

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



CARBONO ALMACENADO EN DOS SISTEMAS DE USO DE SUELOS GUABA
(*Inga Edulis*) Y TORNILLO (*Cedrelinga cateniformis*. Bent.) EN EL CASERIO LOTA,
DISTRITO MARIANO DAMASO BERAUN

Tesis

Para optar el título de:

INGENIERO EN CONSERVACIÓN DE SUELOS Y AGUA

Presentado por:

KATIA DEL CASTILLO DEL CASTILLO

Tingo María – Perú

2024



ACTA DE SUSTENTACION DE TESIS N° 026-2025-FRNR-UNAS

Los que suscriben, Miembros del Jurado de Tesis, reunidos con fecha 15 de agosto de 2024, a horas 11. a.m. de la Escuela Profesional de Ingeniería en Conservación de Suelos y Agua de la Facultad de Recursos Naturales Renovables para calificar la tesis titulada:

“CARBONO ALMACENADO EN DOS SISTEMAS DE USO DE SUELOS GUABA (*Inga Edulis*) Y TORNILLO (*Cedrelinga cateniformis*. Bent.) EN EL CASERIO LOTA, DISTRITO MARIANO DAMASO BERAUN”

Presentado por el Bachiller: **DEL CASTILLO DEL CASTILLO, KATIA**, 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, 27 de febrero de 2024

Dr. JOSÉ D. LÉVANO CRISÓSTOMO
PRESIDENTE

Ing. JAIME TORRES GARCIA
MIEMBRO

Dr. SANDRO RUIZ CASTRE
MIEMBRO



Ing. MSc. JUAN PABLO RENGIFO TRIGOZO
ASESOR



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

CERTIFICADO DE SIMILITUD T.I. N° 100 - 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
CARBONO ALMACENADO EN DOS SISTEMAS DE USO DE SUELOS GUABA (Inga Edulis) Y TORNILLO (Cedrelinga cateniformis. Bent.) EN EL CASERIO LOTA, DISTRITO MARIANO DAMASO BERAUN	KATIA DEL CASTILLO DEL CASTILLO	21 % Veintiuno

Tingo María, 08 de abril de 2025


UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
UNIDAD DE GESTIÓN DE LA INVESTIGACIÓN
Dr. Tomás Menacho Multqui
IEEE

C.C. Archivo

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



CARBONO ALMACENADO EN DOS SISTEMAS DE USO DE SUELOS GUABA
(*Inga edulis*) Y TORNILLO (*Cedrelinga cateniformis*. Bent.) EN EL CASERIO LOTA,
DISTRITO MARIANO DAMASO BERAUN

Autor	: Katia Del Catillo Del Castillo
Asesor	: Ing. M.Sc. Juan Pablo Rengifo Trigozo
Programa de investigación	: Cambio climático
Línea de investigación	: Escenarios climáticos futuros y sus potenciales impactos en los recursos suelos y agua
Eje temático	: Cambios que ocurren en el suelo y agua por el calentamiento global
Lugar de ejecución	: Caserío de Lota
Duración	: Fecha de inicio: Enero : Terminó: Julio
Financiamiento	: S/. 3,309.50 FEDU : NO Propio : SI Otros : NO

Tingo María – Perú, 2024



VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN
OFICINA DE INVESTIGACIÓN

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES
ESCUELA PROFESIONAL DE CONSERVACIÓN DE SUELOS Y AGUA
REGISTRO DE TESIS PARA LA OBTENCIÓN DE TÍTULO

I. DATOS GENERALES DE PREGRADO

Universidad : Universidad Nacional Agraria de la Selva
Facultad : Recursos Naturales Renovables
Título de Tesis : Carbono almacenado en dos sistemas de uso de suelos guaba (*Inga edulis*) y tornillo (*Cedrelinga cateniformis*. Bent.) en el caserío Lota, distrito Mariano Damaso Beraun
Autor : Katia Del Castillo Del Castillo
Asesor : Ing. M.Sc. Juan Pablo Rengifo Trigozo
Escuela Profesional : Conservación de Suelos y Agua
Programa de Investigación : Cambio climático
Línea (s) de Investigación : Escenarios climáticos futuros y sus potenciales impactos en los recursos suelos y agua
Eje temático de investigación : Cambios que ocurren en el suelo y agua por el calentamiento global
Lugar de Ejecución : Caserío de Lota
Duración del trabajo : 6 meses
Fecha de Inicio : Enero
Término : Julio
Financiamiento : S/. 3,309.50

.....
Katia Del Castillo Del Castillo
Tesisista

.....
Ing. Juan Pablo Rengifo Trigozo
Asesor

DEDICATORIA

Agradezco a mi familia por su continuo respaldo, comprensión y entrega en mi desarrollo profesional y personal.

A mis queridos padres: Daniel Del Castillo Vásquez y a mi ángel Merlith Del Castillo Pezo, quienes fueron mi principal apoyo en mi vida profesional en el cual quiero reflejar sus virtudes infinitas.

A Jimmy Saldaña Ruiz por su apoyo incondicional, mi hijo Paulo Facundo Saldaña Del Castillo por ser mi fuerza impulsadora, mis hermanas Judith, Heydi Y amigos por su apoyo durante la realización y elaboración de mi trabajo de investigación.

AGRADECIMIENTO

A la Universidad Nacional Agraria de la Selva y, en especial, a los docentes de la Facultad de Recursos Naturales Renovables por impartir sus conocimientos y experiencia, fundamentales para mi formación profesional como futuro Ingeniero en Conservación de Suelos y Agua.

A mi asesor Ing. M.Sc. Juan Pablo Rengifo Trigozo; por sus valiosas sugerencias y recomendaciones en este trabajo de investigación, y especialmente en la elaboración del informe de la presente tesis.

A los jurados de tesis: presidente Dr. José D. Lévano Crisóstomo, y los miembros Ing. Jaime Torres García y Dr. Roberto Obregón Peña, por su orientación y recomendaciones durante la investigación, y sobrero, sobre todo, por sus sugerencias para mejorar el informe final de tesis.

A todos mis amigos, amigas y profesionales que de alguna manera apoyaron para hacer realidad este trabajo, les extiendo mis más sinceros agradecimientos.

ÍNDICE

	Página.
I. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Objetivo general	2
1.2. Objetivos específicos.....	2
II. REVISIÓN DE LITERATURA	3
2.1. Marco teórico	3
2.1.1. Sistemas de uso de la tierra.....	3
2.1.2. Carbono almacenado en suelo y hojarasca	3
2.1.3. Materia orgánica del suelo (MOS)	4
2.1.4. Importancia de la materia orgánica del suelo (MOS).....	5
2.1.5. Propiedades físico - químicas de la materia	5
2.1.6. Almacenamiento y fijación de carbono	6
2.1.7. Ciclo de carbono	6
2.1.8. Sumideros de carbono.....	7
2.1.9. Biomasa y carbono	8
2.2. Estado del arte	8
III. MATERIALES Y MÉTODOS	11
3.1. Lugar de ejecución	11
3.1.1. Ubicación geológica	11
3.1.2. Clima.....	11
3.1.3. Fisiografía	12
3.1.4. Actividades económicas	12
3.2. Materiales y equipos.....	12
3.3. Criterios de investigación.....	12
3.3.1. Nivel de la investigación	12
3.3.2. Tipo de investigación.....	12
3.3.3. Variable de la investigación.....	13
3.3.4. Operacionalización de las variables.....	13
3.3.5. Diseño de la investigación	14
3.3.6. Población y muestra.....	14
3.3.7. Análisis estadístico	14
3.3.8. Método de la investigación.....	15
3.4. Metodología.....	15

3.4.1. Estimación del carbono almacenado de la biomasa sobre el suelo (herbácea, hojarasca y arbórea) en los dos sistemas de uso de suelo.....	16
3.4.2. Estimar el carbono almacenado de la biomasa bajo el suelo (sistemas radiculares y carbono orgánico del suelo) en los dos sistemas de uso de suelo.	18
3.4.3. Comparar el carbono total almacenado de la biomasa (herbácea, hojarasca, arbórea, sistema radicular y carbono orgánico del suelo) en los dos sistemas de uso de suelo.....	19
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	21
4.1. Carbono almacenado de la biomasa sobre el suelo (herbácea, hojarasca y arbórea) en los dos sistemas de uso de suelo.....	21
4.1.1. Herbáceo	21
4.1.2. Hojarasca	23
4.1.3. Arbóreo	26
4.2. Carbono almacenado de la biomasa bajo el suelo (sistemas radiculares y carbono orgánico del suelo) en los dos sistemas de uso de suelo.	28
4.2.1. Sistema radicular	28
4.2.2. Carbono orgánico del suelo	31
4.3. Comparar el carbono total almacenado de la biomasa (herbácea, hojarasca, arbórea, sistema radicular y carbono orgánico del suelo) en los dos sistemas de uso de suelo.	34
V. CONCLUSIONES	37
VI. PROPUESTAS A FUTURO	38
VII.REFERENCIAS	39
ANEXO.....	44

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla	Pág.
1. Variables, dimensiones, indicadores y unidades que intervienen en el estudio.	13
2. Clasificación taxonómica de la población objetivo.	14
3. Análisis de varianza (ANOVA) del carbono almacenado en el componente herbáceo por tipo de sistema de uso de suelo.	21
4. Cantidad de carbono almacenado en el componente herbáceo según tipo de sistema de uso de suelo.	21
5. Cálculos estadísticos de la cantidad de carbono del componente herbáceo según sistema de uso de suelo.	22
6. Análisis de varianza (ANOVA) del carbono almacenado en el componente hojarasca por tipo de sistema de uso de suelo.	23
7. Cantidad de carbono almacenado en el componente hojarasca según tipo de sistema de uso de suelo.	24
8. Cálculos estadísticos de la cantidad de carbono del componente hojarasca según sistema de uso de suelo.	24
9. Análisis de varianza (ANOVA) del carbono almacenado en el componente arbóreo por tipo de sistema de uso de suelo.	26
10. Cantidad de carbono almacenado en el componente arbóreo según tipo de sistema de uso de suelo.	26
11. Cálculos estadísticos de la cantidad de carbono del componente herbáceo según sistema de uso de suelo.	27
12. Carbono total sobre el suelo por componente y tipo de sistema de uso de suelo.	28
13. Análisis de varianza (ANOVA) del carbono almacenado en el componente de sistema radicular por tipo de sistema de uso de suelo.	29
14. Cantidad de carbono almacenado en el componente de sistema radicular según tipo de sistema de uso de suelo.	29
15. Cálculos estadísticos de la cantidad de carbono del componente de sistema radicular según sistema de uso de suelo.	30
16. Análisis de varianza (ANOVA) del carbono almacenado en el componente de carbono orgánico del suelo por tipo de sistema de uso de suelo.	31

17. Cantidad de carbono almacenado en el componente de carbono orgánico del suelo según tipo de sistema de uso de suelo.	31
18. Cálculos estadísticos de la cantidad de carbono del componente de carbono orgánico del suelo según sistema de uso de suelo.....	32
19. Carbono total bajo el suelo por componente y tipo de sistema de uso de suelo.....	33
20. Análisis de varianza (ANOVA) del carbono total almacenado por tipo de sistema de uso de suelo.	34
21. Carbono total almacenado por componente y tipo de sistema de uso de suelo.....	35
22. Cálculos estadísticos de la cantidad de carbono total almacenado según sistema de uso de suelo.	35

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Pag.
1. Ubicación de la “Finca Quiñones” donde se realizo la evaluación en dos sistemas de uso de suelo con guaba y tornillo.	11
2. Área de evaluación de la biomasa.....	15
3. Diagrama de cajas de carbono del componente herbáceo por tipo de sistema de uso de suelo.	22
4. Diagrama de cajas de carbono del componente hojarasca por tipo de sistema de uso de suelo.	25
5. Diagrama de cajas de carbono del componente arbóreo por tipo de sistema de uso de suelo.....	27
6. Diagrama de cajas de carbono del componente sistema radicular por tipo de sistema de uso de suelo.	30
7. Diagrama de cajas de carbono del componente carbono orgánico del suelo por tipo de sistema de uso de suelo	32
8. Diagrama de cajas de carbono total almacenado por tipo de sistema de uso de suelo	36
9. Delimitación de la parcela por tipo de sistema de uso de suelo.	58
10. Evaluación del componente herbáceo.....	58
11. Evaluación del componente hojarasca.	59
12. Evaluación del componente sistema radicular y carbono orgánico del suelo.....	59
13. Evaluación del componente arbóreo.....	60

RESUMEN

La tala y quema de la agricultura migratoria en el caserío de Lota, distrito Mariano Damaso Beraun, han reducido significativamente el almacenamiento de carbono, afectando la calidad del suelo y la biodiversidad. Se planteo como objetivo determinar el carbono almacenado en dos sistemas de uso del suelo: guaba (*Inga edulis*) y tornillo (*Cedrelinga cateniformis* Bent.). La metodología que se empleo fue un diseño no experimental y transversal, evaluando la biomasa sobre el suelo (herbácea, hojarasca y arbórea) y bajo el suelo (sistemas radiculares y carbono orgánico del suelo) en parcelas seleccionadas. Los resultados promedios de carbono almacenado fueron: 1,74 t C ha⁻¹ en la biomasa herbácea, 1,44 t C ha⁻¹ en hojarasca, 74,72 t C ha⁻¹ en biomasa arbórea, y un total de 77,90 t C ha⁻¹ sobre el suelo. Para la biomasa bajo el suelo, los valores promedios fueron: 0,53 t C ha⁻¹ en el sistema radicular y 20,13 t C ha⁻¹ en carbono orgánico del suelo, totalizando 20,65 t C ha⁻¹. Al comparar el carbono total almacenado mostró una diferencia significativa entre los sistemas: 100,73 t ha⁻¹ en el sistema con guaba y tornillo frente a 96,38 t ha⁻¹ en el sistema con guaba sola. Se concluye que la combinación de guaba y tornillo es más efectiva para el almacenamiento de carbono, contribuyendo así a la mitigación del cambio climático. Se recomiendan estudios adicionales para profundizar en estos resultados y considerar factores adicionales como la textura y estructura del suelo y las prácticas de manejo.

Palabras clave: Biomasa, carbono almacenado, cambio climático y sistema de uso de suelo.

ABSTRACT

The slash-and-burn practices of shifting agriculture in the village of Lota, district Mariano Damaso Beraun, have significantly reduced carbon storage, affecting soil quality and biodiversity. The objective was to determine the carbon stored in two land-use systems: guaba (*Inga edulis*) and tornillo (*Cedrelinga cateniformis* Bent.). The methodology employed a non-experimental and cross-sectional design, evaluating aboveground biomass (herbaceous, litter, and trees) and belowground biomass (root systems and soil organic carbon) in selected plots. The average carbon storage results were: 1,74 t C ha⁻¹ in herbaceous biomass, 1,44 t C ha⁻¹ in litter, 74,72 t C ha⁻¹ in tree biomass, totaling 77,90 t C ha⁻¹ above ground. For belowground biomass, the average values were: 0,53 t C ha⁻¹ in the root system and 20,13 t C ha⁻¹ in soil organic carbon, totaling 20,65 t C ha⁻¹. Comparing the total carbon storage showed a significant difference between the systems: 100,73 t ha⁻¹ in the system with guaba and tornillo versus 96,38 t ha⁻¹ in the system with guaba alone. It is concluded that the combination of guaba and tornillo is more effective for carbon storage, thus contributing to climate change mitigation. Additional studies are recommended to deepen these results and consider additional factors such as soil texture and structure and management practices.

Keywords: Biomass, stored carbon, climate change and land use system.

I. INTRODUCCIÓN

La deforestación y la agricultura migratoria son problemas que actualmente están teniendo un impacto significativo en el caserío de Lota, perteneciente al distrito Mariano Damaso Beraun. Estas prácticas han llevado a una reducción considerable en el almacenamiento de carbono tanto en el suelo como en la biomasa aérea, lo que ha provocado una disminución significativa en la calidad del suelo y una pérdida notable de biodiversidad. Además, esta situación ha contribuido al cambio climático al liberar grandes cantidades de dióxido de carbono a la atmósfera.

La falta de información precisa sobre la cantidad de carbono almacenado en dos sistemas de uso del suelo con guaba (*Inga edulis*) y tornillo (*Cedrelinga cateniformis* Bent.) dificulta la implementación de prácticas de manejo sostenible en la zona. La falta de datos hace que sea difícil para los agricultores y las autoridades locales tomar decisiones informadas sobre cómo conservar y mejorar la calidad del suelo, así como también cómo proteger y fomentar la biodiversidad.

En este escenario, se justifica la investigación al determinar la cantidad aproximada de carbono almacenado en estos sistemas de uso del suelo, ya que el carbono desempeña un papel crucial en la salud del suelo, ayudando a mantener su estructura y fertilidad. Además, la fijación de carbono contribuye a la producción de biomasa y a la mitigación del cambio climático al actuar como un sumidero de carbono. Esta información es esencial para el desarrollo de políticas y prácticas de manejo sostenible en la zona.

Es así que, el alcance de la investigación realizada ha sido obtener información detallada sobre el carbono almacenado en los sistemas de uso del suelo con guaba y tornillo en el caserío Lota. Este conocimiento es de gran utilidad para la población local, ya que identifica áreas de mejora en el manejo del suelo y contribuye al desarrollo de prácticas más sostenibles que ayuden a conservar el suelo, la biodiversidad y a mitigar el cambio climático en la zona.

Los resultados de este trabajo han permitido determinar el carbono almacenado actual en dos sistemas de uso del suelo: uno con guaba y el otro con guaba y tornillo. Se realizaron estimaciones del carbono almacenado en las biomásas sobre el suelo (herbácea, hojarasca y arbórea) y bajo el suelo (sistema radicular y carbono orgánico de suelo). La hipótesis planteada sobre la capacidad significativa de estos sistemas para almacenar carbono se ha confirmado,

destacando las biomásas sobre el suelo (herbácea, hojarasca y arbórea) como las biomásas bajo el suelo (sistemas radiculares y carbono orgánico del suelo) como los principales contribuyentes al carbono almacenado en estos sistemas.

1.1. Objetivo general

- Determinar el carbono almacenado en dos sistemas de uso del suelo guaba (*Inga edulis*) y tornillo (*Cedrelinga cateniformis* Bent.) en el caserío Lota distrito de Mariano Dámaso Beraún.

1.2. Objetivos específicos

- Estimar el carbono almacenado de la biomasa sobre el suelo (herbácea, hojarasca y arbórea) en los dos sistemas de uso de suelo.
- Estimar el carbono almacenado de la biomasa bajo el suelo (sistemas radiculares y carbono orgánico del suelo) en los dos sistemas de uso de suelo.
- Comparar el carbono total almacenado de la biomasa (herbácea, hojarasca, arbórea, sistema radicular y carbono orgánico del suelo) en los dos sistemas de uso de suelo

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Marco teórico

2.1.1. Sistemas de uso de la tierra

Zhao & Wu. (2020) definen los sistemas de uso de la tierra como el conjunto de prácticas y manejos aplicados en una determinada superficie de tierra, influenciados por factores socioeconómicos, tecnológicos y ambientales. Estos sistemas se pueden clasificar según el tipo de cobertura y el uso que se da al terreno, como agricultura, silvicultura, urbanización y conservación. Además, el uso de la tierra ha adquirido una importancia global debido a la necesidad de alimentar y proporcionar recursos a una población creciente, lo que ha llevado a cambios significativos en el uso de bosques, tierras agrícolas y áreas urbanas. Estos cambios, aunque aumentan la apropiación de recursos, también amenazan la capacidad de los ecosistemas para sostener la producción y regular el clima y la calidad del aire. (Foley *et al.*, 2005).

