

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE ALTO AMAZONAS**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS**

**ESCUELA PROFESIONAL DE AGRONOMÍA**



**TESIS**

Cuantificación de biomasa y carbono en dos sistemas agroforestales y un sistema silvicultural en la región San Martín

Para optar el Título Profesional de Ingeniero Agrónomo

**PRESENTADO POR:**

Fernando Fachín Flores

(ORCID: 0000-0001-6232-8157)

**ASESOR:**

Dr. Juan Carlos Tuesta Hidalgo

(ORCID: 0000-0002-2959-1129)

**CO-ASESOR:**

PhD. Enrique Arévalo Gardini

(ORCID: 0000-0002-1725-6788)

**Yurimaguas – Perú**

**2025**



## MDJ-02. DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Dr. Marco Antonio Mathios Flores Coordinador de la Facultad de Ingeniería y Ciencias de la Escuela Profesional de Agronomía, Programa de Estudios de la Universidad Nacional Autónoma de Alto Amazonas.

### **DECLARO:**

Que el presente informe de investigación titulado : “Cuantificación de Biomasa y Carbono en dos Sistemas Agroforestales y un Sistema Silvicultural en la Región San Martín”, constituye la memoria que presenta el Bachiller Fernando Fachin Flores para aspirar al título de Profesional de Ingeniero Agrónomo Ha sido realizado en la Universidad Nacional Autónoma de Alto Amazonas bajo mi dirección.

Las opiniones y declaraciones en este informe son de entera responsabilidad del autor, sin comprometer a la institución.

Y estando de acuerdo, firmo la presente constancia en Yurimaguas, a los 6 Días del mes de Febrero Del año 2026.



---

Dr. Juan Carlos Tuesta Hidalgo  
**Asesor**

CUANTIFICACIÓN DE BIOMASA Y CARBONO DE DOS SISTEMAS  
AGROFORESTALES Y UN SISTEMA SILVICULTURAL EN LA  
REGIÓN SAN MARTÍN

**TESIS**

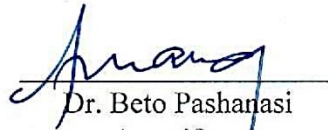
Presentada para optar el título profesional de Ingeniero Agrónomo

**JURADO CALIFICADOR**



---

Dr. Luis Alberto Arévalo  
López  
**Presidente**



---

Dr. Beto Pashanasi  
Amasifuen  
**Miembro**



---

Dr. Juan Daniel Villacis  
Fajardo  
**Miembro**



---

Dr. Juan Carlos Tuesta  
Hidalgo  
**Asesor**

**Yurimaguas, 06 de Febrero del 2026**

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE ALTO AMAZONAS**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS**

**ESCUELA PROFESIONAL DE AGRONOMÍA**

**TESIS**

Cuantificación de biomasa y carbono en dos sistemas agroforestales y un  
sistema silvicultural en la región san Martín

para optar el Título Profesional de Ingeniero Agrónomo

**PRESENTADO POR:**

Bach. Fernando Fachín Flores

**ASESOR:**

Dr. Juan Carlos Tuesta Hidalgo

**CO-ASESOR:**

PhD. Enrique Arévalo Gardini

**Yurimaguas – Perú**

**2025**

## DEDICATORIA

A mi madre, Candelaria Flores Paima, por ser el pilar de mi vida, por su amor incondicional, su ejemplo de esfuerzo y por enseñarme con su humildad el verdadero valor del trabajo y la perseverancia.

A mis hermanos Luis Vásquez Flores, Rosario Vásquez Flores y Lourdes Rengifo Flores, por su apoyo constante, por creer en mí en cada paso de este camino y por ser parte esencial de mi formación como persona.

A mi sobrino José Antonio Santillán Vásquez, con cariño, por inspirarme a seguir superándome.

A mi esposa, Paquita del Pilar Del Castillo Chota, compañera incansable, por su comprensión, paciencia y por caminar a mi lado en los momentos más difíciles y más felices.

A mis hijos, Franz Fachín Del Castillo, María Candy Fachín Del Castillo y Rosario de Jesús Fachín Del Castillo, por ser mi mayor motivación, mi motor diario y la razón más profunda para seguir construyendo un futuro mejor. Este logro es también de ustedes.

## AGRADECIMIENTO

Expreso mi más profundo agradecimiento al Dr. Juan Carlos Tuesta Hidalgo, asesor principal de esta investigación, por su valiosa orientación, paciencia y compromiso durante todo el desarrollo de esta tesis. Su experiencia y acompañamiento fueron fundamentales para culminar con éxito este trabajo.

Agradezco también al Dr. Enrique Arévalo Gardini, co-asesor, por su constante apoyo técnico y académico, así como por compartir sus conocimientos y sugerencias que enriquecieron significativamente los resultados de esta investigación.

De manera especial, reconozco el valioso respaldo del Sr. Pedro Mendoza Tamani, por su colaboración desinteresada y su disposición para contribuir en diversas etapas del proceso investigativo.

A todos, mi gratitud por haber sido parte importante de este logro.

## RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo cuantificar la biomasa y el carbono almacenado en dos sistemas agroforestales (SAF guaba–cacao y SAF jaca–cacao) y en un sistema silvicultural en la región San Martín, Perú. Se evaluaron cinco componentes: biomasa arbórea, hojarasca, necromasa, herbácea y carbono del suelo. El estudio se desarrolló bajo un diseño completamente al azar, con tres tratamientos y cinco repeticiones. La biomasa se estimó mediante ecuaciones alométricas específicas y el carbono se calculó aplicando un factor de conversión estándar (0.45). Los datos fueron analizados mediante la prueba de Kruskal–Wallis y la comparación múltiple de Dunn–Bonferroni. El sistema silvicultural presentó los mayores valores de biomasa total (173.2 t/ha) y carbono total (77.95 t C/ha), aunque sin diferencias estadísticas significativas respecto a los SAF. Se detectaron diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) únicamente en la necromasa fina, con valores superiores en el sistema silvicultural frente a los sistemas agroforestales. No se observaron diferencias significativas en hojarasca, herbácea ni en el carbono del suelo. En conclusión, los tres sistemas muestran un adecuado potencial de almacenamiento de carbono, evidenciando la influencia del tipo de sistema y la composición de especies en la dinámica de biomasa y carbono.

**Palabras claves:** Amazonía peruana, alometría forestal biomasa, carbono, y sistemas agroforestales.

## ABSTRACT

This study aimed to quantify biomass and stored carbon in two agroforestry systems (AFS guaba–cacao and AFS jackfruit–cacao) and in a silvicultural system in the San Martín region, Peru. Five components were evaluated: tree biomass, litterfall, necromass, herbaceous biomass, and soil carbon. The study was conducted under a completely randomized design with three treatments and five replications. Biomass was estimated using specific allometric equations, and carbon was calculated using a standard conversion factor (0.45). Data were analyzed using the Kruskal–Wallis test and the Dunn–Bonferroni multiple comparison test. The silvicultural system showed the highest values of total biomass (173.2 t/ha) and total carbon (77.95 t C/ha), although no statistically significant differences were found compared to the agroforestry systems. Significant differences ( $p < 0.05$ ) were detected only in fine necromass, with higher values in the silvicultural system compared to the agroforestry systems. No significant differences were observed in litterfall, herbaceous biomass, or soil carbon. In conclusion, all three systems showed an adequate potential for carbon storage, highlighting the influence of system type and species composition on biomass and carbon dynamics.

**Keywords:** Peruvian Amazon, forest allometry, biomass, carbon, and agroforestry systems.

## INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas, el cambio climático se ha convertido en una de las mayores amenazas ambientales a nivel global, impulsado principalmente por el incremento de gases de efecto invernadero (GEI) en la atmósfera, entre ellos el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) (Nunes, 2023). La deforestación y el uso no sostenible del suelo representan fuentes significativas de emisiones de carbono, especialmente en regiones tropicales como la Amazonía. Frente a esta problemática, los sistemas agroforestales y silviculturales emergen como alternativas viables que permiten combinar la producción agrícola o forestal con la conservación de los servicios ecosistémicos, particularmente el secuestro y almacenamiento de carbono en la biomasa vegetal y el suelo.

En el contexto amazónico, estos sistemas han demostrado ser eficaces para mantener o incluso mejorar la cobertura vegetal, promover la regeneración del bosque, conservar la biodiversidad y aumentar la productividad sostenible del suelo. Sin embargo, existe una brecha considerable en la cuantificación precisa del carbono almacenado en los diferentes componentes de estos sistemas, especialmente en zonas específicas como la región San Martín, donde la expansión agrícola y ganadera ha desplazado amplias áreas de bosque primario.

La presente investigación se desarrolló con el objetivo de cuantificar la biomasa y el contenido de carbono en tres sistemas agroforestales: cacao + con *Inga edulis* (guaba), cacao + *Artocarpus heterophyllus* (jaca) y sistemas silviculturales con especies forestales maderables en la región San Martín. A través del análisis de diversos componentes del ecosistema (biomasa arbórea, herbácea, hojarasca, necromasa, y carbono edáfico), se busca comparar el potencial de almacenamiento de carbono de cada sistema y generar evidencia técnica que contribuya al diseño de estrategias sostenibles de uso del suelo en la Amazonía peruana.

Este estudio se justifica en la necesidad de disponer de datos locales y nacionales actualizados que permitan valorar los beneficios de estos sistemas productivos. Además, pretende aportar al cumplimiento de compromisos internacionales asumidos por el Perú, como el Acuerdo de París y las Contribuciones Nacionalmente Determinadas (NDC), orientadas a la reducción de emisiones mediante acciones de mitigación basadas en el uso sostenible del territorio. En ese sentido, la presente tesis no solo tiene un valor académico, sino también una proyección práctica en la formulación de políticas públicas ambientales y en la promoción de prácticas agroforestales sostenibles en regiones de alta sensibilidad ecológica.

