641 msnm

Extensión de cultivo: 2 ha

Tabla 15. Carbono almacenado en raíces de cultivo de cacao

Profundidad (cm)	Raíces peso fresco (g)	Raíces peso seco (g)	Biomasa (t/ha)	Carbono en raíces (t/ha)
0 - 10	105,40	41,12	6,853	3,427
10 - 20	60,34	20,44	3,407	1,703
20 - 30	20,70	8,10	1,350	0,675
Total	186,44	69,66	11,610	5,805

Tabla 16. Carbono almacenado en hojarasca de cultivo de cacao

N° cuadrante	Hojarasca peso húmedo (g)	Hojarasca peso seco (g)	Biomasa (t/ha)	Carbono en hojarasca (t/ha)
1	101,75	61,08	2,443	1,222
2	67,60	47,24	1,890	0,945
3	51,06	42,44	1,698	0,849
4	116,75	67,96	2,718	1,359
5	43,37	36,63	1,465	0,733
6	36,96	30,46	1,218	0,609
7	56,67	43,36	1,734	0,867
8	86,72	59,77	2,391	1,195
9	72,43	65,31	2,612	1,306
10	45,72	36,67	1,467	0,733
Total	679,03	490,92	19,637	9,818

Tabla 17. Carbono almacenado del suelo de cultivo de cacao

Profundidad (cm)	Densidad aparente (g/cc)	%Carbono	Carbono del Suelo (t/ha)
0 – 10	1,27	1,010	12,827
10 – 20	1,33	0,790	10,507
20 - 30	1,39	0,700	9,730
Total	3,99	2,500	33,064

Parcela 4: Cultivo de cacao (*Theobroma cacao*) – Repetición N° 4

Coordenadas: N: 8978491 E: 390117

Altitud: 642 msnm

Extensión de cultivo: 2 ha

Tabla 18. Carbono almacenado en raíces de cultivo de cacao

Profundidad (cm)	Raíces peso fresco (g)	Raíces peso seco (g)	Biomasa (t/ha)	Carbono en raíces (t/ha)
0 - 10	120,19	49,19	8,198	4,099
10 - 20	71,26	20,03	3,338	1,669
20 - 30	33,12	9,31	1,552	0,776
Total	224,57	78,80	13,088	6,544

Tabla 19. Carbono almacenado en hojarasca de cultivo de cacao

N° cuadrante	Hojarasca peso húmedo (g)	Hojarasca peso seco (g)	Biomasa (t/ha)	Carbono en hojarasca (t/ha)
1	54,50	43,43	1,737	0,869
2	66,48	44,98	1,799	0,900
3	38,66	32,48	1,299	0,650
4	37,11	29,00	1,160	0,580
5	59,32	45,16	1,806	0,903
6	61,68	50,66	2,026	1,013
7	55,20	43,05	1,722	0,861
8	36,20	27,15	1,086	0,543
9	46,75	38,71	2,548	0,774
10	60,68	57,71	2,308	1,154
Total	526,58	412,33	16,493	8,247

Tabla 20. Carbono almacenado del suelo de cultivo de cacao

Profundidad (cm)	Densidad aparente (g/cc)	%Carbono	Carbono del Suelo (t/ha)
0 – 10	1,16	1,130	13,108
10 – 20	1,27	0,800	10,160
20 - 30	1,42	0,680	9,656
Total	3,85	2,610	32,924

Parcela 5: Cultivo de maíz (*Zea mays*) – Repetición N° 1

Coordenadas: N: 8977162 E: 390937

Altitud: 644 msnm

Extensión de cultivo: 2 ha

Tabla 21. Carbono almacenado en raíces de cultivo de maíz

Profundidad (cm)	Raíces peso fresco (g)	Raíces peso seco (g)	Biomasa (t/ha)	Carbono en raíces (t/ha)
0 - 10	30,31	4,06	0,677	0,338
10 - 20	22,57	1,21	0,202	0,101
20 - 30	15,57	0,96	0,160	0,080
Total	68,45	6,23	1,038	0,519