Por otro lado, Nedd *et al.*, (2021) define los sistemas de uso de la tierra como una estructura compleja que incluye la interacción entre el uso de la tierra y la cobertura terrestre. Esta interacción afecta y es afectada por la dinámica ambiental, el clima y los procesos socioeconómicos, y se clasifica en escalas nacionales, regionales y globales. Asimismo, los terrenos forestales incluyen tierras con árboles naturales o plantados y aquellas que serán repobladas, excluyendo los bosques recreativos. Otras categorías de uso de la tierra abarcan áreas urbanizadas, industriales, recreativas, culturales, protegidas y vías de transporte. (Ministerio del Ambiente, 2009). Finalmente, los sistemas de uso de la tierra están descritas como el uso planificado y manejo de áreas de tierra para actividades como agricultura, silvicultura y urbanización. Estos sistemas buscan equilibrar la producción de alimentos, la conservación del medio ambiente y el desarrollo socioeconómico sostenible (Smith & Gregory, 2020).

2.1.2. Carbono almacenado en suelo y hojarasca

Castellano et al, (2022) el carbono almacenado en el suelo se refiere a la cantidad de carbono orgánico presente en diferentes capas del suelo, mientras que el carbono en la hojarasca se refiere al carbono contenido en la capa de hojas caídas y materia orgánica en descomposición en la superficie del suelo.

Además, Lal (2018), señala que el carbono almacenado en el suelo y la hojarasca representa un importante sumidero de carbono en los ecosistemas terrestres.

Sousa et al., (2021), el carbono almacenado en el suelo se refiere al carbono orgánico acumulado en las capas superficiales y subterráneas del suelo debido a la materia orgánica en descomposición. El carbono en la hojarasca se relaciona con la acumulación de carbono en la biomasa muerta en la superficie del suelo. Por último, incluir cultivos de cobertura en sistemas agrícolas es una opción prometedora para secuestrar carbono en suelos sin disminuir rendimientos ni causar pérdidas de carbono, a diferencia de otras prácticas. Un metaanálisis de 139 parcelas mostró que los cultivos de cobertura aumentan significativamente el carbono orgánico del suelo (COS), con una tasa anual de cambio de $0,32 \text{ Mg ha}^{-1}$ a 22 cm de profundidad. El potencial global de secuestro de COS se estima en $0,12 \text{ Pg C año}^{-1}$, compensando el 8% de las emisiones agrícolas de gases de efecto invernadero, aunque faltan datos sobre emisiones de N_2O y albedo (Poeplau, & Don, 2015).

2.1.3. Materia orgánica del suelo (MOS)

Chen et al., (2020) define que la materia orgánica del suelo (MOS) se refiere a la parte de la materia orgánica en el suelo que se encuentra en diferentes estados de descomposición y que juega un papel importante en la estructura del suelo y la fertilidad del mismo. Resalta, que el suelo es rico en carbono, es clave para el clima y la salud ambiental, siendo los minerales responsables del 60% del almacenamiento de carbono, aunque las interacciones entre minerales y carbono orgánico aún son poco comprendidas. Estas interacciones, que incluyen sorción, reacción redox, coprecipitación y otras, afectan la estabilidad del carbono orgánico a través de varios procesos, mostrando la importancia de entender mejor la capacidad de almacenamiento de carbono del suelo.

Por otra parte, Lehmann & Kleber (2015), indican que la materia orgánica del suelo (MOS) es un componente dinámico de la matriz del suelo, que incluye compuestos orgánicos en diferentes etapas de descomposición, junto con organismos vivos y muertos. Asimismo, el intercambio de nutrientes, energía y carbono en el suelo es crucial para la agricultura, la calidad del agua y el clima, pero la idea de "sustancias húmicas" estables en el suelo carece de respaldo. La materia orgánica del suelo es un continuo de compuestos en descomposición, lo que tiene implicaciones para la salud acuática, la interacción carbono-clima y la gestión de la tierra.

2.1.4. Importancia de la materia orgánica del suelo (MOS)

Hoffland et al., (2020), la materia orgánica del suelo (MOS) es fundamental para múltiples funciones del ecosistema del suelo, como la secuestro de carbono (C), la mineralización del nitrógeno (N), la agregación del suelo, la promoción de la salud de las plantas y la retención de compuestos. Demostró que la "eco-funcionalidad" de la MOS sobre su calidad y descomponibilidad son cruciales para estas funciones, destacando la necesidad de vincular las fracciones de la MOS a funciones específicas del suelo.

Jensen et al., (2019), indica que la MOS es vital para mantener la estabilidad estructural del suelo. Cuantificó la influencia del carbono orgánico del suelo (COS) y diferentes componentes de la materia orgánica sobre diversas medidas de estabilidad estructural del suelo, demostrando que la MOS influye significativamente en la dispersibilidad de la arcilla y en la desintegración de partículas del suelo

2.1.5. Propiedades físico - químicas de la materia

Yadav *et al.*, (2020) señala que las propiedades físico-químicas del suelo, como la textura del suelo, la densidad aparente, la capacidad de retención de agua, la estructura del suelo, el color del suelo, el pH, la conductividad eléctrica, la capacidad de intercambio catiónico, el carbono orgánico y los nutrientes del suelo, son esenciales para proporcionar un medio adecuado para el crecimiento de las plantas. Las propiedades químicas son el resultado de las interacciones entre los constituyentes químicos del suelo y las partículas del suelo, así como la solución del suelo

Disale *et al.*, (2020), analizó las influencias de la composición química del suelo en el pH. Evaluó once propiedades del suelo, incluyendo pH, carbono orgánico, nitrógeno, carbonato de calcio, sodio, potasio, fósforo, hierro, manganeso, cobre y zinc. Resultó que el carbono orgánico, el fósforo y el sodio tienen una influencia significativa en los valores de pH medidos, mientras que el nitrógeno, potasio, carbonato de calcio, hierro, manganeso, cobre y zinc mostraron una correlación baja.

Al comparar las propiedades físicas de los suelos de diferentes grupos de referencia (Cambisoles, Luvisoles, Fluvisoles, Chernozems y Phaeozems, Leptosoles, Stagnosoles y Gleysoles). Analizó propiedades como la densidad de partículas, la densidad aparente, la porosidad total, la capacidad máxima de agua capilar, la capacidad mínima de aire, la capacidad de campo, el punto de marchitez permanente y la capacidad de agua disponible.

Resultó que la densidad aparente aumentó y la porosidad total disminuyó en la capa superior del suelo en la mayoría de los grupos de suelos de referencia (Cambisoles, Luvisoles, Fluvisoles, Chernozems y Phaeozems, Leptosoles, Stagnosoles y Gleysoles) (Vopravil *et al.*, 2020).

2.1.6. Almacenamiento y fijación de carbono

Hurd *et al.*, (2022), indica que la fijación de carbono se define como el almacenamiento seguro de moléculas que contienen carbono durante más de 100 años. En el contexto de la eliminación de CO₂ para la mitigación del cambio climático, este CO₂ proviene de la atmósfera. En tierra, los árboles secuestran grandes cantidades de carbono en la biomasa leñosa. De manera análoga, muestra un papel similar para las algas marinas en la fijación de carbono oceánico. La expansión de los lechos de algas naturales y los sistemas de acuicultura, incluyendo en el océano abierto, ha sido propuesta como un método para aumentar la fijación de carbono.

El almacenamiento y la fijación de carbono en el entorno construido han ganado interés con el concepto de "edificios como sumideros de carbono". Evaluar estos efectos desde una perspectiva del ciclo de vida implica considerar flujos y procesos en diferentes escalas temporales y dominios ecológicos, tecnológicos y económicos. Aunque los métodos actuales adoptan enfoques estáticos, existe una tendencia hacia la evaluación dinámica del ciclo de vida para cuantificar el almacenamiento y la fijación de carbono en edificios (Arehart *et al.*, 2021).

La distinción entre almacenamiento y fijación de carbono en suelos es crucial para evitar confusiones, especialmente al dirigirse a agricultores y formuladores de políticas. La fijación de carbono implica la captura y almacenamiento a largo plazo de CO₂, mientras que el almacenamiento puede ser un proceso más temporal. Las diferencias fundamentales entre ambos conceptos se ilustran gráficamente, destacando la baja eficacia de la fijación de carbono en suelos (Baveye *et al.*, 2023).

2.1.7. Ciclo de carbono

Entender la dinámica del carbono desde los ecosistemas hasta las escalas globales sigue siendo un desafío. Aunque la expansión de los observatorios globales de CO₂ permite estimar los procesos del ciclo del carbono a diferentes escalas, estas estimaciones no siempre coinciden. Por ejemplo, solo el 5% del carbono fijado a través de la fotosíntesis permanece como intercambio neto del ecosistema (NEE), y las mediciones de los ecosistemas

indican que solo el 2% del carbono fijado permanece en los pastizales, mientras que hasta el 30% permanece en los bosques (Ballantyne *et al.*, 2021).

Existe un ciclo del carbono oculto dentro de la Tierra, donde megatoneladas de carbono desaparecen en zonas de subducción cada año, afectando al dióxido de carbono atmosférico y al oxígeno a lo largo de la historia de la Tierra. Los procesos que mueven el carbono hacia las zonas de subducción y lo transforman en fluidos, magmas, gases volcánicos y diamantes son esenciales. El CO₂ emitido por los volcanes de arco es reciclado principalmente de microfósiles subducidos, restos orgánicos y precipitados de carbonato (Plank & Manning, 2019).

El ciclo del carbono orgánico a través de la atmósfera, océanos, continentes y reservorios del manto es una característica distintiva de la Tierra. A lo largo del tiempo geológico, los intercambios químicos entre estos reservorios han producido una diversidad de materiales de carbono reducido que difieren en sus estructuras moleculares y reactividad. Este ciclo incluye tanto los procesos biológicos como geológicos que han cambiado a lo largo del tiempo, desde la evolución de la fotosíntesis hasta la biomineralización en el Fanerozoico (Galvez *et al.*, 2020).

2.1.8. Sumideros de carbono

El aumento del dióxido de carbono CO₂ atmosférico incrementa la fotosíntesis y la eficiencia del uso del agua en las plantas, lo que potencialmente mejora el crecimiento vegetal y la transferencia de carbono a los ecosistemas terrestres. Un sumidero de carbono es un proceso o lugar que absorbe más carbono del que emite, ayudando a reducir el ritmo de aumento del CO₂ y mitigando el cambio climático. La respuesta de los ecosistemas al aumento del CO₂ es compleja y a menudo contradictoria, aunque se sugiere que el aumento de la fotosíntesis global desde la preindustria se debe en gran parte al CO₂. Sin embargo, la magnitud de este sumidero de carbono terrestre es incierta debido a factores adicionales del cambio global y la mortalidad de plantas (Walker *et al.*, 2020).

El carbono es fundamental en la bioquímica y ha ayudado a estabilizar el sistema terrestre. Desde los años 50, la mitad de las emisiones de combustibles fósiles han sido absorbidas por océanos y ecosistemas terrestres, lo que ralentiza el aumento del CO₂. Los sumideros de carbono terrestres incluyen la fertilización con CO₂ y nitrógeno, el recrecimiento de bosques y el calentamiento boreal, pero están amenazados por el calentamiento global. La

absorción de CO₂ por los océanos es lenta debido a la estratificación del agua, y una vez que cesen las emisiones, el CO₂ adicional permanecerá en la atmósfera durante siglos o milenios (Denning, 2021).

2.1.9. Biomasa y carbono

La biomasa y el almacenamiento de carbono en los árboles son importantes en el contexto de la producción de energía renovable y la evaluación de recursos forestales globales. La biomasa y el contenido de carbono no se pueden medir fácilmente en campo, por lo que generalmente se derivan de estimaciones de volumen o de relaciones con atributos medidos como el diámetro del árbol. En el Inventario Forestal Nacional Suizo, la biomasa y el carbono de cada árbol se estiman a partir de elementos individuales del árbol, asegurando la precisión y consistencia de las estimaciones (Didion *et al.*, 2019).

El impacto comparativo en el ciclo del carbono de la combustión de biomasa vegetal cosechada frente a la combustión de carbono fósil. Aunque se considera que la biomasa es una fuente de energía verde, su quema puede resultar en una mayor concentración de CO₂ a largo plazo en comparación con la quema de carbono fósil, dependiendo de la tasa de quema y la intensidad de reforestación (Choi & Manousiouthakis, 2020).

2.2. Estado del arte

Dávila (2022) estudió el almacenamiento de carbono en diferentes unidades fisiográficas del fundo Tulumayo – CIPTALD – UNAS, que incluyen terrazas con diversas coberturas vegetales, como pastos, arbustos, y cultivos. Seleccionó tres parcelas de muestreo por unidad fisiográfica y utilizó las metodologías de MacDicken (1997) para muestreo y del ICRAF para medir el carbono en hojarasca, raíces y carbono orgánico del suelo. Los resultados mostraron que la terraza baja no inundable tiene el mayor almacenamiento de carbono en hojarasca (3,48 tC/ha) debido a la mayor acumulación de restos vegetales. La terraza media acumula más carbono en raíces (30,65 tC/ha) por su cobertura de pasto Camerun con raíces extensas. También, la terraza media tiene el mayor contenido de carbono orgánico del suelo (32,01 tC/ha) debido a la descomposición acelerada de la materia orgánica. En total, la terraza media presenta el mayor almacenamiento de carbono en el suelo con 63,97 tC/ha, lo que indica que el sistema de pastura contribuye significativamente a la capacidad de almacenamiento de carbono y a la mitigación del cambio climático.

Alegría (2021) investigó el carbono incorporado y almacenado en suelos degradados ex-cocales en Ricardo Palma – Tingo María, comparando un sistema agroforestal con guaba a alta densidad y cacao en suelos degradados. El estudio incluyó cultivos con diferentes tiempos de siembra: 2, 4 y 6 años. Los resultados mostraron que el contenido de carbono en el suelo fue significativamente mayor en los tratamientos con mayor antigüedad: T1 (2 años) con 36,95 t/ha, T2 (4 años) con 46,16 t/ha, y T3 (6 años) con 40,98 t/ha. La hojarasca también mostró mayores valores en T3 (11,57 t/ha) y T2 (11,07 t/ha), mientras que el carbono radicular fue más alto en T3 con 7,21 t/ha.

Zavala et al. (2019) investigaron la biomasa y el contenido de carbono en un sistema agroforestal de jebe (*Hevea brasiliensis*) y cacao (*Theobroma cacao* L.) en un suelo aluvial en la Universidad Nacional Agraria de la Selva, Tingo María, Perú. El estudio evaluó el almacenamiento de carbono y los servicios ambientales del sistema como medida para mitigar el cambio climático. La biomasa aérea total del sistema fue de 281,43 t/ha, compuesta por 198,10 t/ha de árboles, 61,39 t/ha de cacao, 13,49 t/ha de hojarasca y 8,45 t/ha de arbustos. El carbono almacenado en el SAF fue de 206,21 t C/ha, con la mayor parte almacenada en el suelo (158,24 t C/ha) y la menor en los arbustos (0,405 t C/ha). La edad del cultivo de jebe influyó en el secuestro de carbono, y las plantaciones brindaron servicios ambientales como la regulación del calor y la creación de microclimas. El Valor Actual Neto (VAN) del sistema de jebe, con 60 años de antigüedad, fue de 1480,5, superior al del cacao (1360,6), con un TIR del 22,80% para jebe y 20,60% para cacao. La relación beneficio-costos (B/C) fue de 1,39 para el jebe y 1,24 para el cacao, indicando una mayor rentabilidad del sistema de jebe.

En un estudio realizado por Vásquez (2015) en el Centro de Investigación y Producción Tulumayo (CIPTAL) sobre un sistema agroforestal de cacao (*Theobroma cacao*) y guaba (*Inga edulis*) de 5 años, se encontró que la captura de carbono aéreo fue de 51,1 t C/ha, desglosado en 34,90 t C/ha en árboles, 6,41 t C/ha en vegetación herbácea y 9,80 t C/ha en hojarasca. El carbono almacenado en el suelo fue de 24,4 t C/ha, con 6,59 t C/ha en raíces arbóreas, 0,00059 t C/ha en raíces herbáceas y 17,77 t C/ha en carbono orgánico del suelo. El estudio concluye que el sistema agroforestal tiene una mayor reserva de carbono aéreo, que representa el 68% del total, mientras que el carbono del suelo, que representa el 32%, suele no ser considerado en los proyectos de captura de carbono.

Timoteo (2014) investigó en la Estación Experimental del Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana, ubicada en Saipai, provincia de Leoncio Prado. El

estudio tenía como objetivos cuantificar el carbono almacenado en biomasa arbórea, arbustiva y hojarasca, así como en el suelo y la biomasa vegetal en tres sistemas agroforestales: guabacacao-frejol del palo-bolaina (P1), pino chuncho-cacao-frejol del palo-bolaina (P2) y leucaena-cacao-frejol del palo-bolaina (P3). Utilizando la metodología de Arévalo *et al.*, (2003), se encontró que el componente arbóreo almacenaba la mayor cantidad de carbono en los tres sistemas: 60,85 t C/ha en P1, 79,87 t C/ha en P2 y 61,58 t C/ha en P3. El carbono en biomasa herbácea y hojarasca fue menor. La biomasa vegetal en el sistema con *Theobroma cacao*, *Schizolobium amazonicum* y *Cajanus cajan* almacenó 81,85 t C/ha, mientras que el suelo en el sistema con *Theobroma cacao*, *Leucaena leucocephala* y *Cajanus cajan* almacenó 25,83 t C/ha. El sistema con la mayor captura total de carbono fue el conformado por *Theobroma cacao*, *Schizolobium amazonicum* y *Cajanus cajan*, con 107,24 t C/ha. La cantidad total de carbono se relacionó con la edad de los sistemas agroforestales y el tipo de especies utilizadas.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Lugar de ejecución

La investigación tuvo lugar en el caserío de Lota, en el distrito de Mariano Damaso Beraun, provincia de Leoncio Prado, región Huánuco, a 10 kilómetros de Tingo María. Las coordenadas UTM son E: 381798 y N: 8971121, con una altitud de 628 metros sobre el nivel del mar.