## ÍNDICE

DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTO	iii
RESUMEN	iv
ABSTRACT	v
INTRODUCCIÓN	vi
ÍNDICE	.viii
ÍNDICE DE TABLAS	x
CAPITULO I. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	12
1.1. Identificación y determinación del problema	12
1.2. Delimitación de la investigación	12
1.3. Formulación del problema	13
1.3.1. Problema general	13
1.3.2. Problemas específicos	14
1.4. Formulación de objetivos	14
1.4.1. Objetivo general	14
1.4.2. Objetivos específicos	14
1.5. Justificación de la investigación	14
CAPITULO II. MARCO TEÓRICO	16
2.1. Antecedentes de estudio	16
2.2. Bases teóricas – científicas	19
2.3. Definición de términos básicos	26
2.4. Formulación de hipótesis	26
2.4.1. Hipótesis nula	26
2.4.2. Hipótesis alternativa	27
2.5. Identificación de variables	27
2.6. Operacionalización de variables	27
CAPÍTULO III. METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN	28
3.1. Tipo de investigación	28
3.2. Nivel de investigación	28
3.3. Métodos de investigación	28
3.4. Diseño de investigación	29
3.5. Población y muestra	30

3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	30
3.7. Técnicas de procesamiento y análisis de datos	31
3.8. Tratamiento estadístico	31
3.9. Orientación ética, filosófica y epistemológica	31
CAPITULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES	32
4.1. Descripción del trabajo de campo y laboratorio	32
4.2. Presentación, análisis de resultados	38
4.3. Prueba de hipótesis	50
4.4. Discusión de resultados	51
CONCLUSIONES	63
RECOMENDACIONES	64
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	65
ANEXOS	77

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Operacionalización de variables	27
<b>Tabla 2.</b> Test de Kruskal-Wallis y Post-Hoc de Dunn-Bonferroni aplicado a biomasa	38
<b>Tabla 3.</b> Test de Kruskal-Wallis y Post-Hoc de Dunn-Bonferroni aplicado a carbono	39
<b>Tabla 4.</b> Test de Kruskal-Wallis y Post-Hoc de Dunn-Bonferroni aplicado a biomasa y carbono total	39

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Distribución de biomasa arbórea en los sistemas evaluados (t/ha)	40
<b>Figura 2.</b> Distribución de carbono arbóreo en los sistemas evaluados (t C/ha)	41
<b>Figura 3.</b> Distribución de biomasa de hojarasca en los sistemas evaluados (t/ha)	42
<b>Figura 4.</b> Distribución de carbono en hojarasca en los sistemas evaluados (t C/ha)	43
<b>Figura 5.</b> Distribución de biomasa de necromasa en los sistemas evaluados (t/ha)	44
<b>Figura 6.</b> Distribución de carbono en necromasa en los sistemas evaluados (t C/ha)	45
<b>Figura 7.</b> Distribución de biomasa herbácea en los sistemas evaluados (t/ha)	46
<b>Figura 8.</b> Distribución de carbono en herbácea en los sistemas evaluados (t C/ha)	47
<b>Figura 9.</b> Distribución de carbono en suelo en los sistemas evaluados (t C/ha)	48
<b>Figura 10.</b> Distribución de biomasa total en los sistemas evaluados (t/ha)	49
<b>Figura 11.</b> Distribución de carbono total en los sistemas evaluados (t C/ha)	50

## CAPITULO I. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

### 1.1. Identificación y determinación del problema

Los sistemas agroforestales han demostrado tener efecto positivo en la mitigación de la concentración del CO<sub>2</sub> en la atmósfera (Casanova-Lugo *et al.*, 2011), es por ello que, en nuestro país se han desarrollado esfuerzos en sistemas de producción del cultivo de cacao con especies forestales de lento y rápido crecimiento, así como también con especies que únicamente le brindan sombra (SERFOR, 2021).

En la Amazonía peruana, los bosques almacenan entre 100 y 400 toneladas de biomasa aérea por hectárea (Armas *et al.*, 2009), jugando un rol vital en la captura de carbono atmosférico. Existen diferentes especies que se instalan como monocultivos o asociadas, formando algunos sistemas de producción los cuales contribuyen a una importante acumulación de biomasa y por consecuencia captura de CO<sub>2</sub>, en muchos de estos sistemas, aún no se ha determinado la cantidad de biomasa acumulada y carbono capturado.

En la región San Martín se cuenta con sistemas agroforestales asociados con cultivos de cacao, en los cuales no se han determinado la acumulación de biomasa ni la cantidad de carbono atmosférico que capturan, por lo que la presente investigación tiene como propósito determinar la cantidad de biomasa y carbono total en dos sistemas agroforestales y un sistema silvicultural en la región San Martín.

### 1.2. Delimitación de la investigación

Delimitación espacial: La investigación se desarrolló en la región de San Martín, Perú, específicamente en la Estación Experimental del Instituto de Cultivos Tropicales (ICT), donde se implementaron y evaluaron los sistemas de uso de la tierra seleccionados.

Delimitación conceptual: El estudio se orientó a la cuantificación de biomasa y carbono almacenado en los diferentes componentes del ecosistema presentes en los sistemas agroforestales y silviculturales. Se evaluaron de manera diferenciada los siguientes componentes:

- Biomasa Arbórea Aérea: correspondiente a los árboles presentes en cada sistema.
- Biomasa Herbácea: integrada por especies de sotobosque y vegetación de porte bajo.
- Hojarasca: comprendida por el material foliar en descomposición acumulado sobre el suelo.
- Necromasa Fina: constituida por ramas y restos vegetales en estado de descomposición.
- Suelo: en el cual se cuantificó el carbono orgánico almacenado en diferentes profundidades.

Delimitación poblacional: La población de estudio estuvo constituida por las especies vegetales que conforman los sistemas agroforestales con cacao (guaba–cacao y jaca–cacao) y el sistema silvicultural. No se incluyó en la investigación la fauna asociada ni los microorganismos del suelo, dado que el enfoque estuvo dirigido exclusivamente a la biomasa vegetal y al carbono almacenado en los componentes mencionados.

### **1.3. Formulación del problema**

#### **1.3.1. Problema general**

- ¿Cuánto es la cantidad de biomasa y carbono total en dos sistemas agroforestales y un sistema silvicultural en la región San Martín?

### **1.3.2. Problemas específicos**

- ¿Cuánto es la cantidad de carbono en la biomasa arbórea, herbácea y hojarasca de dos sistemas agroforestales y un sistema silvicultural en la región San Martín?
- ¿Cuánto es la cantidad de carbono en la necromasa de dos sistemas agroforestales y un sistema silvicultural en la región San Martín?
- ¿Cuánto es la cantidad de carbono almacenado en el suelo de dos sistemas agroforestales y un sistema silvicultural en la región San Martín?

## **1.4. Formulación de objetivos**

### **1.4.1. Objetivo general**

- Determinar la biomasa y carbono total en dos sistemas agroforestales y un sistema silvicultural en la región San Martín.

### **1.4.2. Objetivos específicos**

- Determinar el carbono almacenado en la biomasa arbórea, herbácea y hojarasca de dos sistemas agroforestales y un sistema silvicultural en la región San Martín.
- Estimar el carbono almacenado en la biomasa de la necromasa de dos sistemas agroforestales y un sistema silvicultural en la región San Martín.
- Determinar el carbono almacenado en el suelo de dos sistemas agroforestales y un sistema silvicultural en la región San Martín.

## **1.5. Justificación de la investigación**

Desde el punto de vista social y ambiental, este estudio permite evaluar el potencial de retención de carbono atmosférico de los sistemas agroforestales y silvicultural. Esta información es crucial en el contexto actual de cambio climático, ya que contribuye a comprender mejor el papel de estos sistemas en la mitigación de gases de efecto invernadero. Además, el proyecto busca concientizar a la población

campesina sobre los beneficios ambientales y productivos de los sistemas agroforestales como alternativa sostenible a los sistemas convencionales de cultivo.

Económicamente, los resultados de esta investigación podrían fomentar el uso de especies maderables en conjunto con especies frutales, lo que podría traducirse en una mayor productividad y sostenibilidad para los agricultores de la región de San Martín.

En cuanto a su utilidad teórica y práctica, este estudio pone las bases para futuras investigaciones sobre el potencial y el mejoramiento de sistemas agroforestales de producción en la Amazonía peruana. El conocimiento generado permitirá comprender mejor los métodos naturales mediante los cuales los ecosistemas equilibran las concentraciones de carbono en la atmósfera, lo que tiene implicaciones prácticas para la gestión ambiental y agrícola.

Metodológicamente, el proyecto se destaca por su enfoque claro y sencillo, lo que facilitará su replicación en otros contextos. Esto no solo aumenta el valor científico del estudio, sino que también permite a otros investigadores realizar mejoras y adaptaciones según sus necesidades específicas, fomentando así el avance continuo en este campo de estudio.

## CAPITULO II. MARCO TEÓRICO

### 2.1. Antecedentes de estudio

Surco-Huacachi & Garate-Quispe (2022), cuantificaron el contenido de carbono en sistemas agroforestales con cacao en cuatro distritos de Madre de Dios. Se midió el carbono del suelo, hojarasca y vegetación, mediante metodologías aceptadas por el ICRAF (Arévalo et al., 2003). Para ello, se evaluaron cuatro sistemas agroforestales con cacao en diferentes edades (8, 10, 12 y 15 años). El sistema con mayor acumulación de carbono aéreo fue el de 12 años (131,83 t/ha), con *Bertholletia excelsa* (castaña), *Jacaranda copaia* (huamansamana achihua) y *Schizolobium parahyba* (pashaco). Concluyeron que las diferentes edades del sistema agroforestal combinado con cacao presentan distintos niveles de almacenamiento de carbono total.