Tabla 22. Carbono almacenado en hojarasca de cultivo de maíz

N° cuadrante	Hojarasca peso húmedo (g)	Hojarasca peso seco (g)	Biomasa (t/ha)	Carbono en hojarasca (t/ha)
1	47,34	30,34	1,214	0,607
2	112,30	49,22	1,969	0,984
3	69,45	39,88	1,595	0,798
4	41,60	27,94	1,118	0,559
5	42,46	25,59	1,024	0,512
6	77,10	51,71	2,068	1,034
7	40,60	28,30	1,132	0,566
8	60,70	36,76	1,470	0,735
9	67,90	39,63	1,585	0,793
10	79,10	56,70	2,268	1,134
Total	638,55	386,07	15,443	7,721

Tabla 23. Carbono almacenado del suelo de cultivo de maíz

Profundidad (cm)	Densidad aparente (g/cc)	%Carbono	Carbono del Suelo (t/ha)
0 – 10	1,25	0,610	7,625
10 – 20	1,36	0,420	5,712
20 - 30	1,34	0,280	3,752
Total	3,95	1,310	17,089

Parcela 6: Cultivo de maíz (*Zea mays*) – Repetición N° 2

Coordenadas: N: 8977135 E: 390934

Altitud: 645 msnm

Extensión de cultivo: 2 ha

Tabla 24. Carbono almacenado en raíces de cultivo de maíz

Profundidad (cm)	Raíces peso fresco (g)	Raíces peso seco (g)	Biomasa (t/ha)	Carbono en raíces (t/ha)
0 - 10	17,63	3,27	0,545	0,273
10 - 20	5,80	0,88	0,147	0,073
20 - 30	1,65	0,36	0,060	0,030
Total	25,08	4,51	0,752	0,376

Tabla 25. Carbono almacenado en hojarasca de cultivo de maíz

N° cuadrante	Hojarasca peso húmedo (g)	Hojarasca peso seco (g)	Biomasa (t/ha)	Carbono en hojarasca (t/ha)
1	9,95	8,62	0,345	0,172
2	12,42	10,80	0,432	0,216
3	16,68	14,28	0,571	0,286
4	9,23	7,87	0,315	0,157
5	25,43	21,84	0,874	0,437
6	5,40	4,41	0,176	0,088
7	3,47	3,21	0,128	0,064
8	28,30	23,90	0,956	0,478
9	29,96	25,15	1,006	0,503
10	13,23	11,57	0,463	0,231
Total	154,07	131,65	5,266	2,633

Tabla 26. Carbono almacenado del suelo de cultivo de maíz

Profundidad (cm)	Densidad aparente (g/cc)	%Carbono	Carbono del Suelo (t/ha)
0 – 10	1,56	0,660	10,296
10 – 20	1,44	0,540	7,776
20 - 30	1,52	0,490	7,448
Total	4,52	1,690	25,520

Parcela 7: Cultivo de maíz (*Zea mays*) – Repetición N° 3

Coordenadas: N: 8977110 E: 390931

Altitud: 644 msnm

Extensión de cultivo: 2 ha

Tabla 27. Carbono almacenado en raíces de cultivo de maíz

Profundidad (cm)	Raíces peso fresco (g)	Raíces peso seco (g)	Biomasa (t/ha)	Carbono en raíces (t/ha)
0 - 10	42,27	7,05	1,175	0,588
10 - 20	18,81	1,13	0,188	0,094
20 - 30	12,66	0,58	0,097	0,048
Total	73,74	8,76	1,460	0,730