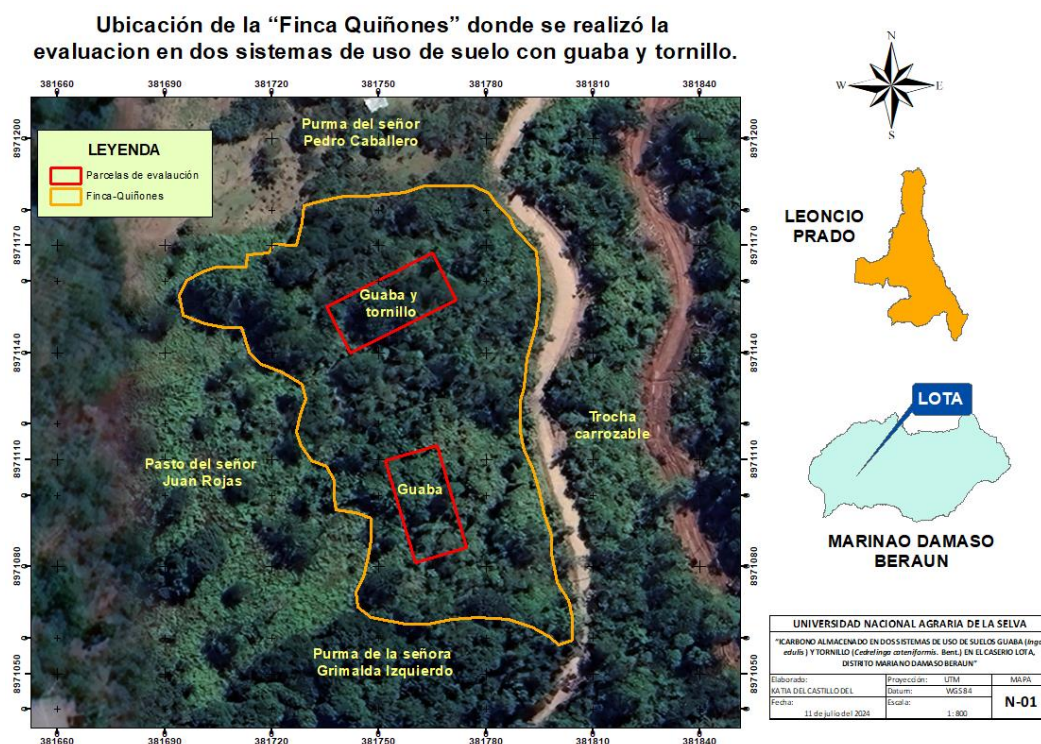


Figura 1. Ubicación de la “Finca Quiñones” donde se realizó la evaluación en dos sistemas de uso de suelo con guaba y tornillo.

3.1.1. Ubicación geológica

Según la clasificación de zonas de vida de Holdridge (1987), la zona de investigación se ubica en la zona ecológica de bosque muy húmedo premontano tropical (bmh PT).

3.1.2. Clima

El área de estudio tiene una temperatura media anual de 24,5 °C, con máximas de 32 °C y mínimas de 17 °C. La precipitación promedio anual es de 3400 mm, con una época de sequía máxima de junio a agosto y mayor precipitación entre diciembre y abril (SENAMHI, 2018). La humedad relativa es del 85,3% y hay un promedio de 162,6 horas de sol anuales.

3.1.3. Fisiografía

La fisiografía del área de investigación consiste principalmente en planicies y colinas bajas, con zonas de suelos accidentados características de la selva alta. Estas tierras tienen aptitudes agronómicas que varían de bajas a altas. Predominan los suelos arcillosos debido al uso inadecuado de la tierra por el cultivo de coca, aunque también se encuentran suelos franco arcillosos en algunos sectores.

3.1.4. Actividades económicas

La agricultura es la actividad principal en la zona, con casi el 100% de la población dedicada al cultivo de cacao, café y plátanos, entre otros. La mayoría utiliza métodos de sistemas agroforestales, mostrando conciencia ambiental. Solo una pequeña parte de la población sigue utilizando métodos de cultivo convencionales.

3.2. Materiales y equipos

- **Materiales:** Para la realización de este trabajo se utilizaron los siguientes materiales: una wincha de 30 metros, una carpeta manila, una pala recta, un dimensionador de 1 metro x 1 metro, un dimensionador de 0,5 metros x 0,5 metros, tijeras de podar, bolsas de polietileno, una libreta de campo y un machete.

- **Equipos:** Los equipos utilizados fueron: un GPS Garmin, un vernier digital, una cámara fotográfica, una estufa, una balanza analítica y una balanza de reloj.

3.3. Criterios de investigación

3.3.1. Nivel de la investigación

La investigación es nivel descriptivo, ya que se describió de manera exhaustiva la cantidad de carbono almacenado en la biomasa sobre el suelo y bajo el suelo en dos sistemas de uso de suelo con guaba y tornillo. (Hernández *et al.*, 2014).

3.3.2. Tipo de investigación

Es una investigación aplicada, porque contribuye al conocimiento sobre el almacenamiento de carbono en diferentes sistemas de uso del suelo, lo cual es crucial para la gestión sostenible de los recursos naturales y la mitigación del cambio climático. La aplicabilidad de los resultados puede influir en políticas y prácticas de manejo del suelo y conservación ambiental (Hernández *et al.*, 2014).

3.3.3. Variable de la investigación

3.3.3.1. Variables independientes

TSUS = Tipos de sistema de uso del suelo (X_1)

Dimensiones:

X_{11} : Sistema de uso del suelo con guaba

X_{12} : Sistema de uso del suelo con guaba y tornillo.

3.3.3.2. Variables dependientes

CABSS = Carbono almacenado en la biomasa sobre el suelo (Y_1)

Dimensiones:

Y_{11} : Biomasa herbácea

Y_{12} : Hojarasca

Y_{13} : Biomasa arbórea

CABBS = Carbono almacenado en la biomasa sobre el suelo (Y_2)

Dimensiones:

Y_{21} : Sistemas radiculares

Y_{22} : Carbono orgánico del suelo

3.3.4. Operacionalización de las variables

Tabla 1. Variables, dimensiones, indicadores y unidades que intervienen en el estudio.

Variable	Dimensiones	Indicadores	Unidades
Tipos de sistema de uso del suelo	Sistema de uso del suelo con guaba	Clasificación del tipo de sistema de uso del suelo	Tipo de sistema (Categórico: guaba)
	Sistema de uso del suelo con guaba y tornillo	Clasificación del tipo de sistema de uso del suelo	Tipo de sistema (Categórico: guaba y tornillo)
Carbono almacenado en la biomasa sobre el suelo	Biomasa herbácea	Peso seco de la biomasa herbácea	Tn/ha
	Hojarasca	Peso seco de la hojarasca	Tn/ha
	Biomasa arbórea	Biomasa aérea de los árboles	Tn/ha
Carbono almacenado en la biomasa bajo el suelo	Sistemas radiculares	Biomasa radicular	Tn/ha
	Carbono orgánico del suelo	Concentración de carbono en el suelo	Tn/ha

3.3.5. Diseño de la investigación

El diseño de la investigación es no experimental, ya que no se alteraron las variables. También es transversal, dado que los sistemas de uso del suelo fueron evaluados en un único momento (Hernández *et al.*, 2014).

3.3.6. Población y muestra

- **Población:** La población objetivo ha sido constituida por 2 parcelas de guaba (*Inga edulis*) y tornillo (*Cedrelinga cateniformis* Bent.) instalados en la localidad de Lota.

Tabla 2. Clasificación taxonómica de la población objetivo.

Guaba		Tornillo	
Reino:	Plantae	Reino:	Plantae
División:	Magnoliophyta	División:	Magnoliophyta
Clase:	Magnoliopsida	Clase:	Magnoliopsida
Orden:	Fabales	Orden:	Fabales
Familia:	Fabaceae	Familia:	Fabaceae
Subfamilia:	Mimosoideae	Subfamilia:	Mimosoideae
Tribu:	Ingeae	Tribu:	Ingeae
Género:	Inga	Género:	Cedrelinga
Especie:	<i>Inga edulis</i> Mart.	Especie:	<i>Cedrelinga catenaeformis</i> (Ducke)

Fuente: El Sistema Global de Información sobre Biodiversidad (GBIF) - 2024

- **Muestra:** Se seleccionaron parcelas representativas de ambos sistemas de uso del suelo mediante un muestreo aleatorio estratificado. Cada estrato correspondió a uno de los sistemas de uso del suelo.

3.3.7. Análisis estadístico

La recolección de datos se realizó a través de técnicas de muestreo y análisis de laboratorio. Se tomaron muestras de biomasa sobre el suelo (herbácea, hojarasca y arbórea) y de biomasa bajo el suelo (sistemas radiculares y suelo) para su análisis de contenido de carbono. Para el análisis estadístico, se empleó el Análisis de Varianza (ANOVA) para comparar las medias del carbono almacenado en las diferentes componentes de biomasa entre los dos sistemas de uso del suelo, con niveles de significancia del 0,01 y 0,05. Además, el análisis de estadísticos descriptivos se realizó con Microsoft Office Excel 2013, donde se calcularon las medias, desviaciones estándar, entre otros.

3.3.8. Método de la investigación

El método de la investigación, es un enfoque cuantitativo, porque caracteriza por la recolección y análisis de datos numéricos con el objetivo de establecer patrones y probar hipótesis. Este enfoque es adecuado para el estudio en cuestión, ya que permite medir el contenido de carbono en diferentes componentes de la biomasa y comparar los resultados entre los dos sistemas de uso del suelo (Hernández *et al.*, 2014).

3.4. Metodología

La selección de las parcelas con los tipos de sistemas de uso del suelo se llevó a cabo mediante un muestreo no probabilístico, eligiéndose por conveniencia. La primera parcela tiene un suelo mejorado con sistema de guaba, y la segunda parcela incluye sistemas de guaba y tornillo como lindero (distanciados 10 metros longitudinalmente). Este método se utilizó porque las parcelas fueron instaladas en 2016 por el proyecto que ejecuto la Municipalidad Mariano Damaso Beraun denominado Recuperación de suelos degradados en 11 Caseríos de la Cuenca Baja del Río Monzón, llegando a instalar parcelas demostrativas en la finca de la propietaria Cledy Quiñones Moreno. Se delimitó una parcela de evaluación por cada sistema de uso del suelo, siendo estas las unidades de estudio de interés. La metodología empleada siguió las guías propuestas por Rüginitz *et al.*, (2009) del Centro Mundial Agroforestal (ICRAF) y por MacDicken (1997) del Instituto Internacional Winrock para el Desarrollo Agrícola (Winrock). La demarcación de las parcelas de la superficie de investigación se realizó según la metodología propuesta por Rojas *et al.*, (2003) del grupo GAMMA. Para la estimación de biomasa sobre el suelo, se delimitó una superficie de 1000 metros cuadrados.

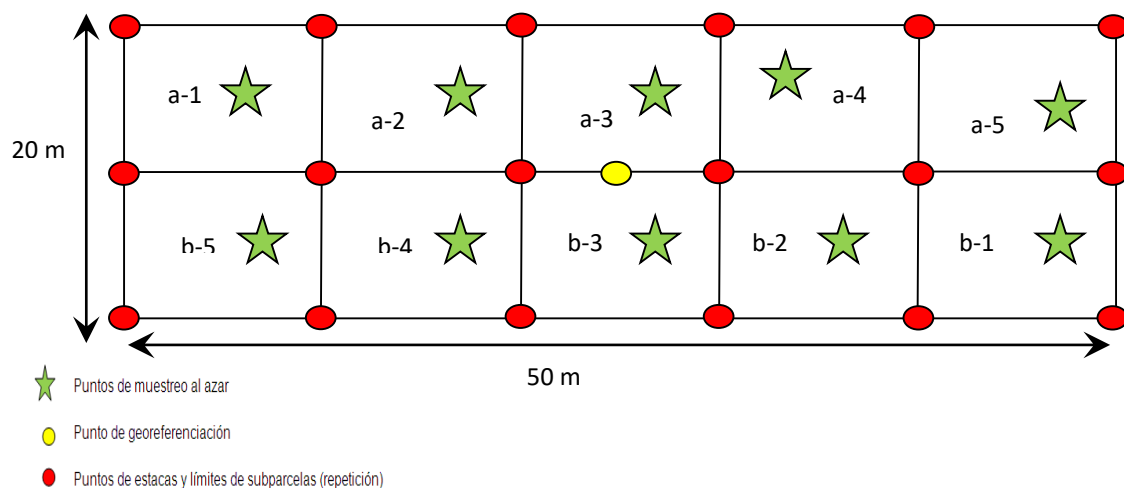


Figura 2. Área de evaluación de la biomasa

La parcela se dividió en 10 subparcelas de 10 m x 10 m, delimitadas con rafia de color. Para el muestreo de biomasa sobre el suelo, se evaluó la biomasa herbácea y la hojarasca en puntos seleccionados al azar, marcados con estrellas verdes. La biomasa arbórea se evaluó en toda la parcela, que tiene dimensiones de 20 m x 50 m. Para la biomasa bajo el suelo, se evaluó la biomasa del sistema radicular y el carbono orgánico del suelo mediante calicatas en los mismos puntos marcados con estrellas verdes. Los límites de cada subparcela se indicaron con puntos rojos, y el sitio amarillo resulta ser el centroide cada parcela en coordenadas UTM.

3.4.1. Estimación del carbono almacenado de la biomasa sobre el suelo (herbácea, hojarasca y arbórea) en los dos sistemas de uso de suelo.

3.4.1.1. Herbácea

Se recolectaron muestras de vegetación herbácea en distintos puntos de las parcelas para medir su biomasa y contenido de carbono. Se utilizó un cuadrante de madera de 1m x 1m para seleccionar al azar las áreas de muestreo dentro de subparcelas de 10m x 10m. Con una tijera podadora, se recogió la biomasa aérea a 2 cm del suelo, y se pesó en campo con una balanza romana. Para determinar la materia seca, se tomó una submuestra de aproximadamente 200 gramos, que se secó en estufa a 70 °C durante tres días. Tras el secado, se volvió a pesar y se calculó el porcentaje de materia seca. Finalmente, se estimó la biomasa seca por metro cuadrado y se extrapoló a toneladas por hectárea usando las fórmulas correspondientes.

$$\% Ms = (Ms_{\text{submuestra}} / Mv_{\text{submuestra}}) * 100 \dots \dots \dots (1)$$

Donde:

%Ms: Porcentaje del material seco (valor en %)

Ms submuestra: Peso de la submuestra seca (kg)

Mv submuestra: Peso de la submuestra en verde (Kg)

100: Factor para obtener el porcentaje

$$\text{Biomasa herbácea (t ha}^{-1}\text{)} = Mvh_{\text{muestra}} * (\% Ms) * 10 \dots \dots \dots (2)$$

Donde:

Biomasa herbácea (t ha⁻¹): Biomasa herbácea (materia seca)

Mvh muestra: Material verde herbácea de la muestra expresada en kg/m²

% Ms: Porcentaje de la materia seca de la muestra.

10: Factor para convertir kg/m² a t/ha

3.4.1.2.Hojarasca

Se recolectaron muestras de hojarasca caída en el suelo para estimar su biomasa y el carbono almacenado. En el área de un metro cuadrado se muestreó la biomasa herbácea, adicional se utilizó un cuadrante de 0,25 m² (0,50 m x 0,50 m) con el fin de recoger toda la materia orgánica muerta (hojas secas, tallos, ramas) en las 10 subparcelas de cada sistema de uso del suelo. Estas muestras se colocaron en bolsas codificadas y se pesaron en el laboratorio con una balanza digital. En el laboratorio, se siguió el mismo procedimiento que con la biomasa herbácea para determinar el material seco. Calculado el material seco de la hojarasca, se extrapoló a toneladas por hectárea (t ha⁻¹) utilizando la fórmula correspondiente:

$$\text{Biomasa hojarasca (t ha}^{-1}\text{)} = \text{MVh}_{\text{muestra}} * (\% \text{ MS}) * 10 \dots \dots \dots (3)$$

Donde:

Biomasa hojarasca (t ha⁻¹): Biomasa hojarasca (material seco)

MVh muestra: Material verde hojarasca (kg/m²)

% MS: Porcentaje de la materia seca de la muestra.

10: Factor para convertir kg/m² a t/ha

3.4.1.3.Arbóreo

Para evaluar la biomasa arbórea, se utilizó un método no destructivo aplicando ecuaciones alométricas de predicción. Se empleó la ecuación alométrica desarrollada por Brown e Iverson (1992) para diversas especies de madera en trópicos húmedos, que se describe a continuación:

$$\text{Bt} = 21.3 - (6,95 \times (\text{dap})) + (0,74 \times (\text{dap}^2)) \dots \dots \dots (4)$$

Donde:

Bt: Biomasa del árbol en materia seca

Dap: diámetro a la altura del pecho, en cm

Una vez estima la biomasa por árbol se sumó todos los individuos evaluados en la parcela de 20m x 50m (1000 m²), obteniendo la biomasa arbórea total:

$$\text{BAT (kg)} = \text{BA1} + \text{BA2} + \dots \dots \dots + \text{BAn} \dots \dots \dots (5)$$

Donde:

BAT: Biomasa arbórea total en kg

BA : Biomasa de árboles

Finalmente, se extrapolo a toneladas por hectárea ($t\ ha^{-1}$) la biomasa arbórea:

$$\text{Biomasa arbórea } (t\ ha^{-1}) = \text{BAT} * 0,01 \dots\dots\dots(6)$$

Donde:

Biomasa arbórea ($t\ ha^{-1}$): Biomasa arbórea viva

BAT: Biomasa arbórea total de la parcela

0,01: Factor de conversión de la parcela $1000\ m^2$

Finalmente, para calcular el contenido de carbono en la biomasa herbácea, hojarasca y arbórea, se utilizó un factor de 0,5, conforme a la metodología propuesta por el ICRAF (Rügnitz *et al.*, 2009). Se empleó la fórmula:

$$\text{Carbono } (t/ha) = \text{biomasa } (t/ha) * 0,5 \dots\dots\dots (7)$$

3.4.2. Estimar el carbono almacenado de la biomasa bajo el suelo (sistemas radiculares y carbono orgánico del suelo) en los dos sistemas de uso de suelo.