Salvador-Morales *et al.*, (2020), evaluaron el efecto de la edad de sistemas agroforestales de cacao sobre la diversidad arbórea y captura de carbono en su vegetación de sombra. Compararon 258 parcelas distribuidas en 11 sistemas agroforestales entre 10 años y 70 años, totalizando 7.87 ha. Sus resultados mostraron que los sistemas de 70 años presentaban en promedio más especies arbóreas por

hectárea y más carbono almacenado (75 t/ha) que los de 10 años. La ecuación alométrica específica estimó un 27.7% más de biomasa que la general ( $p = 0.05$ ).

Avellán Rivera *et al.*, (2020), determinaron el carbono almacenado en biomasa aérea de un sistema agroforestal (SAF) en Nicaragua. El sistema tenía una biomasa aérea de 10.35 toneladas (t), distribuidas así: 0.44 t en frutales, 4.70 t en forestales y 5.21 t en cacao. Como banco de carbono, el SAF almacenaba 1.44 t de carbono por hectárea (C/ha) en biomasa de especies forestales y frutales, mientras que el cacao aportaba 1.47 t C/ha adicionales, totalizando 2.91 t C/ha.

Salvador-Morales *et al.*, (2019), evaluaron la diversidad, estructura arbórea y carbono almacenado en sistemas agroforestales de cacao (SAFC) en México. Para ello, inventariaron los SAFC para determinar la diversidad mediante los índices de Shannon-Wiener y Sorenson, la estructura arbórea con el índice de valor de importancia, clases diamétricas y altura, y la biomasa aérea estimada con ecuaciones alométricas para calcular el carbono. La edad y tipo de suelo determinaron el carbono en biomasa aérea. El 75% del carbono se almacenó en los árboles de sombra y el 25% en el cacao.

Patiño Forero *et al.*, (2018), estimaron la biomasa total y el almacenamiento y fijación de carbono en plantaciones forestales (PF) y sistemas agroforestales (SAF), como indicador de mitigación del cambio climático. Estimaron el carbono almacenado en biomasa aérea (BA) y bajo suelo (BAS) en 7 PF y SAF. Midieron la altura total y el DAP en árboles con DAP >10 cm y el D30 en cacao, en parcelas de muestreo de diferente tamaño. La BA se estimó con modelos alométricos o factores de expansión. La BAS con un modelo IPCC. Las PF almacenaron entre 18.6 y 64.4 t

C/ha; los SAF 85.9 t C/ha en promedio. La tasa de fijación de carbono fue de 1.4 y 4.9 t C/ha/año para PF y SAF, respectivamente, dependiendo de la edad.

Zavala *et al.*, (2018), evaluaron el efecto de tres sistemas agroforestales (SAF), con cacao sobre la captura y almacenamiento de carbono en biomasa arbustiva, arbórea y suelo. Los SAF tenían edades menores de 8 años, entre 8 a 16 años y mayores de 16 años, en diferentes unidades fisiográficas. Usaron un diseño completamente al azar, el método alométrico y el método Walkley y Black para carbono orgánico. El mayor almacenamiento de carbono total lo tuvo el SAF >16 años con 344.24 t C/ha, seguido del de 8 a 16 años con 178.61 t C/ha y el <8 años con 154.91 t C/ha. El SAF <8 años tuvo más carbono orgánico en suelo en la capa de 0 a 10 cm, con 66.16 t C/ha.

Vilchez (2014), realizó un ensayo para contribuir con información técnica base de datos para elaborar proyectos de comercialización de créditos de carbono mediante sistemas agroforestales de cacao en la amazonía peruana, como sumideros de gases de efecto invernadero y motor de desarrollo para productores. Usó estadística descriptiva y comparativa para cuantificar las reservas de carbono en un sistema agroforestal con cacao en San Martín. El estudio fue en la EE-ICT en Tarapoto, sector Laguna Venecia. Los resultados mostraron que el mayor contenido de biomasa estuvo en la hojarasca con 38.71 t/ha, luego especies arbóreas vivas con 10.34 t/ha, árboles caídos muertos 7.34 t/ha y arbustos/hierbas 1.95 t/ha. Del total de biomasa aérea (58.54 t/ha), el 66,12% estuvo en hojarasca por abscisión de hojas de cacao, 17.66% en especies arbóreas, 12.54% en árboles caídos y 3.33% en arbustos/hierbas. En carbono también predominó la hojarasca con 17.42 t/ha, luego biomasa arbórea viva con 4.65 t/ha, árboles caídos con 3.30 t/ha y arbustos/hierbas 0.88 t/ha (66.36%, 17.74%, 12.57% y 3.35% del total de 26.25 t/ha, respectivamente). El carbono orgánico en suelo

decrecieron con la profundidad, con valores de -0.401 y -0.2474. No hubo lógica secuencial de carbono por horizonte sino por volumen y densidad aparente. El horizonte 40-100 cm tuvo 23.88 t/ha de C, luego 0-10 cm con 14.098 t/ha, 20-40 cm con 12.035 t/ha y 10-20 cm con 8.383 t/ha.

Larrea (2007), evaluó siete sistemas de uso de tierra con cultivo de cacao de 3, 6 y 8 años en la provincia de Mariscal Cáceres, San Martín. Cada sistema tenía diferente sombra, distanciamiento y manejo. Se determinó la ecuación alométrica  $Biomasa = 0.4849 \times Diámetro^{1.42}$  para estimar la biomasa de cacao a partir de inventarios, con base en 30 árboles de zonas similares. Los sistemas con especies forestales y frutales presentaron mayor carbono en biomasa aérea arbórea. Además, favorecieron la hojarasca para conservar el suelo y controlar malezas. Los flujos de fijación de C fluctuaron de 0.99 a 8.02 t C/ha/año según sistema.

## **2.2. Bases teóricas – científicas**

### **2.2.1. Sistemas de producción de cacao**

El árbol del cacao, *Theobroma cacao L.*, es un árbol pequeño con una altura media de cinco a siete metros, alcanza su pleno crecimiento a los diez años de edad aproximadamente, la longevidad registrada es de entre 30 y 40 años (De Souza *et al.*, 2018).

El cacao, para su cultivo presenta requisitos como temperatura entre 23 – 25°C, 1500 - 2000 mm/año de precipitación, de 70 a 100% de humedad, las plantas jóvenes necesitan de 70 a 80% de sombra, suelo rico en materia orgánica, minerales y con aprovechamiento eficaz del agua, además que se debe evitar zonas con ráfagas violentas de viento (De Souza *et al.*, 2018).

Normalmente, el cacao requiere de una asociación con otras especies vegetales, cuyo fin es darle sombra, tanto durante el establecimiento como durante la producción. La sombra funciona como un elemento regulador de la actividad fisiológica del árbol del cacao, a través de la mayor o menor cantidad de luz que le proporciona a la planta, además de ofrecer condiciones ambientales estables, sin fluctuaciones bruscas de temperatura y humedad (Gramacho *et al.*, 1992).

Según Paredes (2003), los sistemas tradicionales productivos de cacao en el Perú poseen una particular organización económica, que actúa en baja equivalencia, lo cual se traduce en que, los agricultores direccionan su producción al sustento familiar proporcionando crecimiento económico, contribuyendo a la generación de empleos en el campo, reduciendo el éxodo rural y produciendo alimentos saludables, mejorando la calidad de vida urbana.

#### **2.2.1.1. SAF jaca y cacao sin mucha sombra**

Los sistemas de producción de cacao en cobertura con especies maderables proporcionan nutrientes para el desarrollo de las plantas al absorber los nutrientes necesarios para su producción (Puertas, 2009).

La jaca *Artocarpus heterophyllus* es una especie de árbol de la familia de las moráceas (*Moraceae*) es conocido por otros nombres: jackfruit en inglés, pan de pobre, yaca, nanca, nanjea, panapén, etc. Es originaria de las regiones occidentales de la India y Malasia y también se encuentra en África, Asia, en algunas partes de centro, norte América y el Caribe y también Sudamérica (Elevitch & Manner, 2006). Es un árbol grande, de hoja perenne, de 10-15 m de altura, y crece entre alturas de 450-1.200 m, el tallo de esta planta es recto y áspero, mientras que la corteza es verde o negra, de 1.25 cm de grosor, exuda látex lechoso, hojas anchas obovadas,

elípticas, decurrentes, glabras, inflorescencia entera axilares solitarios, cauliforos y ramiformes en brotes de hojas cortas (Prakash *et al.*, 2009b).

La pulpa de la jaca cruda posee aproximadamente 74 % de agua, 23 % de carbohidratos, 2 % de proteínas y 1 % de grasa, aportando cerca de 95 kcal por cada 100 g. Es rica en vitamina B<sub>6</sub> (aproximadamente 25 % del valor diario), vitamina C y potasio (10-19 % del valor diario) (Prakash *et al.*, 2009).

Las semillas destacan por su contenido de proteínas, carbohidratos y fitoquímicos como lignanos, isoflavonas y saponinas, con efectos potenciales antioxidantes, anticancerígenos y anti-envejecimiento (De Sousa *et al.*, 2025).

La asociación de jaca y cacao está desarrollada en Brasil desde hace ya muchos años, se pueden encontrar estos sistemas agroforestales de asociación principalmente en la región costera del estado federal e Bahia, el nombre que recibe es el de sistema agroforestal cabruca (De Souza *et al.*, 2018). Buscar más información de jaca en diferentes estados de Brasil.

#### **2.2.1.2. SAF guaba y cacao**

La guaba (*Inga edulis*) es un árbol nativo de América Central, el Caribe y la amazonía, adaptado a climas cálidos y suelos diversos (Lorenzi, 1992; Silva *et al.*, 2013). Se caracteriza por su gran tamaño, alcanzando hasta 30 metros de altura, con una copa densa y ancha, sus hojas son compuestas y sus flores blancas producen frutos comestibles (Quijia-Quijia *et al.*, 2020).