Tabla 28. Carbono almacenado en hojarasca de cultivo de maíz

N° cuadrante	Hojarasca peso húmedo (g)	Hojarasca peso seco (g)	Biomasa (t/ha)	Carbono en hojarasca (t/ha)
1	21,60	11,60	0,464	0,232
2	3,10	2,60	0,104	0,052
3	5,90	4,70	0,188	0,094
4	8,90	7,80	0,312	0,156
5	16,40	12,30	0,492	0,246
6	8,20	6,90	0,276	0,138
7	10,60	9,10	0,364	0,182
8	14,80	12,30	0,492	0,246
9	19,30	10,30	0,412	0,206
10	19,50	11,00	0,440	0,220
Total	128,30	88,60	3,544	1,772

Tabla 29. Carbono almacenado del suelo de cultivo de maíz

Profundidad (cm)	Densidad aparente (g/cc)	%Carbono	Carbono del Suelo (t/ha)
0 – 10	1,34	0,660	8,844
10 – 20	1,33	0,550	7,315
20 - 30	1,46	0,430	6,278
Total	4,13	1,64	22,437

Parcela 8: Cultivo de maíz (*Zea mays*) – Repetición N° 4

Coordenadas: N: 8977092 E: 390925

Altitud: 646 msnm

Extensión de cultivo: 2 ha

Tabla 30. Carbono almacenado en raíces de cultivo de maíz

Profundidad (cm)	Raíces peso fresco (g)	Raíces peso seco (g)	Biomasa (t/ha)	Carbono en raíces (t/ha)
0 – 10	58,11	10,88	1,813	0,907
10 - 20	5,05	0,29	0,048	0,024
20 - 30	2,64	0,22	0,037	0,018
Total	65,8	11,39	1,898	0,949

Tabla 31. Carbono almacenado en hojarasca de cultivo de maíz

N° cuadrante	**Hojarasca peso húmedo (g)**	**Hojarasca peso seco (g)**	**Biomasa (t/ha)**	**Carbono en hojarasca (t/ha)**
1	11,48	11,31	0,452	0,226
2	18,79	18,13	0,725	0,363
3	14,79	12,76	0,510	0,255
4	14,11	11,49	0,460	0,230
5	17,25	14,72	0,589	0,294
6	21,05	19,28	0,771	0,386
7	22,86	19,46	0,778	0,389
8	17,75	16,30	0,652	0,326
9	13,36	11,96	0,478	0,239
10	8,52	7,93	0,317	0,159
Total	159,96	143,34	5,734	2,867

Tabla 32. Carbono almacenado del suelo de cultivo de maíz

Profundidad (cm)	**Densidad aparente (g/cc)**	**%Carbono**	**Carbono del Suelo (t/ha)**
0 – 10	1,29	0,620	7,998
10 – 20	1,44	0,510	7,344
20 - 30	1,60	0,370	5,920
Total	4,33	1,500	21,262

Parcela 9: Cultivo de plátano (*Musa paradisiaca* L.) – Repetición N° 1

Coordenadas: N: 8976942 E: 390567

Altitud: 643 msnm

Extensión de cultivo: 2 ha

Tabla 33. Carbono almacenado en raíces de cultivo de plátano

Profundidad (cm)	Raíces peso fresco (g)	Raíces peso seco (g)	Biomasa (t/ha)	Carbono en raíces (t/ha)
0 - 10	58,88	5,00	0,833	0,417
10 - 20	55,21	4,43	0,738	0,369
20 - 30	40,26	2,48	0,413	0,207
Total	154,35	11,91	1,985	0,993

Tabla 34. Carbono almacenado en hojarasca de cultivo de plátano

N° cuadrante	Hojarasca peso húmedo (g)	Hojarasca peso seco (g)	Biomasa (t/ha)	Carbono en hojarasca (t/ha)
1	120,39	89,37	3,575	1,787
2	79,69	51,48	2,059	1,030
3	96,49	90,59	3,624	1,812
4	77,25	44,55	1,782	0,891
5	56,89	39,59	1,584	0,792
6	94,70	60,90	2,436	1,218
7	86,60	48,10	1,924	0,962
8	71,10	43,30	1,732	0,866
9	66,10	37,70	1,508	0,754
10	75,90	55,89	2,236	1,118
Total	825,11	561,47	22,459	11,229