3.4.2.1. Sistema radicular

Se llevaron a cabo excavaciones controladas para recolectar muestras de raíces a diferentes profundidades con el objetivo de evaluar su biomasa y contenido de carbono. Se usó una calicata de $50\ cm \times 30\ cm \times 50\ cm$ y un barreno de volumen conocido ($20.25\ cm^2$ de área y $10\ cm$ de largo) siguiendo el método de Böhm (1979). Conforme a las indicaciones de Rügnitz *et al.* (2009), se realizaron muestreos a profundidades de $0-10\ cm$, $10-20\ cm$ y $20-30\ cm$. Las muestras fueron etiquetadas, tamizadas con un tamiz de $2\ mm$, lavadas, secadas con papel toalla y pesadas en estado verde. La materia seca se determinó mediante secado en estufa, y el peso de la biomasa radicular se extrapolo a toneladas por hectárea (t/ha) con la fórmula correspondiente.

$$\text{Biomasa radical } (t\ ha^{-1}) = \sum_{i=1}^{i=n} (MVR_{\text{muestra}} * (\%MS) * 10)_{\text{profundidad}} \dots\dots (8)$$

Dónde:

i = Profundidad evaluada

n = tres profundidades

Biomasa radicular ($t\ ha^{-1}$) = Biomasa radicular (materia seca)

MVR_{muestra} = Materia verde radicular de la muestra expresada en kg/m^2

$\% MS$ = Porcentaje de la materia de la muestra

10 = Factor para convertir kg/m^2 a t/ha

Finalmente, para calcular el contenido de carbono en la biomasa radicular, se utilizó un factor de 0,5 conforme a la metodología del ICRAF (Rügnitz *et al.*, 2009). Se empleó la fórmula siguiente:

$$\text{Carbono (t/ha)} = \text{biomasa (t/ha)} * 0,5 \dots \dots \dots (9)$$

3.4.2.2. Carbono orgánico del suelo

Se recolectaron muestras de suelo a diferentes profundidades para analizar el contenido de carbono orgánico. La densidad aparente se calculó usando el método del cilindro, extrayendo una muestra de volumen conocido (502.66 cm³) y secándola a 105 °C durante 72 horas para obtener su peso seco, que luego se dividió entre el volumen del cilindro. Este procedimiento se repitió en las 10 subparcelas de cada tipo de uso de suelo. Para determinar el contenido de carbono orgánico, se aplicó la conversión de Walkley y Black (1938), citada por Rügnitz *et al.* (2009), basada en la materia orgánica. Las muestras de cada estrato de suelo (0-10 cm, 10-20 cm y 20-30 cm) se tomaron con un barreno, se mezclaron y se enviaron al laboratorio para analizar la materia orgánica. Finalmente, se utilizó la fórmula de MacDicken (1997) para estimar el carbono orgánico en cada estrato.

$$\text{COS}(\text{t ha}^{-1}) = \sum_{i=1}^{i=n} ([\text{CO}/100] * \text{Dap} * \text{Ps} * 10000)_{\text{profundidad}} \dots \dots \dots (10)$$

Donde:

COS (t h⁻¹): Carbono orgánico del suelo

i: profundidad evaluada.

n: tres profundidades

[CO] (%): Concentración de carbono orgánico en %.

%CO= 0,58 x %MO (Walkley y Black, 1938)

Dap (t/m³): densidad aparente de la profundidad evaluada (t/m³)

Ps(m): profundidad de muestreo (m)

10000: área/m²

3.4.3. Comparar el carbono total almacenado de la biomasa (herbácea, hojarasca, arbórea, sistema radicular y carbono orgánico del suelo) en los dos sistemas de uso de suelo

Se agregaron los valores de carbono de todas las componentes de biomasa (herbácea, hojarasca, arbórea, sistemas radiculares y carbono orgánico del suelo) para comparar

el total almacenado en cada sistema de uso del suelo. La cantidad total de carbono almacenado por cada sistema se calculó utilizando la ecuación siguiente:

$$\text{CAS (t h}^{-1}\text{)} = \text{CH} + \text{Ch} + \text{CA} + \text{CR} + \text{COS} \dots \dots \dots (11)$$

Dónde:

CAS: Carbono almacenado por sistema (t ha⁻¹)

CH: Carbono herbáceo (t ha⁻¹)

Ch: Carbono hojarasca (t ha⁻¹)

CA: Carbono arbóreo (t ha⁻¹)

CR: Carbono radicular (t ha⁻¹)

COS: Carbono orgánico de suelo (t ha⁻¹)

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Carbono almacenado de la biomasa sobre el suelo (herbácea, hojarasca y arbórea) en los dos sistemas de uso de suelo.

4.1.1. Herbáceo

Los resultados del análisis de varianza (ANOVA) para el carbono almacenado en el componente herbáceo por tipo de sistema de uso de suelo muestran que no existe diferencias significativas. El estadístico F calculado es 1,8960, con un valor de significancia (p-valor) de 0,1850, que es mayor que el nivel de significancia típico de 0,05. Esto indica que no se puede rechazar la hipótesis nula de que no hay diferencias significativas en el carbono almacenado en la biomasa herbácea entre los diferentes sistemas de uso de suelo. Por lo tanto, la variabilidad observada en el carbono herbáceo no es estadísticamente significativa entre los sistemas de uso de suelo (Tabla 3).

Tabla 3. Análisis de varianza (ANOVA) del carbono almacenado en el componente herbáceo por tipo de sistema de uso de suelo.

Fuente de variación	GL	SC	CM	Fc	Sig.
Sistema de uso del suelo	1	0,19	0,194	1,8960	0,1850
Error	18	1,84	0,102		
Total	19	2,04			

La cantidad de carbono almacenado del componente herbáceo varía según el tipo de sistema de uso de suelo. En el sistema con guaba, la biomasa es de 3,28 t ha⁻¹ y el carbono almacenado es de 1,64 t C ha⁻¹. En el sistema con guaba y tornillo, la biomasa es de 3,68 t ha⁻¹ y el carbono almacenado es de 1,84 t C ha⁻¹. El promedio de biomasa herbácea es de 3,48 t ha⁻¹ y el promedio de carbono almacenado es de 1,74 t C ha⁻¹ (Tabla 4).

Tabla 4. Cantidad de carbono almacenado en el componente herbáceo según tipo de sistema de uso de suelo.

Herbáceo	Tipo de sistema de uso de suelo		
	Con guaba	Con guaba y tornillo	Promedio
Biomasa t ha ⁻¹	3,28	3,68	3,48
Carbono t C ha ⁻¹	1,64	1,84	1,74

Los cálculos estadísticos del carbono en el componente herbáceo revelan diferencias importantes entre los sistemas de uso de suelo. El sistema con guaba y tornillo

almacena más carbono (1,84 t C/ha) que el sistema solo con guaba (1,64 t C/ha). Además, el sistema con guaba y tornillo muestra mayor estabilidad en el almacenamiento de carbono, con límites de confianza más altos (1,64 a 2,03 t C/ha) y menor variabilidad (desviación estándar de 0,27 frente a 0,36). El error estándar también es menor (0,09 frente a 0,11), indicando mayor precisión en las estimaciones. (Tabla 5).

Tabla 5. Cálculos estadísticos de la cantidad de carbono del componente herbáceo según sistema de uso de suelo.

Estadísticos descriptivos	Tipo de sistema de uso de suelo	
	Con guaba	Con guaba y tornillo
Media (t Cha ⁻¹)	1,64	1,84
Límite inferior (t Cha ⁻¹)	1,38	1,64
Límite superior (t Cha ⁻¹)	1,90	2,03
Mediana (t Cha ⁻¹)	1,51	1,88
Desv. estándar	0,36	0,27
Error estándar	0,11	0,09
Mínimo (t Cha ⁻¹)	1,27	1,45
Máximo (t Cha ⁻¹)	2,32	2,24

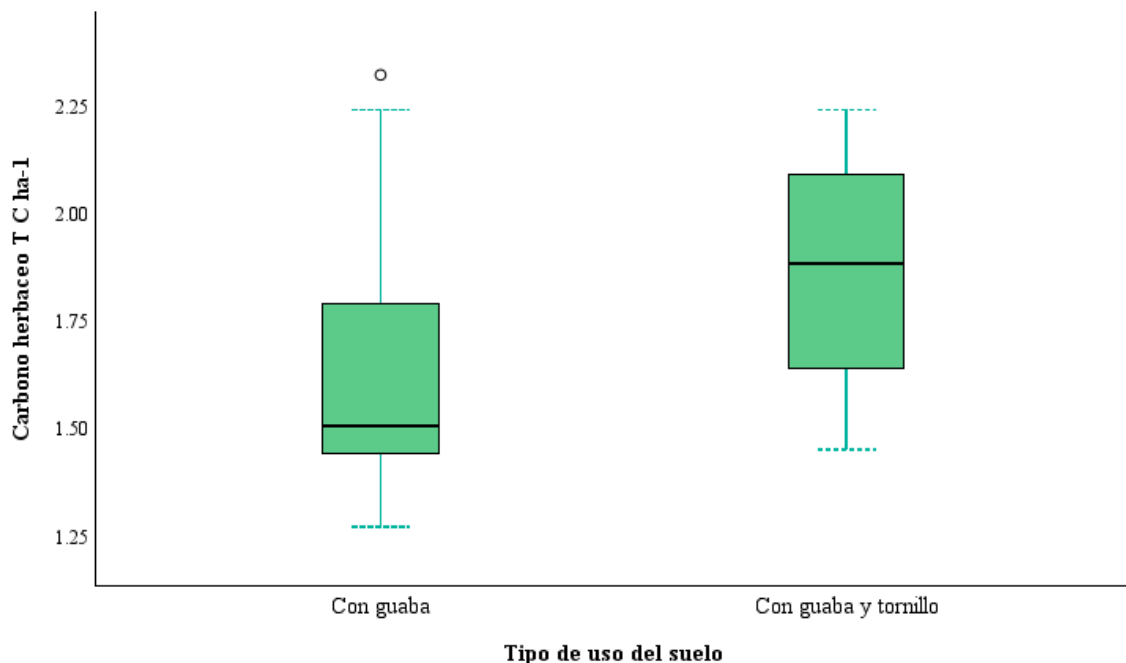


Figura 3. Diagrama de cajas de carbono del componente herbáceo por tipo de sistema de uso de suelo.

Los datos de carbono almacenado en el componente herbáceo revelan que el sistema con guaba y tornillo tiene un promedio ligeramente mayor de carbono ($1,84 \text{ t C ha}^{-1}$) en comparación con el sistema solo con guaba ($1,64 \text{ t C ha}^{-1}$). Aunque esta diferencia no es estadísticamente significativa. Alegría (2021), destacó en su estudio sobre los sistemas agroforestales con guaba y cacao que aumentaron el almacenamiento de carbono en el componente herbáceo sobre el suelo con el tiempo. Al comparar con los sistemas de uso de suelo evaluados, el aumento ligero en carbono herbáceo en el sistema mixto de guaba y tornillo podría estar correlacionado con mayores aportes orgánicos al suelo, similares a los encontrados por Alegría.

4.1.2. Hojarasca

Los resultados del análisis de varianza (ANOVA) del carbono almacenado en el componente hojarasca por tipo de sistema de uso de suelo indican que no hay diferencias significativas entre los sistemas estudiados. El estadístico F es 1,1770 y el valor de significancia (p-valor) es 0,2920, que es mayor que el nivel de significancia comúnmente utilizado de 0,05. Esto muestra que no se puede rechazar la hipótesis nula de que no existen diferencias significativas en el carbono almacenado en la hojarasca entre los diferentes sistemas de uso de suelo. Por lo tanto, la variabilidad observada en el carbono de la hojarasca no es estadísticamente significativa entre los sistemas con guaba y con guaba y tornillo (Tabla 6).

Tabla 6. Análisis de varianza (ANOVA) del carbono almacenado en el componente hojarasca por tipo de sistema de uso de suelo.

Fuente de variación	GL	SC	CM	Fc	Sig.
Sistema de uso del suelo	1	0,30	0,296	1,1770	0,2920
Error	18	4,52	0,251		
Total	19	4,82			

El componente hojarasca almacenó más biomasa y carbono en el sistema de uso de suelo con guaba y tornillo ($3,12 \text{ t ha}^{-1}$ y $1,56 \text{ t C ha}^{-1}$, respectivamente) en comparación con el sistema de uso de suelo con solo guaba ($2,64 \text{ t ha}^{-1}$ y $1,32 \text{ t C ha}^{-1}$, respectivamente). Esta diferencia sugiere que la combinación de guaba y tornillo puede promover una mayor acumulación de biomasa y carbono en la hojarasca, lo que podría indicar una mayor capacidad de este sistema para almacenar carbono en comparación con el sistema con solo guaba. Sin embargo, es importante considerar otros factores como la variabilidad en la distribución de la hojarasca y las condiciones locales que podrían influir en estos resultados (Tabla 7).

Tabla 7. Cantidad de carbono almacenado en el componente hojarasca según tipo de sistema de uso de suelo.

Arbóreo	Tipo de sistema de uso de suelo		
	Con guaba	Con guaba y tornillo	Promedio
Biomasa t ha ⁻¹	2,64	3,12	2,88
Carbono t C ha ⁻¹	1,32	1,56	1,44

Los cálculos estadísticos muestran que, en promedio, el sistema de uso de suelo con guaba y tornillo almacenó más carbono en el componente herbáceo (1,56 t C ha⁻¹) en comparación con el sistema con solo guaba (1,32 t C ha⁻¹). Los límites inferior y superior, así como la mediana, indican que los valores de carbono en el componente herbáceo son consistentemente mayores en el sistema con guaba y tornillo. Además, la desviación estándar y el error estándar son mayores en el sistema con guaba y tornillo, lo que muestra una mayor variabilidad en los datos en comparación con el sistema con solo guaba (Tabla 8).

Así que, los datos de carbono almacenado en el componente hojarasca revelan que el sistema con guaba y tornillo tiene un promedio ligeramente mayor de carbono (1,56 t C ha⁻¹) en comparación con el sistema solo con guaba (1,32 t C ha⁻¹). Aunque esta diferencia no es estadísticamente significativa. Dávila (2022), en su investigación realizada en unidades fisiográficas, indica que el carbono almacenado en hojarasca fue mayor en unidades fisiográficas con una mayor presencia de árboles y arbustos, esto revelan que posiblemente las parcelas evaluadas no tienen variaciones tan marcadas en la estructura vegetal como las observadas por Dávila

Tabla 8. Cálculos estadísticos de la cantidad de carbono del componente hojarasca según sistema de uso de suelo.

Estadísticos descriptivos	Tipo de sistema de uso de suelo	
	Con guaba	Con guaba y tornillo
Media (t Cha ⁻¹)	1,32	1,56
Límite inferior (t Cha ⁻¹)	0,99	1,18
Límite superior (t Cha ⁻¹)	1,65	1,95
Mediana (t Cha ⁻¹)	1,28	1,53
Desv. Estándar	0,46	0,54
Error estándar	0,15	0,17
Mínimo (t Cha ⁻¹)	0,78	0,65
Máximo (t Cha ⁻¹)	2,22	2,34

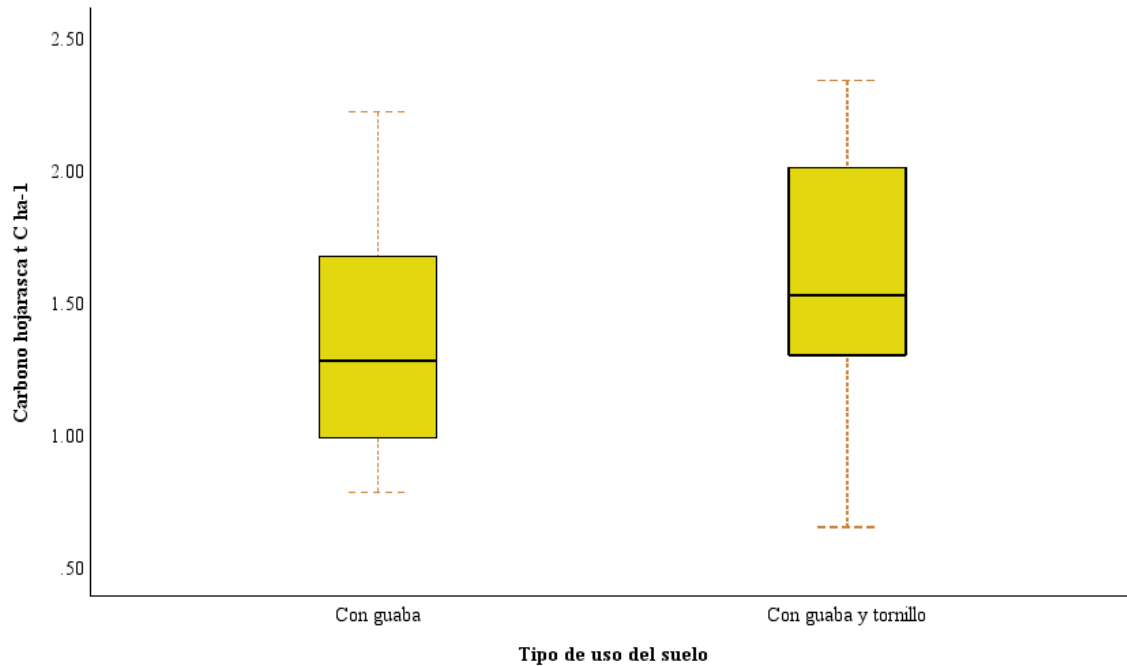


Figura 4. Diagrama de cajas de carbono del componente hojarasca por tipo de sistema de uso de suelo.

Además, Alegría (2021) reportó valores de carbono en hojarasca significativamente más altos en sistemas agroforestales con guaba y cacao de mayor edad, con valores hasta $11,57 \text{ t C ha}^{-1}$ en suelos degradados ex cicales. La menor edad de nuestros sistemas de uso de suelo podría explicar los valores más bajos observados en nuestro estudio en promedio de $1,44 \text{ t C ha}^{-1}$.

Además, Vásquez (2015) encontró valores de carbono en hojarasca de $9,80 \text{ t C ha}^{-1}$ en un sistema agroforestal de cacao con guaba de cinco años de edad. Al comparar los resultados obtenidos de los sistemas de uso de suelo (promedio $1,44 \text{ t C ha}^{-1}$), la diferencia es notable, puede deberse a diferencias en la densidad de plantación, manejo del suelo, y condiciones específicas del sitio de estudio.

Por último, Zavala et al. (2019) reportaron un contenido de carbono en hojarasca de $1,98 \text{ t C ha}^{-1}$ en un sistema agroforestal de jebe con cacao, lo cual es ligeramente superior a los resultados promedio de $1,44 \text{ t C ha}^{-1}$ de los sistemas de uso de suelo, pero aún dentro de un rango comparable. Esto muestra que, aunque los sistemas agroforestales pueden variar en cuanto a su capacidad de almacenamiento de carbono, nuestros resultados están dentro de las expectativas para sistemas similares.

4.1.3. Arbóreo

El análisis de varianza (ANOVA) para el carbono almacenado en el componente arbóreo por tipo de sistema de uso de suelo muestra que no hay una diferencia significativa en el carbono arbóreo entre los dos tipos de sistemas evaluados ($F=0,2290$, $p=0,6380$). Esto muestra que, el tipo de sistema de uso de suelo (guaba vs. guaba y tornillo) no tuvo un efecto significativo en la cantidad de carbono almacenado en el componente arbóreo (Tabla 9).

Tabla 9. Análisis de varianza (ANOVA) del carbono almacenado en el componente arbóreo por tipo de sistema de uso de suelo.

Fuente de variación	GL	SC	CM	Fc	Sig.
Sistema de uso del suelo	1	0,66	0,655	0,2290	0,6380
Error	18	51,59	2,866		
Total	19	52,24			

El componente arbóreo almacenó una cantidad ligeramente mayor de biomasa y carbono en el sistema de uso de suelo con guaba y tornillo ($153,06 \text{ t ha}^{-1}$ y $76,53 \text{ t C ha}^{-1}$, respectivamente) en comparación con el sistema con solo guaba ($145,81 \text{ t ha}^{-1}$ y $72,91 \text{ t C ha}^{-1}$, respectivamente). Aunque la diferencia no es muy grande, muestra que la combinación de guaba y tornillo podría tener un ligero beneficio en la acumulación de biomasa y carbono en el componente arbóreo en comparación con el sistema con solo guaba. Sin embargo, es importante tener en cuenta otros factores como la edad de los árboles, las prácticas de manejo del suelo y la estructura del dosel, que podrían influir en estos resultados (Tabla 10).