El cultivo de esta especie requiere un manejo específico, con densidades de siembra entre 70 a 150 árboles por hectárea, espaciamiento de 12x12 metros y el control de malezas en etapas tempranas y poda limitada a ramas secas (Quijia-Quijia *et al.*, 2020).

Este árbol es valorado por múltiples usos en agricultura, porque proporciona sombra a cultivos perennes y mejora la calidad del suelo, además previene la erosión y mantiene la humedad del suelo; y económicamente por su uso en la industria maderera y alimenticia (Quijia-Quijia *et al.*, 2020; Silva *et al.*, 2013).

Los sistemas asociados de guaba con cacao son usados principalmente por la sombra que brinda la guaba, además de servir como fuente de nutrientes para el cacao; la guaba se caracteriza por ser un árbol de rápido crecimiento, también genera abundante volúmenes de biomasa, fija y recicla nitrógeno en el suelo en beneficio del sistema y, al contrario que otras especies, no representa peligro para el cacao debido a su baja demanda de nutrientes (Concha *et al.*, 2007).

### **2.2.2. Sistema silvicultural**

Un sistema forestal es un enfoque planificado y dinámico de gestión y desarrollo de áreas boscosas, que implica una serie de intervenciones y procesos dirigidos a transformar un estado inicial de vegetación en un bosque con características específicas y deseadas (Van Voss *et al.*, 2001).

Los bosques juegan un papel crucial en el ciclo global del carbono y son reconocidos mundialmente por los servicios ecosistémicos que proporcionan (Pan *et al.*, 2011). En el contexto del cambio climático global, los gobiernos han identificado el mejoramiento de los sumideros de carbono forestales como una estrategia fundamental para alcanzar la neutralidad de carbono (Grassi *et al.*, 2017). Esta iniciativa refleja la creciente comprensión del potencial de los bosques para mitigar los efectos del cambio climático.

En respuesta a estos desafíos, se han implementado programas de restauración forestal a diversas escalas. Estos programas, que incluyen la implementación de sistemas forestales tanto a pequeña como a gran escala, tienen objetivos múltiples. Entre ellos se encuentran la restauración y mejora de servicios ecosistémicos clave, como el almacenamiento de carbono, el control de la erosión del suelo, el suministro de agua y la producción sostenible de madera (Griscom *et al.*, 2017; Hua *et al.*, 2022; Romijn *et al.*, 2019)

### **2.2.3. Sistemas agroforestales y carbono**

Los sistemas agroforestales en las regiones tropicales abarcan una variedad de prácticas que integran árboles con cultivos agrícolas y/o ganadería. Entre las principales prácticas se encuentran el cultivo de árboles, los huertos de varios pisos, los huertos de cabañas, los cultivos intercalados o en callejones y los barbechos mejorados (Benavides, 2013; Oelbermann *et al.*, 2004). Estas prácticas no solo diversifican la producción, sino que también contribuyen a la sostenibilidad ambiental.

Los sistemas agroforestales juegan un rol importante en el ciclo del carbono global debido a la gran cantidad de stock total de carbono que almacenan (aproximadamente 3 mil millones de toneladas de carbono al año) incluyendo los suelos (Handa *et al.*, 2020); y a los grandes flujos de carbono que estos bosques procesan cada año (fijan aprox. 46 PgC, o 33% de la productividad primaria neta terrestre global (Del Grosso *et al.*, 2008).

La amazonía, con sus 6 millones de km<sup>2</sup>, es el bosque tropical más grande del mundo, y alberga aprox. 86 PgC en su biomasa total, excluyendo el carbono en el suelo (Saatchi *et al.*, 2007).

La mayoría de este carbono está almacenado en la biomasa viva; la necromasa contribuye aprox. 9.6 PgC (Chao *et al.*, 2009) . El carbono en el suelo es un componente importante del stock de carbono total y puede contribuir aprox. 50-70% del carbono almacenado en los otros componentes del bosque (Malhi *et al.*, 2009).

#### **2.2.4. Captura y secuestro de carbono**

Callo-Concha *et al.* (2002), menciona que la captura de carbono no está relacionada a la edad de los sistemas sino a la diversidad de las especies propias de cada sistema con diferentes edades, mostrándose un desarrollo heterogéneo en cada sistema agroforestal, también está en función de las prácticas silviculturales.

El secuestro de carbono es un servicio ambiental basado en la capacidad de los ecosistemas forestales para absorber y almacenar el carbono atmosférico, así como en el manejo adecuado de estos ecosistemas, evitando su conversión en fuentes emisoras de gases de efecto invernadero (GEI). Este servicio ambiental es el que rápidamente se está desarrollando a nivel global; el hecho de que una tonelada de carbono secuestrada en algún lugar del mundo emita el mismo impacto en la mitigación del efecto invernadero que cualquier otra tonelada secuestrada en otro punto del planeta, hace que este servicio genere un amplio impacto y un mercado global (FONAM, 2004).

El secuestro de carbono es el proceso de fijación de carbono en forma continua en cualquier sistema de uso de la tierra como consecuencia de alguna intervención sobre áreas degradadas o en proceso de degradación; estas intervenciones pueden ser programadas de manejo de suelos con reforestación, agroforestería o conservación de suelos (Arévalo *et al.*, 2002). Las cantidades fijadas de carbono se expresan en (t C/ha/año) (Arévalo *et al.*, 2003).

El carbono está en sumideros superficiales y su captura en bosques primarios varía de 60 a 230 t C/ha y en bosques secundarios de 25 a 190 t C/ha, en bosques tropicales, los sumideros de carbono en el suelo varían de 60 y 115 t C/ha (Ibrahim *et al.*, 2006). En otros sistemas de uso del suelo, tales como los agrícolas o ganaderos, los sumideros de carbono en el suelo son considerablemente pequeños.

#### **2.2.5. Almacenamiento y fijación de carbono**

Los estudios sobre los sistemas agrícolas y el cambio climático se centran principalmente en la cuantificación de las emisiones de gases de efecto invernadero (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O) debido a la fertilización nitrogenada, la descomposición de la materia orgánica, el estiércol animal, etc. (Dixon, 1995; Palm *et al.*, 2000). También intentan proponer técnicas para limitar la liberación de estas técnicas para limitar la emisión de estos gases a la atmósfera (Alberta, 2006; Lal, 2003).

El carbono fijado o capturado es el carbono que está acumulado en un determinado ecosistema vegetal. Para su cuantificación se toma en cuenta criterios de tipo de bosque o vegetación, densidad de la madera, factores de ajuste que son datos de biomasa basados en volúmenes por hectárea de inventarios forestales (Segura & Kanninen, 2002).

La cantidad de carbono almacenado se relaciona con la capacidad del bosque de mantener una cierta cantidad de biomasa por hectárea, la cual está en función a su heterogeneidad y está determinado por las condiciones del suelo y clima (Arévalo *et al.*, 2003).

Los que estudian el secuestro de carbono se centran principalmente en el potencial de los suelos como sumideros de carbono. De hecho, como los cultivos agrícolas rara vez están compuestos por material leñoso, no tienen un alto potencial

para secuestrar carbono (Albrecht & Kandji, 2003; Jawson *et al.*, 2005). Según Sharrow & Ismail (2004), más del 90% del carbono almacenado en los pastos templados (sin árboles), se encuentra en la materia orgánica del suelo. Lal & Bruce (1999), evaluaron el potencial de secuestro de carbono en los suelos agrícolas de 0.75 a 1.0 t/año, lo que equivale al 50% de las emisiones procedentes de la deforestación y otras actividades agrícolas.

## **2.3. Definición de términos básicos**

### **Captura de carbono**

Almacenamiento de carbono de la atmósfera en sumideros de carbono (como los océanos, los bosques o la tierra) a través de un proceso físico o biológico como la fotosíntesis (Vargas-Mena & Yáñez, 2004).

### **Biomasa forestal**

La biomasa forestal se define como el peso (o estimación equivalente) de materia orgánica que existe en un determinado ecosistema forestal por encima y por debajo del suelo (Schlegel *et al.*, 2001).

### **Sistema agroforestal**

Es una forma de uso de la tierra en la que los árboles o arbustos interactúan biológica y ecológicamente en un área con cultivos y/o animales (Mendieta & Rocha, 2007).

## **2.4. Formulación de hipótesis**

### **2.4.1. Hipótesis nula**

La cantidad de biomasa y carbono total no es afectada por dos sistemas agroforestales y un sistema silvicultural en la región San Martín.

### 2.4.2. Hipótesis alternativa

La cantidad de biomasa y carbono total es afectada por dos sistemas agroforestales y un sistema silvicultural en la región San Martín.

### 2.5. Identificación de variables

Variable independiente

- Dos sistemas agroforestales y un sistema silvicultural

Variable dependiente

- Cantidad de biomasa y carbono

### 2.6. Operacionalización de variables

**Tabla 1.** Operacionalización de variables

Tipo de variable	Variable	Dimensiones	Indicadores	Niveles de medición	Unidad de medida	Instrumento
<b>Dependiente</b>	Cantidad de biomasa y carbono	Biomasa y carbono en arbóreas	t/ha	Numérico	t/ha	Ficha de evaluación y cuaderno de campo
		Biomasa y carbono de hojarasca	t/ha	Numérico	t/ha	
		Biomasa y carbono en necromasa fina	t/ha	Numérico	t/ha	
		Biomasa y carbono en herbácea	t/ha	Numérico	t/ha	
		Carbono en suelo	t/ha	Numérico	t/ha	
		Carbono total	t/ha	Numérico	t/ha	
<b>Independiente</b>	Sistema de uso de la tierra	Tipo de sistema de producción	Sistema agroforestal de jaca con cacao	Nominal	-	
			Sistema agroforestal de guaba con cacao	Nominal	-	
			Sistema silvicultural	Nominal	-	

## **CAPÍTULO III. METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN**

### **3.1. Tipo de investigación**

La investigación fue de tipo aplicada, descriptiva, comparativa con enfoque cuantitativo porque se recolectaron datos in situ.