Tabla 35. Carbono almacenado del suelo de cultivo de plátano

Profundidad (cm)	Densidad aparente (g/cc)	%Carbono	Carbono del Suelo (t/ha)
0 – 10	1,36	0,250	3,400
10 – 20	1,29	0,200	2,580
20 - 30	1,30	0,170	2,210
Total	3,95	0,620	8,190

Parcela 10: Cultivo de plátano (*Musa paradisiaca* L.) – Repetición N° 2

Coordenadas: N: 8977800 E: 390025

Altitud: 642 msnm

Extensión de cultivo: 2 ha

Tabla 36. Carbono almacenado en raíces de cultivo de plátano

Profundidad (cm)	Raíces peso fresco (g)	Raíces peso seco (g)	Biomasa (t/ha)	Carbono en raíces (t/ha)
0 - 10	23,87	3,25	0,542	0,271
10 - 20	17,22	1,79	0,298	0,149
20 - 30	6,22	0,17	0,028	0,014
Total	47,31	5,21	0,868	0,434

Tabla 37. Carbono almacenado en hojarasca de cultivo de plátano

N° cuadrante	Hojarasca peso húmedo (g)	Hojarasca peso seco (g)	Biomasa (t/ha)	Carbono en hojarasca (t/ha)
1	56,08	47,77	1,911	0,955
2	12,42	10,80	0,432	0,216
3	16,68	14,28	0,571	0,286
4	44,19	38,55	1,542	0,771
5	25,43	21,84	0,874	0,437
6	52,63	41,31	1,652	0,826
7	47,70	38,43	1,537	0,769
8	28,77	24,29	0,972	0,486
9	13,46	10,90	0,436	0,218
10	37,48	32,63	1,305	0,653
Total	334,84	280,80	11,232	5,616

Tabla 38. Carbono almacenado del suelo de cultivo de plátano

Profundidad (cm)	Densidad aparente (g/cc)	%Carbono	Carbono del Suelo (t/ha)
0 – 10	1,33	0,790	10,507
10 – 20	1,40	0,660	9,240
20 - 30	1,57	0,470	7,379
Total	4,30	1,920	27,126

Parcela 11: Cultivo de plátano (*Musa paradisiaca* L.) – Repetición N° 3

Coordenadas: N: 8976916 E: 390560

Altitud: 644 msnm

Extensión de cultivo: 2 ha

Tabla 39. Carbono almacenado en raíces de cultivo de plátano

Profundidad (cm)	Raíces peso fresco (g)	Raíces peso seco (g)	Biomasa (t/ha)	Carbono en raíces (t/ha)
0 - 10	28,69	3,68	0,613	0,307
10 - 20	19,47	1,86	0,310	0,155
20 - 30	10,53	0,86	0,143	0,072
Total	58,69	6,40	1,067	0,434

Tabla 40. Carbono almacenado en hojarasca de cultivo de plátano

N° cuadrante	Hojarasca peso húmedo (g)	Hojarasca peso seco (g)	Biomasa (t/ha)	Carbono en hojarasca (t/ha)
1	120,90	68,90	2,756	1,378
2	70,70	43,10	1,724	0,862
3	58,30	27,30	1,092	0,546
4	101,40	64,50	2,580	1,290
5	62,90	36,50	1,460	0,730
6	83,80	38,30	1,532	0,766
7	77,30	54,50	2,180	1,090
8	83,00	53,30	2,132	1,066
9	48,00	27,20	1,088	0,544
10	65,60	47,80	1,912	0,956
Total	771,90	461,40	18,456	9,228

Tabla 41. Carbono almacenado del suelo de cultivo de plátano

Profundidad (cm)	Densidad aparente (g/cc)	%Carbono	Carbono del Suelo (t/ha)
0 – 10	1,30	0,410	5,330
10 – 20	1,42	0,300	4,260
20 - 30	1,46	0,300	4,380
Total	4,18	1,01	13,970