Tabla 10. Cantidad de carbono almacenado en el componente arbóreo según tipo de sistema de uso de suelo.

Arbóreo	Tipo de sistema de uso de suelo		
	Con guaba	Con guaba y tornillo	Promedio
Biomasa t ha	145,81	153,06	149,44
Carbono t C ha	72,91	76,53	74,72

Los cálculos estadísticos muestran que, en promedio, el sistema de uso de suelo con guaba y tornillo almacenó ligeramente más carbono en el componente herbáceo ($7,65 \text{ t C ha}^{-1}$) en comparación con el sistema con solo guaba ($7,29 \text{ t C ha}^{-1}$). Los límites inferior y superior, así como la mediana, sugieren que los valores de carbono en el componente herbáceo son generalmente mayores en el sistema con guaba y tornillo. Además, la desviación estándar y el error estándar son menores en el sistema con guaba y tornillo, lo que indica una menor variabilidad en los datos en comparación con el sistema con solo guaba. (Tabla 11).

Tabla 11. Cálculos estadísticos de la cantidad de carbono del componente herbáceo según sistema de uso de suelo.

Estadísticos descriptivos	Tipo de sistema de uso de suelo	
	Con guaba	Con guaba y tornillo
Media (t Cha ⁻¹)	7,29	7,65
Límite inferior (t Cha ⁻¹)	5,97	6,57
Límite superior (t Cha ⁻¹)	8,62	8,74
Mediana (t Cha ⁻¹)	7,29	7,68
Desv. estándar	1,85	1,52
Error estándar	0,59	0,48
Mínimo (t Cha ⁻¹)	4,70	5,31
Máximo (t Cha ⁻¹)	10,84	9,48

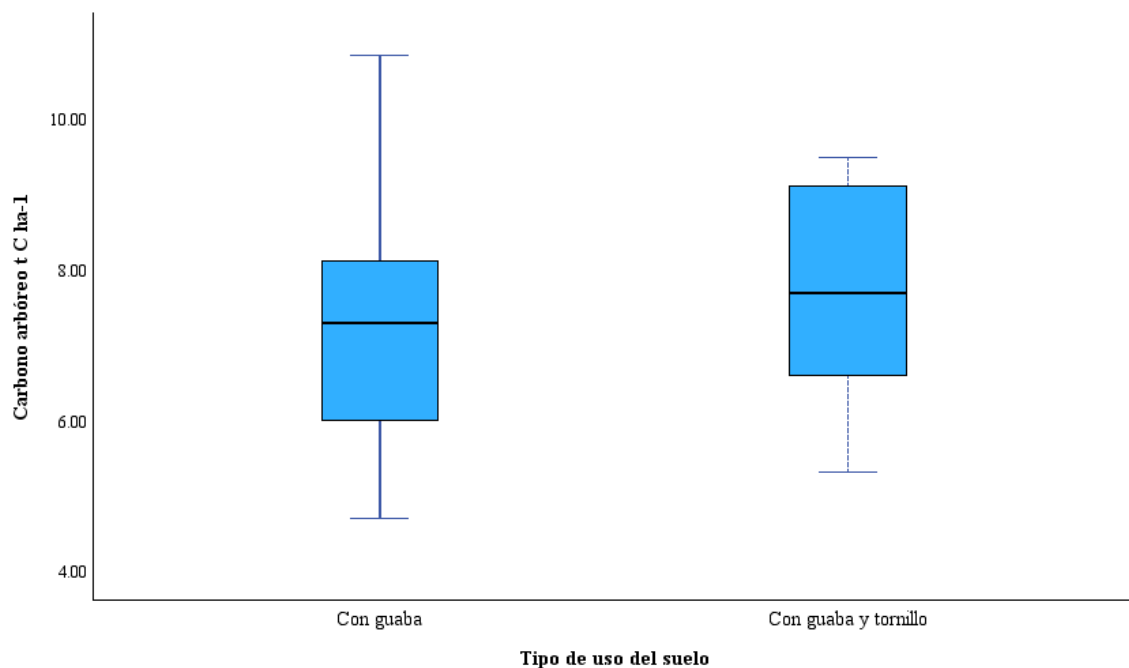


Figura 5. Diagrama de cajas de carbono del componente arbóreo por tipo de sistema de uso de suelo.

Vásquez (2015) y Timoteo (2014), obtuvieron que los sistemas agroforestales con guaba y cacao almacenan carbono significativamente en componentes arbóreos y herbáceos. Los resultados obtenidos muestran un patrón similar, aunque las diferencias no son significativas. Esto demuestra que las combinaciones específicas de especies pueden optimizar el almacenamiento de carbono, pero el efecto puede ser más pronunciado en componentes arbóreos que en la biomasa herbácea.

Esta evidenciado que el componente arbóreo no mostró diferencias significativas entre los dos sistemas de uso de suelo. Este hallazgo es consistente con los resultados en diferentes contextos, con el estudio realizado por Dávila (2022), quien reportó que la acumulación de carbono en terrazas con diferentes tipos de cobertura no siempre mostró diferencias significativas, a pesar de la diversidad de vegetación presente. Sin embargo, Zavala et al. (2019), encontró que los sistemas agroforestales diversificados tienden a acumular más carbono que los sistemas menos diversos. La biomasa arbórea también fue mayor en el sistema mixto, con 153,06 t/ha en comparación con 145,81 t/ha en el sistema con solo guaba.

En promedio, el sistema de uso de suelo con guaba y tornillo almacenó más carbono total sobre el suelo ($77,90 \text{ t C ha}^{-1}$) en comparación con el sistema con solo guaba ($75,87 \text{ t C ha}^{-1}$). Este incremento se debe principalmente al mayor almacenamiento de carbono en el componente arbóreo en el sistema con guaba y tornillo. Sin embargo, es importante destacar que también se observó un ligero aumento en el carbono almacenado en la hojarasca y en el componente herbáceo en el sistema con guaba y tornillo en comparación con el sistema con solo guaba. (Tabla 12).

Tabla 12. Carbono total sobre el suelo por componente y tipo de sistema de uso de suelo.

Carbono sobre el suelo t ha^{-1}	Tipo de sistema de uso de suelo		
	Con guaba	Con guaba y tornillo	Promedio
Herbáceo	1,64	1,84	1,74
Hojarasca	1,32	1,56	1,44
Arbóreo	72,91	76,53	74,72
Total	75,87	79,93	77,90

Se concluye que los que no hay diferencias significativas en el almacenamiento de carbono entre los sistemas de uso de suelo. Sin embargo, existe ligera tendencia hacia un mayor almacenamiento de carbono en el sistema de guaba y tornillo muestra que podría haber beneficios potenciales en la combinación de estas especies, aunque estos beneficios no son estadísticamente significativos.

4.2. Carbono almacenado de la biomasa bajo el suelo (sistemas radiculares y carbono orgánico del suelo) en los dos sistemas de uso de suelo.

4.2.1. Sistema radicular

El análisis de varianza (ANOVA) realizado para el carbono almacenado en el componente de sistema radicular por tipo de sistema de uso de suelo muestra que no hay una

diferencia significativa en el carbono radicular entre los dos tipos de sistemas evaluados ($F_c=0,5650$, $p=0,4620$). Esto muestra que, el tipo de sistema de uso de suelo (guaba vs. guaba y tornillo) no tuvo un efecto significativo en la cantidad de carbono almacenado en el sistema radicular (Tabla 13).

Tabla 13. Análisis de varianza (ANOVA) del carbono almacenado en el componente de sistema radicular por tipo de sistema de uso de suelo.

Fuente de variación	GL	SC	CM	Fc	Sig.
Sistema de uso del suelo	1	0,001	0,001	0,5650	0,4620
Error	18	0,031	0,002		
Total	19	0,032			

Los resultados muestran que no hay una diferencia significativa en la cantidad de biomasa y carbono almacenado en el componente de sistema radicular entre el sistema de uso de suelo con guaba y el sistema con guaba y tornillo. Ambos sistemas tienen valores muy cercanos, con un promedio de biomasa de $1,06 \text{ t ha}^{-1}$ y un promedio de carbono de $0,53 \text{ t C ha}^{-1}$. Esto muestra que, la combinación de guaba y tornillo no parece tener un impacto significativo en el almacenamiento de carbono en el sistema radicular en comparación con el sistema con solo guaba. Sin embargo, es importante considerar otros factores como la profundidad y distribución de las raíces, así como las interacciones con otros componentes del ecosistema, que podrían influir en estos resultados (Tabla 14).

Tabla 14. Cantidad de carbono almacenado en el componente de sistema radicular según tipo de sistema de uso de suelo.

Sistema radicular	Tipo de sistema de uso de suelo		
	Con guaba	Con guaba y tornillo	Promedio
Biomasa t ha	1,04	1,07	1,06
Carbono t C ha	0,52	0,54	0,53

Los cálculos estadísticos muestran que, en promedio, el sistema de uso de suelo con guaba y tornillo almacenó ligeramente más carbono en el componente de sistema radicular ($0,54 \text{ t C ha}^{-1}$) en comparación con el sistema con solo guaba ($0,52 \text{ t C ha}^{-1}$). Los límites inferior y superior, así como la mediana, sugieren que los valores de carbono en el componente de sistema radicular son generalmente mayores en el sistema con guaba y tornillo. Además, la desviación estándar y el error estándar son menores en el sistema con guaba y tornillo, lo que indica una menor variabilidad en los datos en comparación con el sistema con solo guaba (Tabla 15).

Tabla 15. Cálculos estadísticos de la cantidad de carbono del componente de sistema radicular según sistema de uso de suelo.

Estadísticos descriptivos	Tipo de sistema de uso de suelo	
	Con guaba	Con guaba y tornillo
Media	0,52	0,54
Límite inferior	0,49	0,51
Límite superior	0,56	0,56
Mediana	0,53	0,54
Desv. estándar	0,05	0,03
Error estándar	0,02	0,01
Mínimo	0,43	0,49
Máximo	0,62	0,58

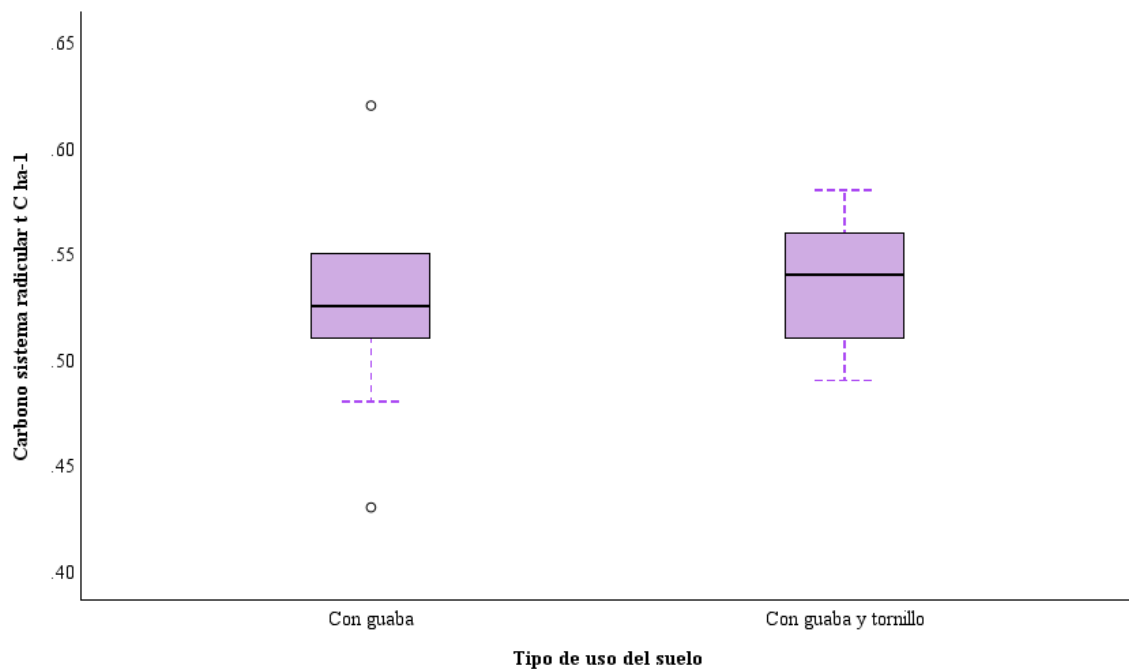


Figura 6. Diagrama de cajas de carbono del componente sistema radicular por tipo de sistema de uso de suelo.

Dávila (2022), reporta una mayor variabilidad en el almacenamiento de carbono en diferentes unidades fisiográficas, con la terraza media acumulando hasta 30,65 t C ha en raíces debido a la cobertura de pasto Camerún. Esta diferencia podría atribuirse a la naturaleza específica del sistema de pastura, que puede tener una dinámica de raíces distinta a la de los sistemas de uso de suelo con guaba y tornillo. En cambio, Alegría (2021) obtuvo en sistemas agroforestales con guaba y cacao un aumento en el almacenamiento de carbono en las raíces con el tiempo, alcanzando hasta 7,21 t C ha en sistemas de seis años a más.

Finalmente, Vásquez (2015) y Timoteo (2014) también reportan altos niveles de carbono almacenado en sistemas agroforestales de cacao y guaba, con cifras que sugieren una mayor capacidad de secuestro de carbono en suelos y biomasa subterránea en comparación con los resultados obtenidos en los sistemas de uso de suelo. Esto puede estar relacionado con la edad del sistema, la densidad de plantación y las especies utilizadas.

4.2.2. Carbono orgánico del suelo

El análisis de varianza (ANOVA) realizado para el carbono almacenado en el componente de carbono orgánico del suelo por tipo de sistema de uso de suelo muestra que no hay una diferencia significativa en el carbono orgánico del suelo entre los dos tipos de sistemas evaluados ($F=0,0340$, $p=0,8550$). Esto muestra que, el tipo de sistema de uso de suelo (guaba vs. guaba y tornillo) no tuvo un efecto significativo en la cantidad de carbono almacenado en el carbono orgánico del suelo (Tabla 16).

Tabla 16. Análisis de varianza (ANOVA) del carbono almacenado en el componente de carbono orgánico del suelo por tipo de sistema de uso de suelo.

Fuente de variación	GL	SC	CM	Fc	Sig.
Sistema de uso del suelo	1	0,365	0,365	0,0340	0,8550
Error	18	192,116	10,673		
Total	19	192,480			

El sistema de uso de suelo con guaba y tornillo almacenó ligeramente más carbono en el componente de carbono orgánico del suelo ($20,26 \text{ t C ha}^{-1}$) en comparación con el sistema con solo guaba ($19,99 \text{ t C ha}^{-1}$). Aunque la diferencia no es muy grande, sugiere que la combinación de guaba y tornillo podría tener un ligero beneficio en el almacenamiento de carbono en el carbono orgánico del suelo en comparación con el sistema con solo guaba. Sin embargo, es importante tener en cuenta que otros factores como la textura y estructura del suelo, así como las prácticas de manejo, podrían haber influido en los resultados (Tabla 17).

Tabla 17. Cantidad de carbono almacenado en el componente de carbono orgánico del suelo según tipo de sistema de uso de suelo.

Carbono orgánico del suelo	Tipo de sistema de uso de suelo		
	Con guaba	Con guaba y tornillo	Promedio
Biomasa t ha	39,98	40,52	40,25
Carbono t C ha	19,99	20,26	20,13

Los cálculos estadísticos muestran que, en promedio, el sistema de uso de suelo con guaba y tornillo almacenó ligeramente más carbono en el componente de carbono orgánico del suelo ($20,26 \text{ t C ha}^{-1}$) en comparación con el sistema con solo guaba ($19,99 \text{ t C ha}^{-1}$). Los límites inferior y superior, así como la mediana, sugieren que los valores de carbono en el componente de carbono orgánico del suelo son generalmente mayores en el sistema con guaba y tornillo. Sin embargo, es importante tener en cuenta la variabilidad en los datos, ya que la desviación estándar y el error estándar son mayores en el sistema con guaba y tornillo. Esto indica que hay una mayor dispersión de los datos en este sistema, lo que podría deberse a variaciones en la textura, estructura y contenido de materia orgánica del suelo (Tabla 18).

Tabla 18. Cálculos estadísticos de la cantidad de carbono del componente de carbono orgánico del suelo según sistema de uso de suelo.

Estadísticos descriptivos	Tipo de sistema de uso de suelo	
	Con guaba	Con guaba y tornillo
Media (t C ha^{-1})	19,99	20,26
Límite inferior (t C ha^{-1})	18,40	17,36
Límite superior (t C ha^{-1})	21,58	23,16
Mediana (t C ha^{-1})	20,37	20,56
Desv. Estándar	2,22	4,05
Error estándar	0,70	1,28
Mínimo (t C ha^{-1})	16,71	13,45
Máximo (t C ha^{-1})	22,92	25,88

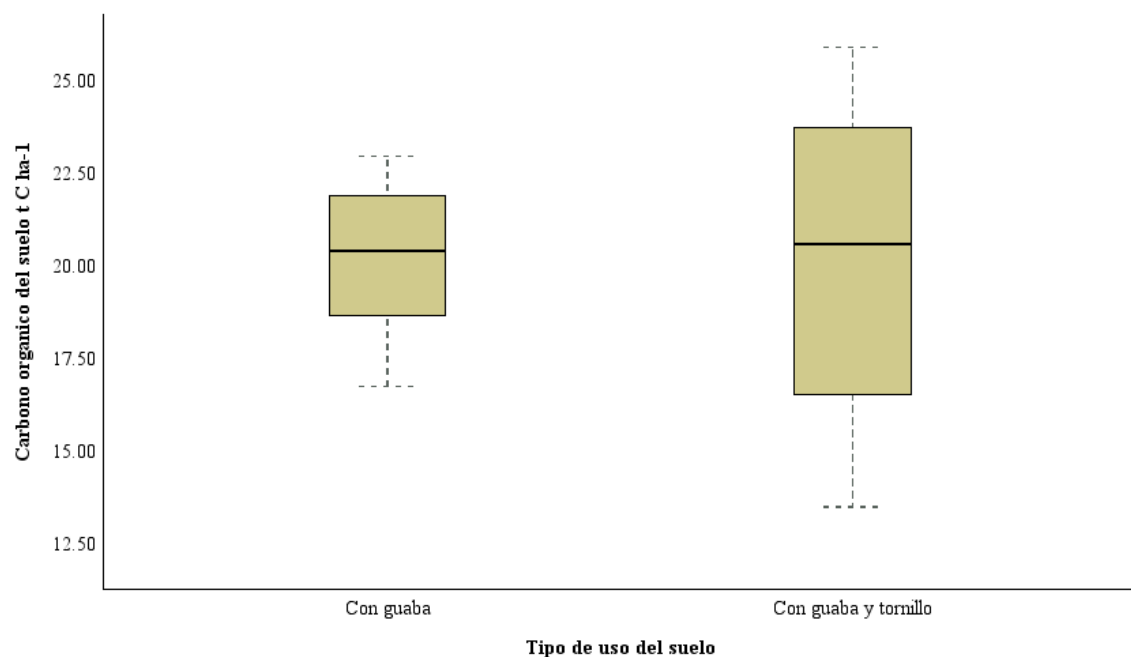


Figura 7. Diagrama de cajas de carbono del componente carbono orgánico del suelo por tipo de sistema de uso de suelo

Es preciso resaltar, que la materia orgánica del suelo (MOS) juega un papel crucial en el almacenamiento de carbono. Estudios como el de Harmand (2003) y Primavesi (1982) han demostrado que la MOS no solo contribuye a la reserva de nutrientes y mejora de la estructura del suelo, sino que también es esencial para la retención y almacenamiento de carbono a largo plazo. En este sentido, la investigación se alinea con estos estudios al subrayar la importancia de la MOS en ambos sistemas de uso de suelo evaluados.