### **3.2. Nivel de investigación**

El nivel de investigación fue exploratorio y descriptivo. Exploratorio porque buscó dar respuesta a la relación entre los sistemas y la cantidad de carbono en su biomasa; descriptivo porque describió las características y propiedades de los sistemas y cómo estos afectan a la cantidad de carbono en la biomasa.

### **3.3. Métodos de investigación**

Método científico: Se siguió el método científico, que implica la observación sistemática, la formulación de hipótesis, la recolección de datos, el análisis de los mismos y la elaboración de conclusiones.

Método analítico-sintético: Se analizaron por separado los diferentes componentes de almacenamiento de carbono (biomasa aérea, suelo, necromasa), y luego se sintetizaron para obtener una visión integral del almacenamiento de carbono en cada sistema.

Método comparativo: Se compararon los resultados obtenidos entre los dos sistemas agroforestales y el sistema silvicultural para identificar similitudes y diferencias en el almacenamiento de carbono.

Método estadístico: Se utilizaron técnicas estadísticas para el análisis de los datos, incluyendo estadística descriptiva y prueba de Kruskal-Wallis para comparar los sistemas.

Método de muestreo: Se empleó un muestreo estratificado aleatorio para seleccionar las áreas de estudio dentro de cada sistema, asegurando la representatividad de las muestras.

Método alométrico: Se utilizaron ecuaciones alométricas específicas para la estimación de la biomasa aérea de las diferentes especies vegetales presentes en los sistemas estudiados.

Método de campo: La recolección de datos se realizó directamente en el campo, siguiendo protocolos estandarizados para la medición de variables dasométricas, muestreo de suelos y recolección de necromasa.

Método de laboratorio: Las muestras de suelo y necromasa se analizaron en laboratorio para determinar su contenido de carbono.

### **3.4. Diseño de investigación**

El diseño de la presente investigación fue experimental con enfoque cuantitativo con un diseño de muestreo de probabilidades estratificado en el cual cada sistema fue dividido en 5 transectos para la recolección de los datos. Las muestras se recolectaron de un sistema agroforestal de jaca con cacao, un sistema agroforestal de guaba con cacao y un sistema silvicultural del Instituto de Cultivos Tropicales.

### **3.5. Población y muestra**

#### **3.5.1. Ubicación**

La investigación se realizó en el distrito de la Banda del Shilcayo, Provincia de San Martín y Departamento de San Martín, con altura promedio de 350 metros sobre el nivel del mar. Las coordenadas del lugar son -6.504609,-76.341333.

#### **3.5.2. Población y muestra**

La población y muestra estuvo compuesta por un sistema agroforestal de jaca con cacao, un sistema agroforestal de guaba con cacao de 25 años y un sistema silvicultural, los tres sistemas tienen una edad de 25 años en las áreas del Instituto de Cultivos Tropicales (ICT).

### **3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

#### **3.6.1. Técnicas de recolección de datos**

Para el muestreo de biomasa se usó el muestreo destructivo para recolectar muestras de hojarasca dentro de los cuadrantes, en el caso de los árboles se usaron mediciones no destructivas. Para la identificación de las especies de los sistemas se usó la técnica de observación directa. Para el muestreo de suelos se usó la técnica de muestreo sistemático. Para la estimación de carbono la técnica que se usó fueron las ecuaciones alométricas. Para análisis de laboratorio se usaron técnicas como determinación de carbono, análisis de carbono en muestras con equipos de laboratorio especializados.

#### **3.6.2. Instrumentos de recolección de datos**

Se usó la ficha de evaluación para consignar los datos de las dimensiones respecto a la variable dependiente.

### **3.7. Técnicas de procesamiento y análisis de datos**

Los datos fueron digitalizados y tabulados en el programa informático Microsoft Excel. Se realizó un análisis de Kruskal-Wallis para determinar diferencias entre los resultados concernientes a la cantidad de carbono de los sistemas agroforestales mediante programa R Studio. Asimismo, se compararon y evaluaron las diferencias estadísticas entre pares de sistemas mediante el test post-hoc de Dunn-Bonferroni.

### **3.8. Tratamiento estadístico**

Los datos fueron ordenados en una base de datos en el programa Microsoft Excel, después se les sometió a un análisis de Kruskal-Wallis mediante el programa R Studio para determinar la significancia de los resultados y se compararon y evaluaron las diferencias estadísticas entre pares de sistemas mediante el test post-hoc de Dunn-Bonferroni.

### **3.9. Orientación ética, filosófica y epistemológica**

**Responsabilidad ambiental:** El estudio se realizó minimizando cualquier impacto negativo en los ecosistemas investigados puesto que se emplearon métodos de muestreo no destructivos.

**Bienestar animal:** Aunque este estudio se centra principalmente en plantas y suelos, se tuvo cuidado de minimizar cualquier perturbación a la fauna local durante el proceso de investigación.

**Uso responsable de recursos:** Se hizo un uso eficiente y responsable de los recursos financieros y materiales asignados al proyecto.

**Imparcialidad:** El análisis de los datos y la interpretación de los resultados se realizó de manera objetiva, sin sesgos preconcebidos.

## **CAPITULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES**

### **4.1. Descripción del trabajo de campo y laboratorio**

Se evaluaron tres sistemas agroforestales: jaca con cacao y guaba con cacao en ambos casos de 2 hectáreas y un sistema silvicultural (de 5 hectáreas) que se encuentran en el Instituto de Cultivos Tropicales (ICT) en el año 2024. Todos los sistemas agroforestales tenían 25 años. Se determinaron 5 transectos y dentro de cada sistema agroforestal para la recolección de datos y muestras.

#### **4.1.1. Biomasa y carbono en arbóreas**

La metodología estuvo basada en los procedimientos desarrollados por el ICRAF (Arévalo *et al.*, 2003).

Se marcaron transectos de 4 m x 25 m dentro de cada sistema para realizar mediciones en cuanto a altura (H), diámetro a la altura del pecho (DAP) de los árboles, para el sistema silvicultural se consideraron transectos de 5 m x 100 m (Larrea Aguinaga, 2007). El DAP se midió a 1.3 m con ayuda de una forcípula, si el árbol tenía ramificaciones debajo de esa medida se midieron las ramificaciones y se realizó una media de su DAP; para árboles se tomó en cuenta diámetros desde 5 cm a más (Schlegel *et al.*, 2001).

- **Cálculo de biomasa arbórea:**

$BF = 0.1184 (DAP^{2.53})$ , para especies forestales (Larrea Aguinaga, 2007).

$\ln BG = -1.76 + (2.26 \times \ln(DAP))$ , para guaba (Terán-Ramírez *et al.*, 2018).

$BJ = 0.065 (DAP^{2.282})$ , para jaca (Santos Martin *et al.*, 2010).

$BAC = 0.4849 (DAP^{1.42})$ , para cacao (Larrea Aguinaga, 2007).

**Donde:**

BF = Biomasa de un árbol forestal.

BG = Biomasa de guaba *Inga edulis*.

BJ = Biomasa de jaca *Artocarpus heterophyllus*.

BAC = Biomasa de árbol de cacao *Theobroma cacao L.*

DAP = Diámetro a la altura del pecho

0.1184 y 2.53 = constantes

0.4849 y 1.42 = constantes para cacao

Después se calculó la BTA (Biomasa total arbórea del transecto) al sumar las biomاسas de todos los árboles que se encuentren en el transecto.

- **Cálculo de biomasa arbórea total:**

$BAT (t/ha) = BTA \times 0.1$

$BAT (t/ha) = BTA \times 0.02$

**Donde:**

BAT (t/ha) = Biomasa arbórea total en el transecto en t/ha.

BTP = Biomasa total en la parcela 4 m x 25 m o en la parcela de 5 m x 100 m.

**Factores:**

0.1 = se usa cuando la parcela es de 4 m x 25 m.

0.2 = se usa cuando la parcela es de 5 m x 100 m.

- **Cálculo de carbono en biomasa arbórea:**

$$CAb = BAT \text{ (t/ha)} \times 0.45$$

#### 4.1.2. Biomasa y carbono de hojarasca

Se eligió al azar dos cuadrantes de 1 m x 1 m en cada uno de los transectos que se usaron para medir biomasa herbácea, dentro de esos cuadrantes se tomaron subcuadrantes de 0.5 m x 0.5 m de los cuales se pesó la hojarasca acumulada. Después se colocaron en bolsas de papel y se enviaron al Laboratorio de Biotecnología de la UNAAA para su secado en estufa marca Memmert modelo UN 160 Plus a 75°C por 24 horas para obtener el peso seco constante (Larrea Aguinaga, 2007).

- **Cálculo de biomasa de hojarasca:**

$$BH \text{ (t/ha)} = [(PSM/PFM) \times PFT] \times 0.04$$

**Donde:**

BH (t/ha) = Biomasa hojarasca

PSM = Peso seco de la muestra colectada (g)

PFM = Peso fresco de la muestra colectada (g)

PFT = Peso fresco total por metro cuadrado (g)

0.04 = Factor de conversión para hojarasca

- **Cálculo de carbono en biomasa de hojarasca:**

$$CH = BH \text{ (t/ha)} \times 0.45$$

**Donde:**

CH = Carbono en hojarasca

BH (t/ha) = Biomasa de hojarasca

#### 4.1.3. Biomasa y carbono en necromasa fina

Dentro de los cuadrantes anteriores (1 m x 1 m) se colectaron las ramas y ramillas cuyo diámetro sea menor o igual a 10 cm. Se pesaron para obtener el peso fresco, después se llevaron en bolsas de papel a secar siguiendo los pasos ya descritos anteriormente (Schlegel *et al.*, 2001).