Parcela 12: Cultivo de plátano (*Musa paradisiaca* L.) – Repetición N° 4

Coordenadas: N: 8976901 E: 390553

Altitud: 643 msnm

Extensión de cultivo: 2 ha

Tabla 42. Carbono almacenado en raíces de cultivo de plátano

Profundidad (cm)	Raíces peso fresco (g)	Raíces peso seco (g)	Biomasa (t/ha)	Carbono en raíces (t/ha)
0 - 10	27,22	4,66	0,777	0,388
10 - 20	6,16	0,68	0,113	0,057
20 - 30	3,34	0,34	0,057	0,028
Total	36,72	5,68	0,947	0,473

Tabla 43. Carbono almacenado en hojarasca de cultivo de plátano

N° cuadrante	Hojarasca peso húmedo (g)	Hojarasca peso seco (g)	Biomasa (t/ha)	Carbono en hojarasca (t/ha)
1	48,63	44,15	1,766	0,883
2	57,09	39,80	1,592	0,796
3	40,05	35,99	1,440	0,720
4	55,51	50,68	2,027	1,014
5	54,58	49,75	1,990	0,995
6	46,75	31,75	1,270	0,635
7	38,38	29,68	1,187	0,594
8	40,73	31,15	1,246	0,623
9	57,75	53,36	2,134	1,067
10	56,31	51,74	2,070	1,035
Total	495,78	418,05	16,772	8,361

Tabla 44. Carbono almacenado del suelo de cultivo de plátano

Profundidad (cm)	Densidad aparente (g/cc)	%Carbono	Carbono del Suelo (t/ha)
0 – 10	1,29	1,010	13,029
10 – 20	1,52	0,750	11,400
20 - 30	1,63	0,480	7,824
Total	4,44	2,24	32,253

Anexo 2. Panel fotográfico

Figura 12. Calicata de 30x30x30 cm para colecta de muestras de suelo

Figura 13. Colecta de muestras de hojarasca dentro del cuadrante de 50x50 cm

Figura 14. Cilindros de volumen conocido para determinar la densidad aparente del suelo

Figura 15. Lavado de muestras de raíces

Figura 16. Secado de suelo al aire libre

Figura 17. Determinación de textura del suelo por el método de Bouyoucos

Figura 18. Muestras de hojarasca y cilindros de volumen conocido introducidos en la estufa

Figura 19. Pesaje de cilindro de volumen conocido para determinación de densidad aparente

Anexo 3. Datos de análisis de suelos

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES

DEPARTAMENTO CONSERVACIÓN DE SUELOS Y AGUA

Laboratorio de Conservación de Suelos

ANALISIS DE SUELOS

Procedencia: distrito Padre Felipe Luyando – Naranjillo

Altitud: 640 msnm **Solicitante: Giancarlo Jordy Alegría Ortega** **Fecha:** junio de 2023

Muestra		N° de Repeticiones	SUT	Análisis mecánico				Densidad Aparente (g/cc)	M.O %
N°	Código			Arena %	Limo %	Arcilla %	TEXTURA		
1	CR1P1	R1	Cacao	39	39	22	Franco	1.23	1.91
2	CR1P2		Cacao	39	39	22	Franco	1.27	1.27
3	CR1P3		Cacao	49	29	22	Franco	1.35	0.50
4	CR2P1	R2	Cacao	34	35	31	Franco arcilloso	1.37	2.37
5	CR2P2		Cacao	32	27	41	Arcilloso	1.47	1.19
6	CR2P3		Cacao	31	27	42	Arcilloso	1.38	1.09
7	CR3P1	R3	Cacao	36	33	31	Franco arcilloso	1.27	1.75
8	CR3P2		Cacao	36	29	35	Franco arcilloso	1.33	1.36
9	CR3P3		Cacao	36	28	36	Franco arcilloso	1.39	1.21
10	CR4P1	R4	Cacao	37	28	35	Franco arcilloso	1.16	1.95
11	CR4P2		Cacao	37	26	37	Franco arcilloso	1.27	1.38
12	CR4P3		Cacao	33	27	40	Arcilloso	1.42	1.16