Asimismo, la cantidad de carbono orgánico del suelo almacenado promedio es de $20,13 \text{ t C ha}^{-1}$, lo cual es consistente con algunos estudios previos, pero difiere de otros en magnitud al comparar con el estudio realizado por Dávila (2022), quien reportó una mayor acumulación de carbono orgánico del suelo en la terraza media con $32,01 \text{ t C ha}^{-1}$ debido a la presencia de pastos Camerun que contribuyen significativamente a la biomasa radicular y la descomposición de materia orgánica. Esta diferencia puede deberse a las distintas condiciones ambientales y tipos de vegetación predominantes en las áreas de estudio.

Por otro lado, Alegría (2021) obtuvo valores superiores de carbono en suelos degradados ex cacaos con sistemas agroforestales de guaba y cacao, con valores que oscilan entre $36,95 \text{ t C ha}^{-1}$ y $46,16 \text{ t C ha}^{-1}$, dependiendo del tiempo de siembra. Estos valores son notablemente más altos que los obtenidos en los sistemas de uso de suelo evaluados, lo que puede ser atribuido a la integración de cacao y la mayor antigüedad de las plantaciones, que podría resultar en una mayor acumulación de biomasa y, por ende, de carbono en el suelo.

El sistema de uso de suelo con guaba y tornillo almacenó ligeramente más carbono total bajo el suelo ($20,80 \text{ t C ha}^{-1}$) en comparación con el sistema con solo guaba ($20,51 \text{ t C ha}^{-1}$). Esta diferencia se debe principalmente al mayor almacenamiento de carbono en el sistema radicular en el sistema con guaba y tornillo. Aunque la diferencia en el carbono orgánico del suelo entre los dos sistemas es pequeña, también contribuye al mayor carbono total bajo el suelo en el sistema con guaba y tornillo (Tabla 19).

Tabla 19. Carbono total bajo el suelo por componente y tipo de sistema de uso de suelo.

Carbono bajo el suelo t ha^{-1}	Tipo de sistema de uso de suelo		
	Con guaba	Con guaba y tornillo	Promedio
Sistema radicular	0,52	0,54	0,53
Carbono orgánico del suelo	19,99	20,26	20,13
Total	20,51	20,80	20,65

En cuanto al carbono total almacenado bajo el suelo, los resultados indican un promedio de 20,65 t C ha⁻¹ cuando se suma el carbono en el sistema radicular y el carbono orgánico del suelo (Tabla 17). Esto es comparativamente más bajo que lo reportado por Vásquez (2015), quien encontró un almacenamiento total de 24,4 t C ha⁻¹ en un sistema agroforestal de cacao y guaba. La variabilidad en los resultados puede deberse a diferencias en las prácticas de manejo, el tipo de suelo y la edad de las plantaciones.

4.3. Comparar el carbono total almacenado de la biomasa (herbácea, hojarasca, arbórea, sistema radicular y carbono orgánico del suelo) en los dos sistemas de uso de suelo.

El análisis de varianza (ANOVA) para el carbono total almacenado según el tipo de sistema de uso del suelo mostró que la fuente de variación entre los sistemas tiene 1 grado de libertad y una suma de cuadrados de 94,40, resultando en un cuadrado medio de 94,40. El error, con 18 grados de libertad, presentó una suma de cuadrados de 207,82 y un cuadrado medio de 11,55. El estadístico F calculado es 8,176 con un valor de significancia de 0,010. Dado que este valor es menor que el nivel alfa de 0,05, se rechaza la hipótesis nula, indicando que hay una diferencia estadísticamente significativa en el carbono total almacenado entre los diferentes tipos de sistemas de uso del suelo evaluados (Tabla 20).

Tabla 20. Análisis de varianza (ANOVA) del carbono total almacenado por tipo de sistema de uso de suelo.

Fuente de variación	GL	SC	CM	Fc	Sig.
Sistema de uso del suelo	1	94,40	94,40	8,176	0,010
Error	18	207,82	11,55		
Total	19	302,21			

El resultado del carbono total almacenado por componente y tipo de sistema de uso de suelo. El sistema con guaba y tornillo tiene mayores cantidades de carbono almacenado en todos los componentes (herbáceo, hojarasca, arbóreo, sistema radicular y carbono orgánico del suelo) comparado con el sistema solo con guaba. Específicamente, el carbono total almacenado es 100,73 t ha⁻¹ para el sistema con guaba y tornillo y 96,38 t ha⁻¹ para el sistema solo con guaba, con un promedio de 98,55 t ha⁻¹. Estos resultados indican que la combinación de guaba y tornillo incrementa significativamente el almacenamiento de carbono en el suelo (Tabla 21).

Tabla 21. Carbono total almacenado por componente y tipo de sistema de uso de suelo.

Carbono total almacenado t ha ⁻¹	Tipo de sistema de uso de suelo		
	Con guaba	Con guaba y tornillo	Promedio
Herbáceo	1,64	1,84	1,74
Hojarasca	1,32	1,56	1,44
Arbóreo	72,91	76,53	74,72
Sistema radicular	0,52	0,54	0,53
Carbono orgánico del suelo	19,99	20,26	20,13
Total	96,38	100,73	98,55

Las estadísticas descriptivas del carbono total almacenado en dos sistemas de uso de suelo: uno con guaba y otro con guaba y tornillo. En promedio, el sistema con guaba y tornillo almacena más carbono (98,55 t ha⁻¹) que el sistema solo con guaba (96,38 t ha⁻¹). Esta diferencia se refleja también en la mediana, donde el sistema con guaba y tornillo tiene una mediana más alta (98,48 t ha⁻¹) que el sistema con guaba (96,17 t ha⁻¹). Los límites inferior y superior indican que los valores de carbono total almacenado son más consistentemente altos en el sistema con guaba y tornillo. Sin embargo, es importante tener en cuenta la variabilidad de los datos, ya que la desviación estándar y el error estándar son más altos en el sistema con guaba y tornillo, lo que muestra una mayor dispersión de los valores en este sistema. Estos resultados indican que el sistema con guaba y tornillo tiende a tener una mayor cantidad de carbono total almacenado en comparación con el sistema solo con guaba, pero también muestra una mayor variabilidad en los datos.

Tabla 22. Cálculos estadísticos de la cantidad de carbono total almacenado según sistema de uso de suelo.

Estadísticos descriptivos	Tipo de sistema de uso de suelo	
	Con guaba	Con guaba y tornillo
Media (t Cha ⁻¹)	96,38	98,55
Límite inferior (t Cha ⁻¹)	94,61	96,69
Límite superior (t Cha ⁻¹)	98,15	100,42
Mediana (t Cha ⁻¹)	96,17	98,48
Desv. estándar	2,48	3,99
Error estándar	0,78	0,89
Mínimo (t Cha ⁻¹)	92,90	92,90
Máximo (t Cha ⁻¹)	99,49	106,63

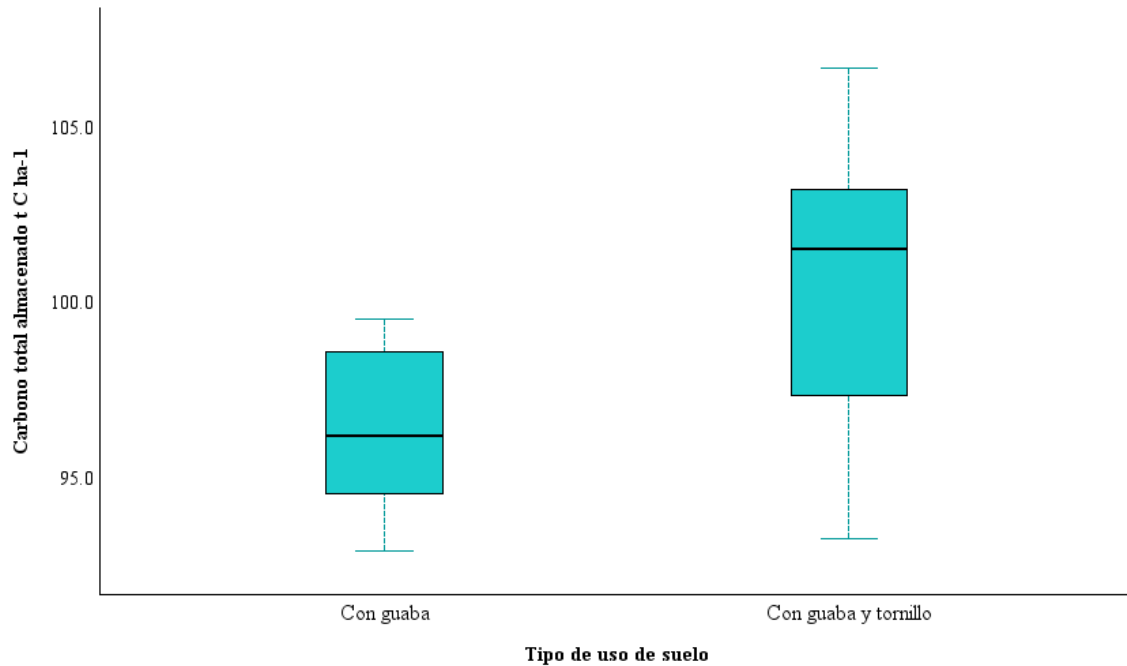


Figura 8. Diagrama de cajas de carbono total almacenado por tipo de sistema de uso de suelo

Dávila (2022) obtuvo como resultado que el almacenamiento de carbono es mayor en áreas con mayor deposición de restos vegetales aéreos, como se observó en la terraza baja no inundable. Confirmando, que el carbono arbóreo fue significativamente mayor en el sistema combinado con guaba y tornillo (76,53 t/ha) en comparación con solo guaba (72,91 t/ha), lo que sugiere que la presencia de tornillo podría estar contribuyendo a un mayor almacenamiento de biomasa arbórea. Aunque la diferencia no es extremadamente alta, estos datos apoyan la hipótesis de que sistemas agroforestales con múltiples especies pueden mejorar el almacenamiento de carbono.

Finalmente, Zavala et al. (2019) ambos destacaron que los sistemas agroforestales tienen un alto potencial para almacenar carbono en la biomasa aérea y el suelo. Los resultados obtenidos refuerzan esta observación, mostrando un carbono total almacenado de 100,73 t/ha para el sistema con guaba y tornillo y 96,38 t/ha para el sistema solo con guaba. Estos valores son comparables con los reportados por Timoteo (2014), quien encontró que los sistemas agroforestales pueden almacenar hasta 107,24 t/ha de carbono total.

V. CONCLUSIONES

1. Los análisis realizados sobre el carbono almacenado en la biomasa sobre el suelo (herbácea, hojarasca y arbórea) en dos sistemas de uso de suelo (con guaba y con guaba y tornillo), no se encontraron diferencias significativas, aunque se observó que el sistema con guaba y tornillo tiende a almacenar ligeramente más carbono que el sistema con guaba sola. Se concluye que el promedio de carbono almacenado por componente y en general es como sigue: Herbácea con $1,74 \text{ t C ha}^{-1}$, hojarasca con $1,44 \text{ t C ha}^{-1}$, arbóreo con $74,72 \text{ t C ha}^{-1}$ y total de carbono almacenado sobre el suelo $77,90 \text{ t C ha}^{-1}$.
2. En cuanto al análisis realizados sobre el carbono almacenado en la biomasa bajo el suelo (sistema radicular y carbono orgánico del suelo) en dos sistemas de uso de suelo (con guaba y con guaba y tornillo), se observó que, para los componentes sistema radicular y carbono orgánico del suelo, no se encontraron diferencias significativas, aunque se observó que el sistema con guaba y tornillo tiende a almacenar ligeramente más carbono que el sistema con guaba sola. Se concluye que el promedio de carbono almacenado por componente y en general es como sigue: sistema radicular con $0,53 \text{ t C ha}^{-1}$, carbono orgánico del suelo con $20,13 \text{ t C ha}^{-1}$ y total de carbono almacenado bajo el suelo $20,65 \text{ t C ha}^{-1}$.
3. Finalmente, el análisis realizado para comparar el carbono total almacenado en la biomasa (herbácea, hojarasca, arbórea, sistema radicular y carbono orgánico del suelo) en dos sistemas de uso de suelo (con guaba y con guaba y tornillo), se observó que, existe una diferencia estadísticamente significativa entre los dos tipos de sistema de uso del suelo. Además, el carbono total almacenado es $100,73 \text{ t ha}^{-1}$ para el sistema con guaba y tornillo y $96,38 \text{ t ha}^{-1}$ para el sistema solo con guaba, con un promedio de $98,55 \text{ t ha}^{-1}$. Finalmente, se muestra que la combinación de guaba y tornillo incrementa significativamente el almacenamiento de carbono en el suelo, se puede afirmar que es favorable en términos de mitigación del cambio climático. Sin embargo, se necesitan estudios adicionales para comprender mejor estos resultados, considerando factores como la textura y estructura del suelo, así como las prácticas de manejo.

VI. PROPUESTAS A FUTURO

1. Promover la combinación de guaba y tornillo, ya que los resultados mostraron que la combinación de guaba y tornillo tiene un impacto positivo en el almacenamiento de carbono en el suelo, especialmente en la biomasa arbórea y el carbono orgánico del suelo. Además, se recomienda promover la implementación de sistemas agroforestales que incluyan ambas especies para aumentar la captura de carbono y mejorar la sostenibilidad de los sistemas de uso de suelo.
2. Monitoreo continuo de la biomasa y el carbono almacenado en los sistemas de uso de suelo con guaba y guaba-tornillo para evaluar el impacto a largo plazo de estas prácticas en el almacenamiento de carbono. Esto ayudará a entender mejor cómo estos sistemas pueden contribuir a la mitigación del cambio climático.
3. Se sugiere llevar a cabo investigaciones adicionales para comprender mejor los mecanismos detrás del mayor almacenamiento de carbono en los sistemas con guaba y tornillo. Esto podría incluir estudios sobre la dinámica de nutrientes, la actividad microbiana y la estructura del suelo, que podrían influir en la capacidad de estos sistemas para almacenar carbono.
4. Proporcionar educación y capacitación a los agricultores y comunidades locales sobre los beneficios de los sistemas agroforestales con guaba y tornillo en términos de almacenamiento de carbono y sostenibilidad. Esto podría fomentar una mayor adopción de prácticas agroforestales en la región.
5. Establecer incentivos económicos y políticas que promuevan la adopción de sistemas agroforestales con guaba y tornillo, con el fin de fomentar prácticas sostenibles de uso del suelo y contribuir a la mitigación del cambio climático a nivel local y regional.

VII.REFERENCIAS

- Alegría Zegarra, A. S. (2021). Incorporación y almacenamiento de carbono en el suelo en un sistema agroforestal instalado en áreas degradadas en Ricardo Palma – Tingo María 2019.
- Arehart, J., Hart, J., Pomponi, F. y D'Amico, B. (2021). Secuestro y almacenamiento de carbono en el entorno construido. *Producción y Consumo Sostenible*. <https://doi.org/10.1016/J.SPC.2021.02.028>
- Ballantyne, A., Liu, Z., Anderegg, W., Yu, Z., Stoy, P., Poulter, B., Vanderwall, J., Watts, J., Kelsey, K. y Neff, J. (2021). Conciliar los procesos del ciclo del carbono desde el ecosistema hasta la escala global. *Fronteras en Ecología y Medio Ambiente*, 19 , 57-65. <https://doi.org/10.1002/fee.2296>
- Baveye, P., Berthelin, J., Tessier, D. y Lemaire, G. (2023). El almacenamiento de carbono en el suelo no es un secuestro: visualización gráfica sencilla de sus diferencias básicas. *Revista Europea de Ciencias del Suelo, 74*. <https://doi.org/10.1111/ejss.13380>
- Castellano, G. R., Santos, L. A. y Menegário, A. A. (2022). Almacenamiento de carbono en el suelo y tecnologías para aumentar las reservas de carbono en el suelo en la sabana sudamericana. *Sostenibilidad*, 14(9), 5571. <https://doi.org/10.3390/su14095571>
- Chen, J., Luo, Y., Xia, J. y Jiang, L. (2020). Una revisión de la materia orgánica del suelo: modelos, mecanismos y mediciones. *Revisiones ambientales*, 28(2), 207-222. <https://doi.org/10.1016/j.eehl.2023.12.003>
- Choi, S. & Manousiouthakis, V. (2020). Sobre el impacto del ciclo del carbono de la combustión de biomasa vegetal cosechada frente a los recursos de carbono fósil. *Computadora. Química. Ing*, 140, 106942. <https://doi.org/10.1016/j.compchemeng.2020.106942>
- Dávila Cueva, V. C. (2022). Almacenamiento de carbono en el suelo de las unidades fisiográficas del fundo CIPTALD – Tulumayo, Tingo María - Huánuco.
- Denning, A. (2021). ¿A dónde se ha ido todo el carbono? *Revista Anual de Ciencias de la Tierra y Planetarias*. <https://doi.org/10.1146/annurev-earth-032320-092010>

- Didion, M., Herold, A. y Thürig, E. (2019). Biomasa de árboles enteros y reservas de carbono. Inventario forestal nacional suizo: métodos y modelos de la cuarta evaluación. https://doi.org/10.1007/978-3-030-19293-8_14
- Disale, AS, Chavan, DP, Alameen, A. y Undre, P. (2020). Caracterización del suelo mediante propiedades físicas y químicas. *Revista de Física: Serie de conferencias*, 1644 . <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1644/1/012026>
- El Sistema Global de Información sobre Biodiversidad (GBIF). (2024, 2 de agosto). Datos. Especies. <https://www.gbif.org/es/species/search>.
- Foley, J. A., Defries, R., Asner, G. P., Barford, C., Bonan, G., Carpenter, S. R., y Snyder, P. K. (2005). Consecuencias globales del uso del suelo. *ciencia*, 309(5734), 570-574. <https://doi.org/10.1126/science.1111772>
- Gálvez, M., Fischer, W., Jaccard, S. y Eglinton, T. (2020). Materiales y vías del ciclo del carbono orgánico a través del tiempo. *Geociencia de la naturaleza*, 1-12. <https://doi.org/10.1038/s41561-020-0563-8>
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, M. del P. (2014). *Metodología de la investigación*. McGraw-Hill.
- Hoffland, E., Kuyper, T., Comans, R. y Creamer, R. (2020). Ecofuncionalidad de la materia orgánica en los suelos. *Planta y Suelo*, 455 , 1-22. <https://doi.org/10.1007/s11104-020-04651-9>
- Hurd, C., Law, C., Bach, L., Britton, D., Hovenden, M., Paine, E. R., Raven, J., Tamsitt, V. y Boyd, P. (2022). Contabilidad forense de carbono: evaluación del papel de las algas marinas en el secuestro de carbono. **Revista de Ficología, 58**. <https://doi.org/10.1111/jpy.13249>.
- Jensen, JL, Schjønning, P., Watts, C., Christensen, B., Peltre, C. y Munkholm, L. (2019). Relacionar el C del suelo y las fracciones de materia orgánica con la estabilidad estructural del suelo. *Geoderma* . <https://doi.org/10.1016/J.GEODERMA.2018.10.034>.