- **Cálculo en biomasa necromasa fina:**

$$\text{BNf (t/ha)} = [ (\text{PSM}/\text{PFM}) \times \text{PFT} ] \times 0.01$$

**Donde:**

BNf (t/ha) = Biomasa necromasa fina, materia seca

PSM = Peso seco de la muestra colectada (g)

PFM = Peso fresco de la muestra colectada (g)

PFT = Peso total por metro cuadrado (g)

0.01 = Factor de conversión para necromasa fina

- **Cálculo de carbono en biomasa de necromasa fina:**

$$\text{CNf} = \text{BNf (t/ha)} \times 0.45$$

**Donde:**

CNf = Carbono en necromasa fina

BNf (t/ha) = Biomasa necromasa fina

#### 4.1.4. Biomasa y carbono herbácea

Dentro de los cuadrantes anteriores se cortaron la biomasa epigea y herbácea de arbustos menores a 2.5 cm de diámetro (Arévalo *et al.*, 2003). Se pesaron para obtener el peso fresco, después se llevaron en bolsas de papel a secar según el procedimiento descrito anteriormente.

- **Cálculo de biomasa herbácea:**

$$\text{BHB (t/ha)} = [(\text{PSM/gPFM}) \times \text{PFT}] \times 0.01$$

**Donde:**

BHB (t/ha) = Biomasa herbácea, materia seca

PSM = Peso seco de la muestra colectada (g)

PFM = Peso fresco de la muestra colectada (g)

PFT = Peso total por metro cuadrado (g)

0.01 = Factor de conversión para herbácea

- **Cálculo de carbono en biomasa herbácea:**

$$\text{CHB} = \text{BHB (t/ha)} \times 0.45$$

**Donde:**

CHB = Carbono en biomasa herbácea

BHB (t/ha) = Biomasa herbácea

#### 4.1.5. Carbono en suelo

Para determinar el contenido de carbono (CC) se realizó un hoyo de 30 cm en el centro del transecto con ayuda de una pala, la cual se introdujo de manera vertical en el suelo, se seleccionó una muestra de 100 g, se colocó en una bolsa hermética y se envió al Laboratorio Agrícola del ICT (Schlegel *et al.*, 2001).

Para determinar la densidad aparente se utilizaron cilindros de volumen 152.05 cm<sup>3</sup>, introducidos en el suelo a 30 cm, después se envió al Laboratorio Agrícola del ICT y al Laboratorio de Biotecnología de la UNAAA.

- **Cálculo de densidad aparente:**

$$\text{DA (g/cm}^3\text{)} = \text{Pss} / \text{volumen del cilindro}$$

**Donde:**

DA ( $\text{g/cm}^3$ ) = densidad aparente

Pss = peso seco del suelo

- **Cálculo de carbono en suelo:**

$$CS = CC \times DA \times P \times 100$$

**Donde:**

CS = carbono en suelo (tC/ha)

CC = contenido de C (%)

DA = densidad aparente ( $\text{g/cm}^3$ )

P = profundidad de muestreo (m)

- **Cálculo de carbono total:**

$$CB = CAb + CH + CNf + CHB + CS$$

**Donde:**

CB = Carbono en biomasa total

CAb = Carbono arbóreo

CH = Carbono hojarasca

CNf = Carbono en necromasa fina

CHB = Carbono herbáceo

CS = Carbono en suelo

Toda la metodología está basada en Arévalo *et al.* (2003), salvo algunas modificaciones.

#### 4.2. Presentación, análisis de resultados

En la Tabla 2, se puede observar los resultados del análisis de Kruskal-Wallis y el post-hoc de Dunn-Bonferroni aplicados a la biomasa. Según estos análisis, sólo se encontraron diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) en la necromasa fina, específicamente en la comparación del sistema jaca con cacao y el sistema silvicultural.

**Tabla 2.** Test de Kruskal-Wallis y Post-Hoc de Dunn-Bonferroni aplicado a biomasa

Variable	Kruskal-Wallis			Post-Hoc de Dunn-Bonferroni		
	Chi <sup>2</sup>	GL	p-valor	Comparación	Z	p-valor ajustado (Bonferroni)
Biomasa Arbórea	4.5	2	0.1054	Guaba Cacao – Jaca Cacao	1.06066	0.8665
				Guaba Cacao – Silvicultural	-1.06066	0.8665
				Jaca Cacao – Silvicultural	-2.12132	0.1017
Biomasa de Hojarasca	4.82	2	0.08982	Guaba Cacao – Jaca Cacao	0.98995	0.9666
				Guaba Cacao – Silvicultural	-1.20208	0.6880
				Jaca Cacao – Silvicultural	-2.19203	0.0851
Necromasa Fina	8.82	2	0.01216	Guaba Cacao – Jaca Cacao	1.48492	0.4127
				Guaba Cacao – Silvicultural	-1.48492	0.4127
				Jaca Cacao – Silvicultural	-2.96985	0.0089
Biomasa Herbácea	3.92	2	0.1409	Guaba Cacao – Jaca Cacao	0.28284	1.0000
				Guaba Cacao – Silvicultural	-1.55563	0.3594
				Jaca Cacao – Silvicultural	-1.83848	0.1980

En la Tabla 3, se puede observar los resultados del análisis de Kruskal-Wallis y el post-hoc de Dunn-Bonferroni aplicados al carbono. Según estos análisis, al igual que en los análisis de biomasa, sólo se encontraron diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) en el carbono de necromasa fina, específicamente en la comparación del sistema jaca con cacao y el sistema silvicultural.

**Tabla 3.** Test de Kruskal-Wallis y Post-Hoc de Dunn-Bonferroni aplicado a carbono

Variable	Kruskal-Wallis			Post-Hoc de Dunn-Bonferroni		
	Chi <sup>2</sup>	GL	p-valor	Comparación	Z	p-valor ajustado (Bonferroni)
Carbono de Arbórea	4.5	2	0.1054	Guaba Cacao – Jaca Cacao	1.06066	0.8665
				Guaba Cacao – Silvicultural	-1.06066	0.8665
				Jaca Cacao – Silvicultural	-2.12132	0.1017
Carbono de Hojarasca	4.82	2	0.08982	Guaba Cacao – Jaca Cacao	0.98995	0.9666
				Guaba Cacao – Silvicultural	-1.20208	0.6880
				Jaca Cacao – Silvicultural	-2.19203	0.0851
Carbono de Necromasa Fina	8.82	2	0.01216	Guaba Cacao – Jaca Cacao	1.48492	0.4127
				Guaba Cacao – Silvicultural	-1.48492	0.4127
				Jaca Cacao – Silvicultural	-2.96985	0.0089
Carbono de Herbácea	3.92	2	0.1409	Guaba Cacao – Jaca Cacao	0.28284	1.0000
				Guaba Cacao – Silvicultural	-1.55563	0.3594
				Jaca Cacao – Silvicultural	-1.83848	0.1980
Carbono de Suelo a 30 cm	2.24	2	0.3263	Guaba Cacao – Jaca Cacao	-0.28284	1.0000
				Guaba Cacao – Silvicultural	-1.41421	0.4719
				Jaca Cacao – Silvicultural	-1.13137	0.7737

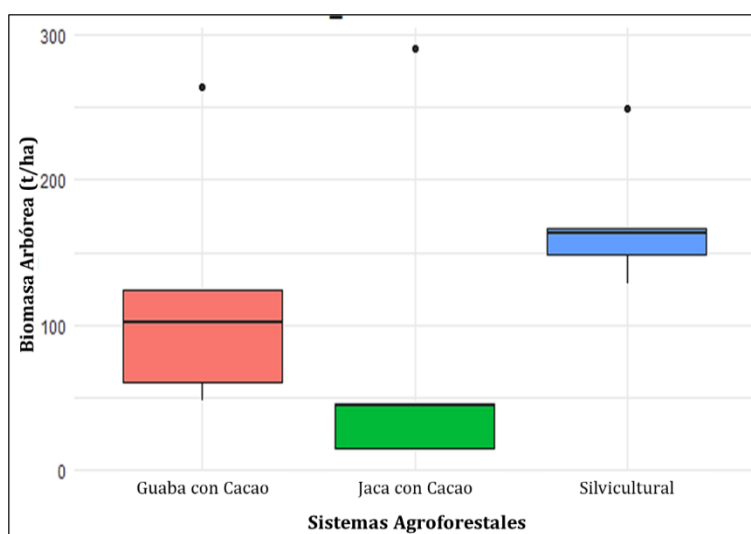
En cuanto a biomasa y carbono totales, no se encontraron diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0.05$ ) en la biomasa total ni en el carbono total entre los sistemas agroforestales y el sistema silvicultural evaluados.