Dr. José Dolores Lévano Crisóstomo

Jefe de Laboratorio de Conservación de Suelos

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES

DEPARTAMENTO CONSERVACIÓN DE SUELOS Y AGUA

Laboratorio de Conservación de Suelos

ANALISIS DE SUELOS

Procedencia: distrito Padre Felipe Luyando – Naranjillo
Altitud: 644 msnm **Solicitante: Giancarlo Jordy Alegría Ortega** **Fecha:** junio de 2023

Muestra		N° de Repeticiones	SUT	Análisis mecánico				Densidad Aparente (g/cc)	M.O %
N°	Código			Arena %	Limo %	Arcilla %	TEXTURA		
1	MR1P1	R1	Maíz	67	9	23	Franco arcillo arenoso	1.25	1.04
2	MR1P2		Maíz	69	9	22	Franco arcillo arenoso	1.36	0.73
3	MR1P3		Maíz	67	11	22	Franco arcillo arenoso	1.34	0.49
4	MR2P1	R2	Maíz	36	19	45	Arcilloso	1.56	1.14
5	MR2P2		Maíz	44	23	33	Franco arcilloso	1.44	0.94
6	MR2P3		Maíz	39	16	45	Arcilloso	1.52	0.84
7	MR3P1	R3	Maíz	44	17	40	Franco arcilloso	1.34	1.14
8	MR3P2		Maíz	44	17	40	Franco arcilloso	1.33	0.96
9	MR3P3		Maíz	45	18	37	Franco arcilloso	1.46	0.74
10	MR4P1	R4	Maíz	45	17	38	Franco arcilloso	1.29	.1.07
11	MR4P2		Maíz	42	18	40	Arcilloso	1.44	0.88
12	MR4P3		Maíz	42	16	42	Arcilloso	1.60	0.63

Dr. José Dolores Lévano Crisóstomo
Jefe de Laboratorio de Conservación de Suelos

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES

DEPARTAMENTO CONSERVACIÓN DE SUELOS Y AGUA

Laboratorio de Conservación de Suelos

ANALISIS DE SUELOS

Procedencia: distrito Padre Felipe Luyando – Naranjillo

Altitud: 643 msnm **Solicitante: Giancarlo Jordy Alegría Ortega** **Fecha:** junio de 2023

Muestra		N° de Repeticiones	SUT	Análisis mecánico				Densidad Aparente (g/cc)	M.O %
N°	Código			Arena %	Limo %	Arcilla %	TEXTURA		
1	PR1P1	R1	Plátano	50	28	22	Franco	1.36	0.43
2	PR1P2		Plátano	59	19	22	Franco arcillo arenoso	1.29	0.34
3	PR1P3		Plátano	63	15	22	Franco arcillo arenoso	1.30	0.29
4	PR2P1	R2	Plátano	46	20	34	Franco arcillo arenoso	1.33	1.35
5	PR2P2		Plátano	46	20	34	Franco arcillo arenoso	1.40	1.13
6	PR2P3		Plátano	47	21	32	Franco arcillo arenoso	1.57	0.81
7	PR3P1	R3	Plátano	44	26	31	Franco arcilloso	1.30	0.71
8	PR3P2		Plátano	46	21	33	Franco arcillo arenoso	1.42	0.52
9	PR3P3		Plátano	48	20	32	Franco arcillo arenoso	1.46	0.51
10	PR4P1	R4	Plátano	34	20	46	Arcilloso	1.29	1.73
11	PR4P2		Plátano	33	26	41	Arcilloso	1.52	1.29
12	PR4P3		Plátano	35	23	42	Arcilloso	1.63	0.82

Dr. José Dolores Lévano Crisóstomo

Jefe de Laboratorio de Conservación de Suelos

Anexo 4. Mapa de ubicación de la zona estudiada