- Lal, R. (2018). Profundizando: una perspectiva holística de los factores que afectan el secuestro de carbono orgánico del suelo en los agroecosistemas. *Biología del cambio global*, 24(8), 3285-3301. <https://doi.org/10.1111/gcb.14054>
- Lehmann, J. y Kleber, M. (2015). La naturaleza conflictiva de la materia orgánica del suelo. *Naturaleza*, 528(7580), 60-68. <https://doi.org/10.1038/nature16069>
- MacDicken, K. 1997. Guía para monitorear el almacenamiento de carbono en proyectos forestales y agroforestales. Arlington, Instituto Internacional Winrock para el Desarrollo Agrícola. 91p.
- MINAM. 2009. Sistema Nacional de Información Ambiental. <http://sinia.minam.gob.pe/index.php?accion=verIndicador&idElementoInformacion=946&idformula=21>
- Nedd, R., Light, K., Owens, M., James, N. y Johnson, E. (2021). Una síntesis de estudios de uso y cobertura del suelo: definiciones, sistemas de clasificación, metaestudios, desafíos y lagunas de conocimiento en un paisaje global. *Tierra*, 10(9), 994. <https://doi.org/10.3390/land10090994>
- Poeplau, C. & Don, A. (2015). Secuestro de carbono en suelos agrícolas mediante el cultivo de cultivos de cobertura: un metanálisis. *Agricultura, ecosistemas y medio ambiente*, 200, 33-41. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2014.10.024>
- Plank, T. y Manning, C. (2019). Subduciendo carbono. *Naturaleza*, 574, 343-352. <https://doi.org/10.1038/s41586-019-1643-z>
- Timoteo del Águila, K. J. (2014). Carbono almacenado en tres sistemas agroforestales (SAF) durante el primer año de su instalación en el distrito de José Crespo y Castillo-Huánuco.
- Rojas, J.; Ibrahim, M.; Andrade, H. (2009). Secuestro de carbon y uso de agua en sistemas silvopastoriles con especies maderables nativas en el trópico seco de Costa Rica. *Rev. Corpoica: Ciencia y Tecnología Agropecuaria*. 10(2): 214 - 223 p.
- Rügnitz, M.T., Chacon, M.L., Porro, R. 2009. Guía para la determinación de carbono en pequeñas propiedades rurales. Lima, Perú. Centro Mundial Agroforestal (ICRAF) / Consorcio Iniciativa Amazónica (IA). 154 p

- Sousa, A. I., Lillebo, A. I., Pardal, M. A. & Marques, S. C. (2021). El papel de la basura en el secuestro de carbono en las marismas: ¿un proceso pasado por alto? *Ciencia del Medio Ambiente Total*, 755, 142549. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142549>
- Smith, P. & Gregory, PJ (2020). Sistemas de uso de la tierra en un clima cambiante: equilibrio de la producción de alimentos, la sostenibilidad ambiental y el desarrollo social. *Biología del cambio global*, 26(1), 201-216. <https://doi.org/10.1111/gcb.14878>
- Vásquez, A. 2015. Almacenamiento de carbono y valoración económica en sistemas de uso de tierra comparados con uso de cultivo de coca (*Erythroxyton coca Lam*) no distrito de José Crespo e Castillo. Tingo María, Perú. 125p
- Vopravil, J., Formánek, P. y Khel, T. (2020). Comparación de las propiedades físicas de suelos pertenecientes a diferentes grupos de suelos de referencia. *Investigación de suelos y agua*, 16 , 29-38. <https://doi.org/10.17221/31/2020-swr>
- Walker, A., Kauwe, M., Bastos, A., Belmecheri, S., Georgiou, K., Keeling, R., McMahon, S., Medlyn, B., Moore, D., Norby, R., Zaehle, S., Anderson-Teixeira, K., Battipaglia, G., Brienen, R., Cabugao, K., Cailleret, M., Campbell, E., Canadell, J., Ciais, P., Craig, M., Ellsworth, D., Farquhar, G., Fatichi, S., Fisher, J., Frank, D., Graven, H., Gu, L., Haverd, V., Heilman, K., Heimann, M., Hungate, B., Iversen, C., Joos, F., Jiang, M., Keenan, T., Knauer, J., Körner, C., Leshyk, V., Leuzinger, S., Liu, Y., MacBean, N., Malhi, Y., McVicar, T., Peñuelas, J., Pongratz, J., Powell, A., Riutta, T., Sabot, M., Schleucher, J., Sitch, S., Smith, W., Sulman, B., Taylor, B., Terrer, C., Torn, M., Treseder, K., Trugman, A., Trumbore, S., Mantgem, P., Voelker, S., Whelan, M. y Zuidema, P. (2020). Integrando la evidencia de un sumidero de carbono terrestre causado por el aumento del CO₂ atmosférico. *El nuevo fitólogo*. <https://doi.org/10.1111/nph.16866>.
- Yadav, P., Swaroop, N. y Thomas, T. (2020). Análisis de las propiedades físico-químicas y el estado de los macronutrientes disponibles de los bloques de suelo del distrito de Alwar, Rajasthan, India. *Revista Internacional de Microbiología Actual y Ciencias Aplicadas*, 9 , 1834-1842. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2020.907.211>

- Zavala Solórzano, J. W., Mansilla Minaya, L., Zavala Guerrero, S. L., & Merino Maguiña, É. G. (2019). Mitigación del cambio climático a través del secuestro y almacenamiento del carbono y evaluación de los servicios ambientales del SAF caucho o jebe (*Hevea brasiliensis*) y cacao (*Theobroma cacao* L.) en Tingo María.
- Zhao, X. y Wu, J. (2020). Sistemas de uso de la tierra: Definiciones y clasificaciones en un entorno cambiante. *Revista de ciencia del uso de la tierra*, 15 (4), 397-414. <https://doi.org/10.1080/1747423X.2020.1788752>

ANEXO

Anexo 1. Datos del componente herbáceo

Tipo de sistema	SP	Fila	Peso de Materia Verde (kg)	Peso submuestra fresca (kg)	Peso submuestra seca (kg)
CG	1	A	1,07	0,200	0,054
CG	2	A	1,57	0,200	0,057
CG	3	A	1,17	0,200	0,051
CG	4	A	1,17	0,200	0,052
CG	5	A	1,27	0,200	0,056
CG	1	B	1,07	0,200	0,047
CG	2	B	1,17	0,200	0,052
CG	3	B	1,07	0,200	0,052
CG	4	B	1,67	0,200	0,056
CG	5	B	0,97	0,200	0,059
CG-T	1	A	1,37	0,200	0,054
CG-T	2	A	1,57	0,200	0,057
CG-T	3	A	1,27	0,200	0,053
CG-T	4	A	1,47	0,200	0,057
CG-T	5	A	1,57	0,200	0,053
CG-T	1	B	1,17	0,200	0,050
CG-T	2	B	1,07	0,200	0,055
CG-T	3	B	1,27	0,200	0,052
CG-T	4	B	1,37	0,200	0,057
CG-T	5	B	1,27	0,200	0,060

CG: Con guaba

CG-T: Con guaba y tornillo

Anexo 2. Datos del componente hojarasca

Tipo de sistema	SP	Fila	Peso de Materia Verde (kg)	Peso submuestra fresca (kg)	Peso submuestra seca (kg)
CG	1	A	0,800	0,200	0,065
CG	2	A	1,200	0,200	0,074
CG	3	A	0,600	0,200	0,066
CG	4	A	0,500	0,200	0,067
CG	5	A	0,800	0,200	0,065
CG	1	B	1,300	0,200	0,056
CG	2	B	0,700	0,200	0,072
CG	3	B	1,000	0,200	0,067
CG	4	B	0,600	0,200	0,052
CG	5	B	0,700	0,200	0,057
CG-T	1	A	0,800	0,200	0,065
CG-T	2	A	1,000	0,200	0,064
CG-T	3	A	1,200	0,200	0,076
CG-T	4	A	0,900	0,200	0,067
CG-T	5	A	0,400	0,200	0,065
CG-T	1	B	0,700	0,200	0,056
CG-T	2	B	1,300	0,200	0,072
CG-T	3	B	1,200	0,200	0,067
CG-T	4	B	0,900	0,200	0,062
CG-T	5	B	0,800	0,200	0,077

CG: Con guaba

CG-T: Con guaba y tornillo

Anexo 3. Datos del componente arbóreo

Tipo de sistema	SP	Fila	Código	Especie	Dap (cm)	Alt. Tot. (m)
CG	1	A	1-1-A-1	Guaba	16,6	6
CG	1	A	1-1-A-2	Guaba	20,2	7
CG	1	A	1-1-A-3	Guaba	19	6,5
CG	1	A	1-1-A-4	Guaba	14,6	5
CG	1	A	1-1-A-5	Guaba	17,6	6
CG	1	A	1-1-A-6	Guaba	28	7
CG	1	A	1-1-A-7	Guaba	15,2	6,5
CG	1	A	1-1-A-8	Guaba	14,7	7,5
CG	1	A	1-1-A-9	Guaba	17	6
CG	1	A	1-1-A-10	Guaba	15,5	7
CG	1	A	1-1-A-11	Guaba	13,8	6,5
CG	1	A	1-1-A-12	Guaba	17,1	5
CG	1	A	1-1-A-13	Guaba	14,2	6
CG	1	A	1-1-A-14	Guaba	21	7
CG	1	A	1-1-A-15	Guaba	16,1	6,5
CG	1	A	1-1-A-16	Guaba	19,7	7,5
CG	2	A	1-2-A-1	Guaba	18,5	6
CG	2	A	1-2-A-2	Guaba	14,1	7
CG	2	A	1-2-A-3	Guaba	17,1	6,5
CG	2	A	1-2-A-4	Guaba	27,5	5
CG	2	A	1-2-A-5	Guaba	14,7	6
CG	2	A	1-2-A-6	Guaba	14,2	7
CG	2	A	1-2-A-7	Guaba	16,5	6,5
CG	2	A	1-2-A-8	Guaba	15	7,5
CG	2	A	1-2-A-9	Guaba	13,3	6
CG	2	A	1-2-A-10	Guaba	16,6	7
CG	2	A	1-2-A-11	Guaba	13,7	6,5
CG	2	A	1-2-A-12	Guaba	21	5
CG	3	A	1-3-A-1	Guaba	16,6	6
CG	3	A	1-3-A-2	Guaba	13,7	7
CG	3	A	1-3-A-3	Guaba	21	6,5
CG	3	A	1-3-A-4	Guaba	14,6	7,5
CG	3	A	1-3-A-5	Guaba	20,5	6
CG	3	A	1-3-A-6	Guaba	15,6	7
CG	3	A	1-3-A-7	Guaba	19,2	6,5
CG	3	A	1-3-A-8	Guaba	18	5
CG	3	A	1-3-A-9	Guaba	13,6	6
CG	4	A	1-4-A-1	Guaba	16,6	7
CG	4	A	1-4-A-2	Guaba	27	6,5
CG	4	A	1-4-A-3	Guaba	14,2	7,5
CG	4	A	1-4-A-4	Guaba	13,7	6

Tipo de sistema	SP	Fila	Código	Especie	Dap (cm)	Alt. Tot. (m)
CG	4	A	1-4-A-5	Guaba	16	7
CG	4	A	1-4-A-6	Guaba	14,5	6,5
CG	4	A	1-4-A-7	Guaba	12,8	5
CG	4	A	1-4-A-8	Guaba	16,1	6
CG	4	A	1-4-A-9	Guaba	13,2	7
CG	4	A	1-4-A-10	Guaba	20,5	6,5
CG	5	A	1-5-A-1	Guaba	16,3	7,5
CG	5	A	1-5-A-2	Guaba	19,9	6
CG	5	A	1-5-A-3	Guaba	18,7	7
CG	5	A	1-5-A-4	Guaba	14,3	6,5
CG	5	A	1-5-A-5	Guaba	17,3	5
CG	5	A	1-5-A-6	Guaba	27,7	6
CG	5	A	1-5-A-7	Guaba	14,9	7
CG	5	A	1-5-A-8	Guaba	14,4	6,5
CG	5	A	1-5-A-9	Guaba	16,7	7,5
CG	5	A	1-5-A-10	Guaba	15,2	6
CG	5	A	1-5-A-11	Guaba	13,5	7
CG	5	A	1-5-A-12	Guaba	16,8	6,5
CG	5	A	1-5-A-13	Guaba	13,9	5
CG	1	B	1-1-B-1	Guaba	20,7	6
CG	1	B	1-1-B-2	Guaba	15,8	7
CG	1	B	1-1-B-3	Guaba	19,4	6,5
CG	1	B	1-1-B-4	Guaba	18,2	7,5
CG	1	B	1-1-B-5	Guaba	13,8	6
CG	1	B	1-1-B-6	Guaba	16,8	7
CG	1	B	1-1-B-7	Guaba	27,2	6,5
CG	1	B	1-1-B-8	Guaba	14,4	5
CG	1	B	1-1-B-9	Guaba	13,9	6
CG	1	B	1-1-B-10	Guaba	16,2	7
CG	1	B	1-1-B-11	Guaba	14,7	6,5
CG	1	B	1-1-B-12	Guaba	13	7,5
CG	1	B	1-1-B-13	Guaba	16,3	6
CG	1	B	1-1-B-14	Guaba	13,1	7
CG	1	B	1-1-B-15	Guaba	20,4	6,5
CG	2	B	1-2-B-1	Guaba	16	5
CG	2	B	1-2-B-2	Guaba	13,1	6
CG	2	B	1-2-B-3	Guaba	20,4	7
CG	2	B	1-2-B-4	Guaba	14	6,5
CG	2	B	1-2-B-5	Guaba	19,9	7,5
CG	2	B	1-2-B-6	Guaba	15	6
CG	2	B	1-2-B-7	Guaba	18,6	7
CG	2	B	1-2-B-8	Guaba	17,4	6,5

Tipo de sistema	SP	Fila	Código	Especie	Dap (cm)	Alt. Tot. (m)
CG	2	B	1-2-B-9	Guaba	13	5
CG	2	B	1-2-B-10	Guaba	16	6
CG	2	B	1-2-B-11	Guaba	26,4	7
CG	2	B	1-2-B-12	Guaba	13,6	6,5
CG	3	B	1-3-B-1	Guaba	13,1	7,5
CG	3	B	1-3-B-2	Guaba	15,4	6
CG	3	B	1-3-B-3	Guaba	13,9	7
CG	3	B	1-3-B-4	Guaba	12,2	6,5
CG	3	B	1-3-B-5	Guaba	15,5	5
CG	3	B	1-3-B-6	Guaba	12,6	6
CG	3	B	1-3-B-7	Guaba	19,9	7
CG	3	B	1-3-B-8	Guaba	13,4	6,5
CG	3	B	1-3-B-9	Guaba	20,7	7,5
CG	3	B	1-3-B-10	Guaba	16,3	6
CG	4	B	1-4-B-1	Guaba	13,4	7
CG	4	B	1-4-B-2	Guaba	20,7	6,5
CG	4	B	1-4-B-3	Guaba	14,3	5
CG	4	B	1-4-B-4	Guaba	20,2	6
CG	4	B	1-4-B-5	Guaba	15,3	7
CG	4	B	1-4-B-6	Guaba	18,9	6,5
CG	4	B	1-4-B-7	Guaba	17,7	7,5
CG	4	B	1-4-B-8	Guaba	13,3	6
CG	4	B	1-4-B-9	Guaba	16,3	7
CG	4	B	1-4-B-10	Guaba	26,7	6,5
CG	5	B	1-5-B-1	Guaba	13,9	5
CG	5	B	1-5-B-2	Guaba	13,4	6
CG	5	B	1-5-B-3	Guaba	15,7	7
CG	5	B	1-5-B-4	Guaba	14,2	6,5
CG	5	B	1-5-B-5	Guaba	12,5	7,5
CG	5	B	1-5-B-6	Guaba	15,8	6
CG	5	B	1-5-B-7	Guaba	12,9	7
CG	5	B	1-5-B-8	Guaba	20,2	6,5
CG	5	B	1-5-B-9	Guaba	15,2	5
CG	5	B	1-5-B-10	Guaba	14,7	6
CG	5	B	1-5-B-11	Guaba	17	7
CG	5	B	1-5-B-12	Guaba	15,5	6,5
CG	5	B	1-5-B-13	Guaba	13,8	7,5
CG	5	B	1-5-B-14	Guaba	17,1	6
CG-T	1	A	2-1-A-1	Guaba	20,5	6
CG-T	1	A	2-1-A-2	Guaba	15,6	7
CG-T	1	A	2-1-A-3	Guaba	19,2	6,5
CG-T	1	A	2-1-A-4	Guaba	18	5