**Tabla 4.** Test de Kruskal-Wallis y Post-Hoc de Dunn-Bonferroni aplicado a biomasa y carbono total

Variable	Kruskal-Wallis			Post-Hoc de Dunn-Bonferroni		
	Chi <sup>2</sup>	GL	p-valor	Comparación	Z	p-valor ajustado (Bonferroni)
Biomasa Total	4.5	2	0.1054	Guaba Cacao – Jaca Cacao	1.06066	0.8665
				Guaba Cacao – Silvicultural	-1.06066	0.8665
				Jaca Cacao – Silvicultural	-2.12132	0.1017
Carbono Total	4.5	2	0.1054	Guaba Cacao – Jaca Cacao	1.06066	0.8665
				Guaba Cacao – Silvicultural	-1.06066	0.8665
				Jaca Cacao – Silvicultural	-2.12132	0.1017

#### 4.2.1. Biomasa y carbono en arbóreas

Se observa que el sistema silvicultural presenta la mayor biomasa arbórea (Figura 1), con una mediana notablemente superior (163.659 t/ha), en comparación con los sistemas agroforestales. El SAF guaba-cacao muestra valores intermedios (mediana 101.718 t/ha), mientras que el SAF jaca-cacao registra la biomasa más baja (mediana 43.960 t/ha). La dispersión de los datos es mayor en el sistema guaba-cacao. En contraste, el SAF silvicultural exhibe baja variabilidad, indicando que la mayoría de sus transectos tienen biomasa arbórea consistentemente baja, con sólo un valor atípico alto marginal. El SAF jaca- cacao presenta una variabilidad moderada y un valor atípico alto, indicando que al menos un transecto con jaca y cacao alcanzó una biomasa mucho mayor que las demás.



**Figura 1.** Distribución de biomasa arbórea en los sistemas evaluados (t/ha)

Dado que el carbono arbóreo es proporcional a la biomasa (asumiendo aproximadamente un 45% de contenido de carbono en la biomasa seca), la distribución de este refleja patrones muy similares a los descritos para la biomasa arbórea. El sistema silvicultural registra la mediana más alta de carbono almacenado en árboles (73.647 t C/ha), seguido por el SAF guaba cacao con una mediana

intermedia (45.773 t C/ha), y finalmente el SAF jaca cacao con el menor contenido de carbono (19.782 t C/ha).

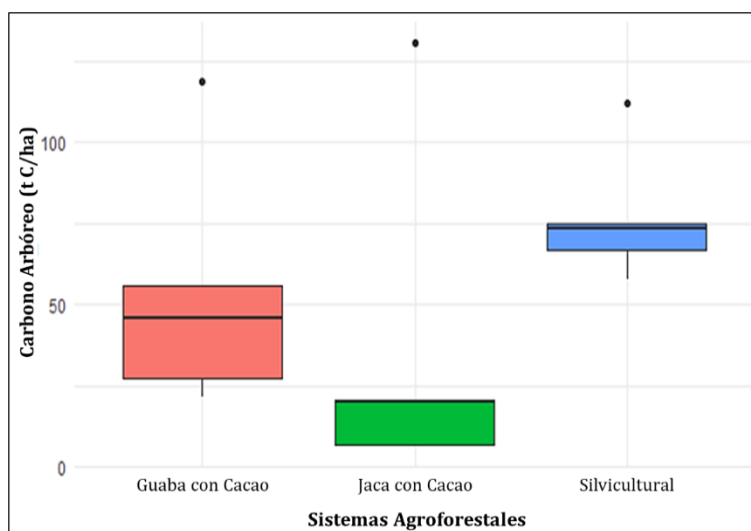


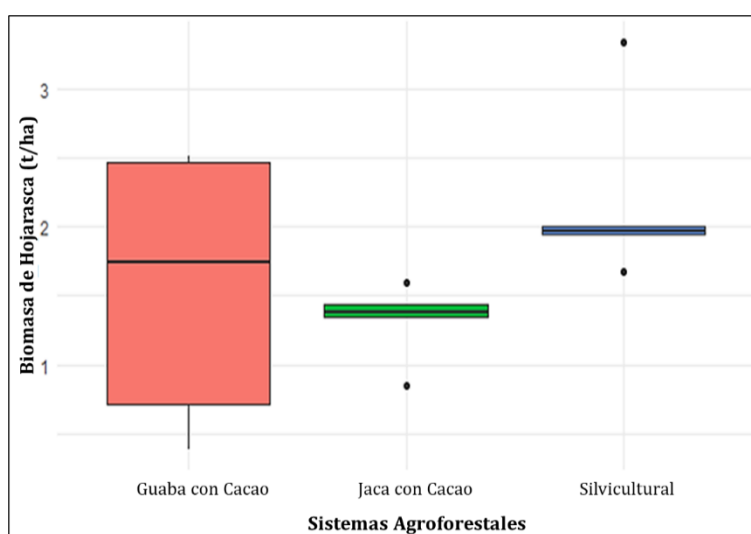
Figura 2. Distribución de carbono arbóreo en los sistemas evaluados (t C/ha)

#### 4.2.2. Biomasa y carbono en hojarasca

Los diagramas de caja reflejan diferencias notables en la acumulación de hojarasca entre sistemas. El sistema silvicultural muestra la mayor mediana de biomasa en hojarasca (1.964 t/ha), seguido por el SAF guaba-cacao con una mediana ligeramente inferior (1.745 t/ha), y finalmente el SAF jaca-cacao con la mediana más baja (1.381 t/ha). La dispersión de los datos es relativamente amplia en el SAF guaba-cacao, indicando variabilidad en la producción y acumulación de hojarasca entre transectos. En el sistema silvicultural se observa un valor atípico alto que alcanza las 3.340 t/ha, lo cual sugiere que algún transecto presentó una acumulación excepcional de hojarasca. En el SAF guaba-cacao, la distribución es algo sesgada hacia valores altos: la caja abarca desde ~1.0 hasta ~2.3 t/ha, con la mediana en 1.745 t/ha, y se aprecia un valor atípico bajo (0.383 t/ha), implicando que una parcela tuvo considerablemente menos hojarasca que las demás. Por su parte, el SAF jaca-cacao exhibe la caja más estrecha; la mayor parte de sus observaciones oscilan

aproximadamente entre 0.9 y 1.3 t/ha, evidenciando baja variabilidad, aunque con un valor atípico bajo en 0.846 t/ha y otro relativamente alto en 1.599 t/ha.

El test de Kruskal-Wallis indicó diferencias numéricas, aunque no estadísticamente significativas ( $p > 0.05$ ), en la biomasa de hojarasca entre los sistemas. Las comparaciones de Dunn-Bonferroni sugieren que el sistema silvicultural (1.964 t/ha), acumula más hojarasca que el SAF jaca-cacao (1.321 t/ha), aunque no significativamente ( $p > 0.05$ ). El SAF guaba-cacao se posiciona en un nivel intermedio; si bien presenta más hojarasca que jaca-cacao en mediana (1.745 y 1.381 t/ha respectivamente), esta diferencia no es significativa estadísticamente. Entre silvicultural y guaba-cacao, la diferencia de medianas no fue suficiente para ser significativa estadísticamente, a pesar de la tendencia a mayor numéricamente hojarasca en el sistema silvicultural.



**Figura 3.** Distribución de biomasa de hojarasca en los sistemas evaluados (t/ha)

Al igual que en el caso arbóreo, el contenido de carbono de la hojarasca es aproximadamente el 45% de la biomasa seca de hojarasca, por lo que los patrones reflejan proporcionalmente lo descrito previamente. El sistema silvicultural alcanza la mediana más alta de carbono en hojarasca (0.884 t C/ha), seguido del SAF guaba-cacao (0.785 t C/ha) y del SAF jaca-cacao (0.621 t C/ha). Las dispersiones y

asimetrías son similares a las observadas en biomasa de hojarasca. Las distribuciones observadas confirman que la hojarasca del sistema silvicultural contiene más carbono que la de los SAF; y que entre los SAF el de guaba tiende a generar algo más de carbono en hojarasca que el de jaca.

Con respecto a las pruebas estadísticas, el Kruskal-Wallis evidenció diferencias globales mas no significativas en el carbono de hojarasca ( $p > 0.05$ ). El post-hoc de Dunn mostró que el sistema silvicultural posee más carbono en hojarasca que el SAF jaca-cacao aunque no de manera significativa. En cambio, entre silvicultural y guaba-cacao la diferencia no resultó significativa ( $p < 0.05$ ), a pesar de la tendencia a mayor carbono en el sistema silvicultural.

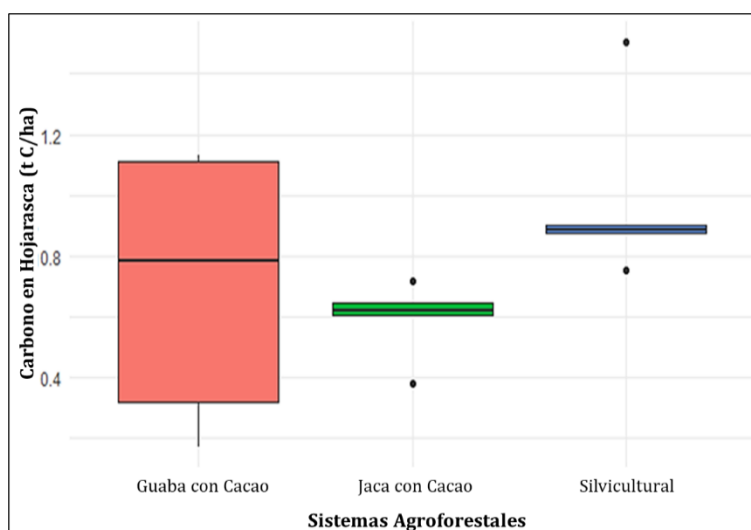


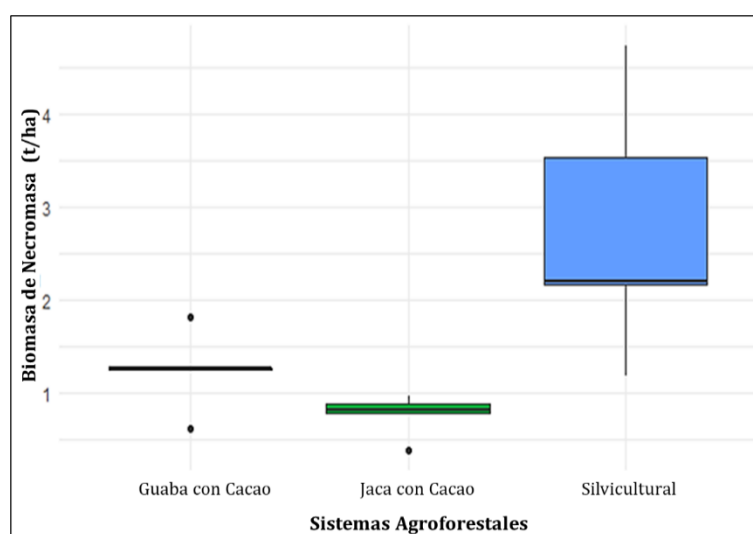
Figura 4. Distribución de carbono en hojarasca en los sistemas evaluados (t C/ha)