Tipo de sistema	SP	Fila	Código	Especie	Dap (cm)	Alt. Tot. (m)
CG-T	1	A	2-1-A-5	Guaba	13,6	6
CG-T	1	A	2-1-A-6	Guaba	16,6	7
CG-T	1	A	2-1-A-7	Guaba	27	6,5
CG-T	1	A	2-1-A-8	Guaba	14,2	7,5
CG-T	1	A	2-1-A-9	Guaba	13,7	6
CG-T	1	A	2-1-A-10	Guaba	16	7
CG-T	1	A	2-1-A-11	Guaba	14,5	6,5
CG-T	1	A	2-1-A-12	Guaba	12,8	5
CG-T	1	A	2-1-A-13	Guaba	16,1	6
CG-T	1	A	2-1-A-14	Tornillo	9,6	7
CG-T	2	A	2-2-A-1	Tornillo	10	6
CG-T	2	A	2-2-A-2	Guaba	16,3	7
CG-T	2	A	2-2-A-3	Guaba	19,9	6,5
CG-T	2	A	2-2-A-4	Guaba	18,7	5
CG-T	2	A	2-2-A-5	Guaba	14,3	6
CG-T	2	A	2-2-A-6	Guaba	17,3	7
CG-T	2	A	2-2-A-7	Guaba	27,7	6,5
CG-T	2	A	2-2-A-8	Guaba	14,9	7,5
CG-T	2	A	2-2-A-9	Guaba	14,4	6
CG-T	2	A	2-2-A-10	Guaba	16,7	7
CG-T	2	A	2-2-A-11	Guaba	15,2	6,5
CG-T	2	A	2-2-A-12	Guaba	13,5	5
CG-T	2	A	2-2-A-13	Guaba	16,8	6
CG-T	2	A	2-2-A-14	Guaba	13,9	7
CG-T	2	A	2-2-A-15	Guaba	20,7	6,5
CG-T	3	A	2-3-A-16	Guaba	15,8	6
CG-T	3	A	2-3-A-2	Guaba	19,4	7
CG-T	3	A	2-3-A-3	Guaba	18,2	6,5
CG-T	3	A	2-3-A-4	Guaba	13,8	7,5
CG-T	3	A	2-3-A-5	Guaba	16,8	6
CG-T	3	A	2-3-A-6	Guaba	27,2	7
CG-T	3	A	2-3-A-7	Guaba	14,4	6,5
CG-T	3	A	2-3-A-8	Guaba	13,9	5
CG-T	3	A	2-3-A-9	Guaba	16,2	6
CG-T	3	A	2-3-A-10	Guaba	14,7	6
CG-T	3	A	2-3-A-11	Tornillo	11	6
CG-T	4	A	2-4-A-1	Guaba	13	7
CG-T	4	A	2-4-A-2	Guaba	16,3	6,5
CG-T	4	A	2-4-A-3	Guaba	13,1	7,5
CG-T	4	A	2-4-A-4	Guaba	20,4	6
CG-T	4	A	2-4-A-5	Guaba	16	7
CG-T	4	A	2-4-A-6	Guaba	13,1	6,5

Tipo de sistema	SP	Fila	Código	Especie	Dap (cm)	Alt. Tot. (m)
CG-T	4	A	2-4-A-7	Guaba	20,4	5
CG-T	4	A	2-4-A-8	Guaba	14	6
CG-T	4	A	2-4-A-9	Guaba	19,9	7
CG-T	4	A	2-4-A-10	Guaba	15	6,5
CG-T	4	A	2-4-A-11	Guaba	18,6	6
CG-T	4	A	2-4-A-12	Guaba	17,4	7
CG-T	4	A	2-4-A-13	Guaba	13	6,5
CG-T	4	A	2-4-A-14	Tornillo	10,5	6,5
CG-T	5	A	2-5-A-1	Guaba	16	7,5
CG-T	5	A	2-5-A-2	Guaba	26,4	6
CG-T	5	A	2-5-A-3	Guaba	13,6	7
CG-T	5	A	2-5-A-4	Guaba	13,1	6,5
CG-T	5	A	2-5-A-5	Guaba	15,4	5
CG-T	5	A	2-5-A-6	Guaba	13,9	6
CG-T	5	A	2-5-A-7	Guaba	12,2	7
CG-T	5	A	2-5-A-8	Guaba	15,5	6,5
CG-T	5	A	2-5-A-9	Guaba	12,6	7,5
CG-T	5	A	2-5-A-10	Guaba	19,9	6
CG-T	5	A	2-5-A-11	Guaba	13,4	7
CG-T	5	A	2-5-A-12	Guaba	20,7	6,5
CG-T	5	A	2-5-A-13	Guaba	16,3	5
CG-T	1	B	2-1-B-1	Tornillo	9,8	6
CG-T	1	B	2-1-B-2	Guaba	13,4	6
CG-T	1	B	2-1-B-3	Guaba	20,7	7
CG-T	1	B	2-1-B-4	Guaba	14,3	6,5
CG-T	1	B	2-1-B-5	Guaba	20,2	7,5
CG-T	1	B	2-1-B-6	Guaba	15,3	6
CG-T	1	B	2-1-B-7	Guaba	18,9	7
CG-T	1	B	2-1-B-8	Guaba	17,7	6,5
CG-T	1	B	2-1-B-9	Guaba	13,3	5
CG-T	1	B	2-1-B-10	Guaba	16,3	6
CG-T	1	B	2-1-B-11	Guaba	26,7	7
CG-T	1	B	2-1-B-12	Guaba	13,9	6,5
CG-T	1	B	2-1-B-13	Guaba	26,4	7,5
CG-T	1	B	2-1-B-14	Tornillo	11,5	6
CG-T	2	B	2-2-B-1	Guaba	13,1	5
CG-T	2	B	2-2-B-2	Guaba	15,4	6
CG-T	2	B	2-2-B-3	Guaba	13,9	7
CG-T	2	B	2-2-B-4	Guaba	12,2	6,5
CG-T	2	B	2-2-B-5	Tornillo	10,6	5
CG-T	2	B	2-2-B-6	Guaba	15,5	7,5
CG-T	2	B	2-2-B-7	Guaba	12,6	6

Tipo de sistema	SP	Fila	Código	Especie	Dap (cm)	Alt. Tot. (m)
CG-T	2	B	2-2-B-8	Guaba	19,9	7
CG-T	2	B	2-2-B-9	Guaba	13,4	6,5
CG-T	2	B	2-2-B-10	Guaba	20,7	5
CG-T	2	B	2-2-B-11	Guaba	16,3	6
CG-T	2	B	2-2-B-12	Guaba	13,4	7
CG-T	2	B	2-2-B-13	Tornillo	10,4	6,3
CG-T	3	B	2-3-B-1	Guaba	20,7	7,5
CG-T	3	B	2-3-B-2	Guaba	14,3	6
CG-T	3	B	2-3-B-3	Guaba	20,2	7
CG-T	3	B	2-3-B-4	Guaba	15,3	6,5
CG-T	3	B	2-3-B-5	Guaba	18,9	5
CG-T	3	B	2-3-B-6	Guaba	17,7	6
CG-T	3	B	2-3-B-7	Guaba	20,2	7
CG-T	3	B	2-3-B-8	Guaba	19	6,5
CG-T	3	B	2-3-B-9	Guaba	14,6	7,5
CG-T	3	B	2-3-B-10	Guaba	17,6	6
CG-T	3	B	2-3-B-11	Guaba	28	6
CG-T	3	B	2-3-B-12	Tornillo	12	6,5
CG-T	4	B	2-4-B-1	Guaba	15,2	7
CG-T	4	B	2-4-B-2	Guaba	14,7	6,5
CG-T	4	B	2-4-B-3	Guaba	17	5
CG-T	4	B	2-4-B-4	Guaba	15,5	6
CG-T	4	B	2-4-B-5	Guaba	13,8	7
CG-T	4	B	2-4-B-6	Guaba	17,1	6,5
CG-T	4	B	2-4-B-7	Guaba	14,2	7,5
CG-T	4	B	2-4-B-8	Guaba	21	6
CG-T	4	B	2-4-B-9	Guaba	16,1	7
CG-T	4	B	2-4-B-10	Guaba	19,7	6,5
CG-T	5	B	2-5-B-1	Guaba	18,5	5
CG-T	5	B	2-5-B-2	Guaba	14,1	6
CG-T	5	B	2-5-B-3	Tornillo	11,4	6,4
CG-T	5	B	2-5-B-4	Guaba	17,1	7
CG-T	5	B	2-5-B-5	Guaba	27,5	6,5
CG-T	5	B	2-5-B-6	Guaba	14,7	7,5
CG-T	5	B	2-5-B-7	Guaba	14,2	6
CG-T	5	B	2-5-B-8	Guaba	20,4	7
CG-T	5	B	2-5-B-9	Guaba	14	6,5
CG-T	5	B	2-5-B-10	Guaba	19,9	5
CG-T	5	B	2-5-B-11	Guaba	15	6
CG-T	5	B	2-5-B-12	Guaba	18,6	7
CG-T	5	B	2-5-B-13	Guaba	17,4	6,5
CG-T	5	B	2-5-B-14	Tornillo	12,5	6,5

CG: Con guaba

CG-T: Con guaba y tornillo

Anexo 4. Datos del componente sistema radicular

Tipo de sistema	SP	Fila	Nivel del suelo (cm)	Peso de Materia Verde (kg)	Peso de Materia Seca (kg)
CG	1	A	0 - 10 cm	0,0889	0,0214
CG	1	A	10 -20 cm	0,1061	0,0259
CG	1	A	20 - 30 cm	0,0000	0,0000
CG	2	A	0 - 10 cm	0,0806	0,0187
CG	2	A	10 -20 cm	0,0679	0,0159
CG	2	A	20 - 30 cm	0,0557	0,0147
CG	3	A	0 - 10 cm	0,0907	0,0214
CG	3	A	10 -20 cm	0,0509	0,0142
CG	3	A	20 - 30 cm	0,0364	0,0100
CG	4	A	0 - 10 cm	0,0787	0,0164
CG	4	A	10 -20 cm	0,0724	0,0163
CG	4	A	20 - 30 cm	0,0501	0,0134
CG	5	A	0 - 10 cm	0,0924	0,0214
CG	5	A	10 -20 cm	0,0732	0,0159
CG	5	A	20 - 30 cm	0,0364	0,0100
CG	1	B	0 - 10 cm	0,0752	0,0146
CG	1	B	10 -20 cm	0,0627	0,0144
CG	1	B	20 - 30 cm	0,0364	0,0100
CG	2	B	0 - 10 cm	0,0867	0,0254
CG	2	B	10 -20 cm	0,0679	0,0159
CG	2	B	20 - 30 cm	0,0557	0,0147
CG	3	B	0 - 10 cm	0,0827	0,0164
CG	3	B	10 -20 cm	0,0697	0,0159
CG	3	B	20 - 30 cm	0,0529	0,0141
CG	4	B	0 - 10 cm	0,0887	0,0234
CG	4	B	10 -20 cm	0,0714	0,0159
CG	4	B	20 - 30 cm	0,0364	0,0100
CG	5	B	0 - 10 cm	0,0674	0,0124
CG	5	B	10 -20 cm	0,0732	0,0159
CG	5	B	20 - 30 cm	0,0592	0,0147
CG-T	1	A	0 - 10 cm	0,0889	0,0214
CG-T	1	A	10 -20 cm	0,0697	0,0159
CG-T	1	A	20 - 30 cm	0,0574	0,0147
CG-T	2	A	0 - 10 cm	0,1084	0,0260
CG-T	2	A	10 -20 cm	0,0957	0,0232
CG-T	2	A	20 - 30 cm	0,0000	0,0000
CG-T	3	A	0 - 10 cm	0,0907	0,0214
CG-T	3	A	10 -20 cm	0,0509	0,0142
CG-T	3	A	20 - 30 cm	0,0364	0,0100
CG-T	4	A	0 - 10 cm	0,0837	0,0214
CG-T	4	A	10 -20 cm	0,0714	0,0159
CG-T	4	A	20 - 30 cm	0,0501	0,0134

Tipo de sistema	SP	Fila	Nivel del suelo (cm)	Peso de Materia Verde (kg)	Peso de Materia Seca (kg)
CG-T	5	A	0 - 10 cm	0,0924	0,0214
CG-T	5	A	10 -20 cm	0,0732	0,0159
CG-T	5	A	20 - 30 cm	0,0364	0,0100
CG-T	1	B	0 - 10 cm	0,0802	0,0196
CG-T	1	B	10 -20 cm	0,0627	0,0144
CG-T	1	B	20 - 30 cm	0,0364	0,0100
CG-T	2	B	0 - 10 cm	0,0817	0,0204
CG-T	2	B	10 -20 cm	0,0579	0,0155
CG-T	2	B	20 - 30 cm	0,0557	0,0147
CG-T	3	B	0 - 10 cm	0,0877	0,0214
CG-T	3	B	10 -20 cm	0,0697	0,0159
CG-T	3	B	20 - 30 cm	0,0529	0,0141
CG-T	4	B	0 - 10 cm	0,0837	0,0184
CG-T	4	B	10 -20 cm	0,0714	0,0159
CG-T	4	B	20 - 30 cm	0,0364	0,0100
CG-T	5	B	0 - 10 cm	0,0724	0,0174
CG-T	5	B	10 -20 cm	0,0732	0,0159
CG-T	5	B	20 - 30 cm	0,0592	0,0147

CG: Con guaba

CG-T: Con guaba y tornillo

Anexo 5. Datos del componente sistema carbono orgánico del suelo

Tipo de sistema	SP	Fil a	Nivel del suelo (cm)	Volumen del cilindro (cm³)	Peso seco del suelo extraído (g)
CG	1	A	0 - 10 cm	502,66	258
CG	1	A	10 -20 cm	502,66	331
CG	1	A	20 - 30 cm	502,66	365
CG	1	B	0 - 10 cm	502,66	286
CG	1	B	10 -20 cm	502,66	177
CG	1	B	20 - 30 cm	502,66	386
CG	2	A	0 - 10 cm	502,66	357
CG	2	A	10 -20 cm	502,66	397
CG	2	A	20 - 30 cm	502,66	470
CG	2	B	0 - 10 cm	502,66	335
CG	2	B	10 -20 cm	502,66	293
CG	2	B	20 - 30 cm	502,66	336
CG	3	A	0 - 10 cm	502,66	324
CG	3	A	10 -20 cm	502,66	368
CG	3	A	20 - 30 cm	502,66	386
CG	3	B	0 - 10 cm	502,66	335
CG	3	B	10 -20 cm	502,66	430
CG	3	B	20 - 30 cm	502,66	328
CG	4	A	0 - 10 cm	502,66	408
CG	4	A	10 -20 cm	502,66	362
CG	4	A	20 - 30 cm	502,66	468
CG	4	B	0 - 10 cm	502,66	428
CG	4	B	10 -20 cm	502,66	323
CG	4	B	20 - 30 cm	502,66	437
CG	5	A	0 - 10 cm	502,66	320
CG	5	A	10 -20 cm	502,66	492
CG	5	A	20 - 30 cm	502,66	439
CG	5	B	0 - 10 cm	502,66	374
CG	5	B	10 -20 cm	502,66	321
CG	5	B	20 - 30 cm	502,66	322
CG-T	1	A	0 - 10 cm	502,66	177
CG-T	1	A	10 -20 cm	502,66	386
CG-T	1	A	20 - 30 cm	502,66	357
CG-T	1	B	0 - 10 cm	502,66	397
CG-T	1	B	10 -20 cm	502,66	470
CG-T	1	B	20 - 30 cm	502,66	335
CG-T	2	A	0 - 10 cm	502,66	293
CG-T	2	A	10 -20 cm	502,66	336
CG-T	2	A	20 - 30 cm	502,66	324
CG-T	2	B	0 - 10 cm	502,66	368

Tipo de sistema	SP	Fila	Nivel del suelo (cm)	Volumen del cilindro (cm ³)	Peso seco del suelo extraído (g)
CG-T	2	B	10 -20 cm	502,66	386
CG-T	2	B	20 - 30 cm	502,66	335
CG-T	3	A	0 - 10 cm	502,66	430
CG-T	3	A	10 -20 cm	502,66	328
CG-T	3	A	20 - 30 cm	502,66	408
CG-T	3	B	0 - 10 cm	502,66	362
CG-T	3	B	10 -20 cm	502,66	468
CG-T	3	B	20 - 30 cm	502,66	428
CG-T	4	A	0 - 10 cm	502,66	323
CG-T	4	A	10 -20 cm	502,66	437
CG-T	4	A	20 - 30 cm	502,66	320
CG-T	4	B	0 - 10 cm	502,66	492
CG-T	4	B	10 -20 cm	502,66	439
CG-T	4	B	20 - 30 cm	502,66	374
CG-T	5	A	0 - 10 cm	502,66	321
CG-T	5	A	10 -20 cm	502,66	322
CG-T	5	A	20 - 30 cm	502,66	177
CG-T	5	B	0 - 10 cm	502,66	386
CG-T	5	B	10 -20 cm	502,66	357
CG-T	5	B	20 - 30 cm	502,66	397

CG: Con guaba

CG-T: Con guaba y tornillo

Anexo 6. Datos de la densidad aparente del suelo

Tipo de sistema	Volumen del cilindro (cm ³)	Peso seco del suelo extraído (g)	Dap (g/cm ³)
CG	502,66	470	0,94
CG	502,66	468	0,93
CG	502,66	437	0,87
CG	502,66	492	0,98
CG	502,66	439	0,87
CG-T	502,66	470	0,94
CG-T	502,66	468	0,93
CG-T	502,66	437	0,87
CG-T	502,66	492	0,98
CG-T	502,66	439	0,87
Promedio			0,92

CG: Con guaba

CG-T: Con guaba y tornillo

Anexo 7. Análisis de suelos



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

Carretera Central Km 1.21 - Tingo María - CELULAR 944407531

Facultad de Agronomía - Laboratorio de Análisis de Suelos, Agua y Ecotoxicología

analisisdesuelosunas@hotmail.com



ANALISIS DE SUELOS

SOLICITANTE: KATIA DEL CASTILLO DEL CASTILLO													PROCEDENCIA: TINGO MARIA										
N°	DATOS		ANALISIS MECANICO				pH	CE	M.O.	N	P	K	CIC	CAMBIABLES Cmol(+)/kg						CICe	% Bas. Camb.	% Ac. Camb.	% Sat. Al
			Arena	Arcilla	Limo	Textura								Ca	Mg	K	Na	Al	H				
	CODIGO DEL LAB.	REFERENCIA	%	%	%	1:1	dS/m	%	%	ppm	ppm	Ca		Mg	K	Na	Al	H					
1	S1664	ODINSU 14% + SUSTRATO VIVERO	69	12	19	Franco Arenoso	6.70	2.36	1.80	0.09	67.99	370	17.73	13.04	2.18	1.57	0.94	-	-	-	100	0	0
2	S1665	COMPOST 20% + SUSTRATO VIVERO	69	11	20	Franco Arenoso	6.30	6.95	1.94	0.10	88.29	377	18.27	13.52	2.28	1.65	0.82	-	-	-	100	0	0
3	S1666	SUSTRATO VIVERO	69	12	19	Franco Arenoso	6.90	0.51	1.58	0.08	21.09	123	12.25	9.87	1.90	0.31	0.16	-	-	-	100	0	0
4	S1667	HUMUS 40% + SUSTRATO VIVERO	69	11	20	Franco Arenoso	6.89	1.67	2.59	0.13	88.41	332	16.20	12.15	2.31	1.08	0.66	-	-	-	100	0	0

MUESTREADO POR EL SOLICITANTE
RECIBO 001 N° 0661234
TINGO MARIA, 03 DE NOVIEMBRE 2022



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

Tingo María



Dr. HUGO ALFREDO HUAMANI YUPANQUI
Jefe del Laboratorio de Análisis de Suelos, Agua y Ecotoxicología

Anexo 8. Panel fotográfico

Figura 9. Delimitación de la parcela por tipo de sistema de uso de suelo.



Figura 10. Evaluación del componente herbáceo.



Figura 11. Evaluación del componente hojarasca.



Figura 12. Evaluación del componente sistema radicular y carbono orgánico del suelo.



Figura 13. Evaluación del componente arbóreo.