#### 4.2.3. Cantidad de carbono de necromasa fina

La necromasa fina incluye los restos orgánicos muertos de pequeño tamaño, como ramas caídas, fragmentos de corteza, madera en descomposición de pequeño calibre, entre otros detritos no clasificados como hojarasca foliar. De los tres sistemas, el silvicultural exhibe claramente la mayor acumulación de necromasa fina: su caja azul se encuentra muy por encima de las cajas de los SAF, con una mediana alrededor de 2.207 t/ha. En contraste, tanto el SAF guaba-cacao y el jaca-cacao muestran niveles

mucho menores. El SAF guaba-cacao tiene una mediana en torno a 1.265 t/ha. El SAF jaca-cacao posee la mediana más baja (0.817 t/ha). No se aprecian datos fuera de lugar altos en los SAF, lo que sugiere que ninguna parcela de estos sistemas tuvo cantidades extraordinarias de necromasa fina; todas se mantuvieron en valores acotados alrededor de sus medianas.

El análisis estadístico confirma diferencias significativas entre los sistemas en cuanto a necromasa fina (Kruskal-Wallis,  $p < 0.05$ ). Las pruebas post-hoc de Dunn indicaron que el sistema silvicultural contiene significativamente más necromasa fina que el sistema jaca con cacao ( $p < 0.05$ ). Por otro lado, no se halló diferencia significativa entre los dos SAF entre sí (guaba-cacao vs. jaca-cacao,  $p > 0.05$ ); si bien guaba-cacao mostró ligeramente más necromasa en promedio que jaca-cacao, sus distribuciones se superponen sustancialmente.



**Figura 5.** Distribución de biomasa de necromasa en los sistemas evaluados (t/ha)

En el sistema silvicultural, la mediana de carbono en necromasa fina es la más elevada (0.993 t C/ha), muy por encima de las medianas de los SAF (0.569 t C/ha para guaba-cacao y 0.368 para jaca-cacao t C/ha). La caja azul del sistema silvicultural muestra gran variabilidad (aproximadamente 0.9 a 1.7 t C/ha entre Q1 y Q3), y los bigotes se extienden hacia valores altos (hasta ~2.2 t C/ha, correspondiente a ~4.4 t/ha

de necromasa), evidenciando nuevamente la amplia gama de acumulación de carbono en necromasa fina en diferentes parcelas. En los SAF, las cajas son mucho más bajas y comprimidas. No se observan outliers altos en ninguno de los SAF, confirmando que ningún caso individual acumuló carbono en necromasa fina fuera de lo común.

Las pruebas estadísticas reflejan los mismos contrastes que el párrafo anterior en cuanto a necromasa fina. El Kruskal-Wallis mostró diferencias significativas en carbono de necromasa fina entre los tres sistemas ( $p < 0.05$ ). Las comparaciones de Dunn-Bonferroni evidenciaron que el sistema silvicultural posee significativamente más carbono en la necromasa fina que el SAF jaca-cacao ( $p < 0.05$ ). No se detectó diferencia significativa entre los SAF entre sí ( $p > 0.05$ ), lo cual era esperado dado lo parejo de sus distribuciones.

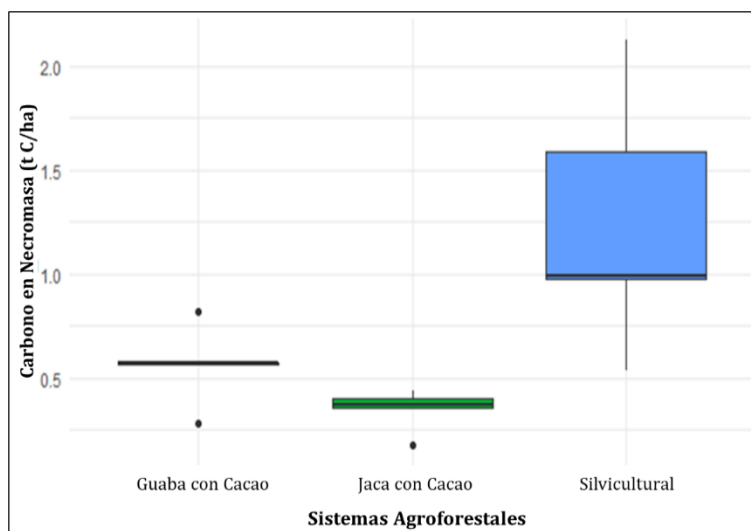
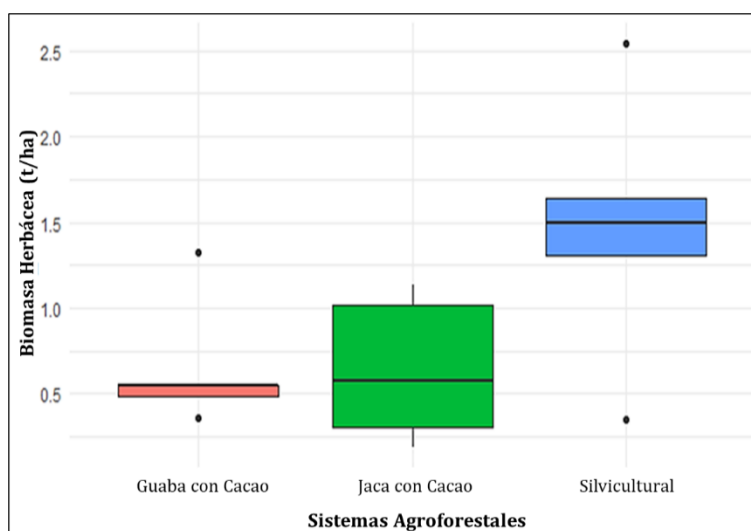


Figura 6. Distribución de carbono en necromasa en los sistemas evaluados (t C/ha)

#### 4.2.4. Biomasa y carbono en herbácea

La biomasa herbácea mostró diferencias notables, aunque no significativas, entre los sistemas estudiados. En el sistema silvicultural se registró la mayor producción de biomasa herbácea (1.495 t/ha), mientras que en los sistemas agroforestales los valores fueron menores (0.543 t/ha para guaba-cacao y 0.571 para jaca-cacao).

La prueba de Kruskal-Wallis mostró diferencia no significativa ( $p>0.05$ ). La prueba post-hoc de Dunn con corrección de Bonferroni identificó que el sistema silvicultural posee mayor biomasa herbácea que ambos sistemas con cacao, aunque no significativamente ( $p>0.05$ ). Igualmente, entre guaba-cacao y jaca-cacao no se observaron diferencias estadísticamente significativas ( $p>0.05$ ).

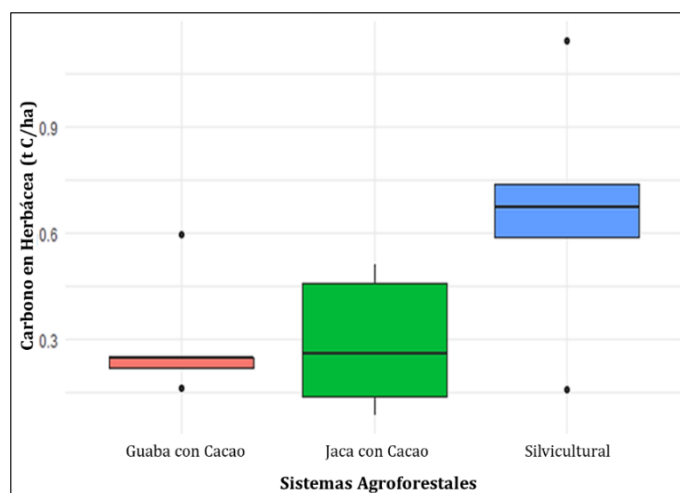


**Figura 7.** Distribución de biomasa herbácea en los sistemas evaluados (t/ha)

El carbono almacenado en la biomasa herbácea reflejó tendencias muy similares a las de la biomasa total. Los valores más altos de carbono herbáceo se encontraron en el sistema silvicultural (0.673 t C/ha), en consonancia con su mayor producción de forraje, mientras que en guaba-cacao y jaca-cacao fueron inferiores (0.245 t C/ha y 0.257 t C/ha respectivamente). El diagrama de cajas para carbono herbáceo muestra la misma jerarquía: el silvicultural con mediana más elevada y mayor dispersión, y los sistemas con cacao con medianas más bajas y menos variabilidad.

El análisis de Kruskal-Wallis evidenció que no hay diferencias significativas en carbono de la capa herbácea ( $p>0.05$ ). La prueba de Dunn-Bonferroni confirmó que el silvicultural almacena más carbono en la biomasa herbácea que los SAF con cacao, aunque no significativamente ( $p>0.05$ ). Similarmente no hubo diferencias

significativas entre los SAF en este componente ( $p>0.05$ ), al igual que ocurrió con la biomasa. En términos absolutos, la magnitud de este carbono es relativamente baja: la tendencia indica que el forraje herbáceo del silvicultural aporta una cantidad de carbono superior a la de los sotobosques de cacao. No obstante, este carbono herbáceo representa una fracción pequeña del carbono total del ecosistema, dado que la mayor parte del carbono se encuentra en la biomasa leñosa y en el suelo, como se explorará más adelante.

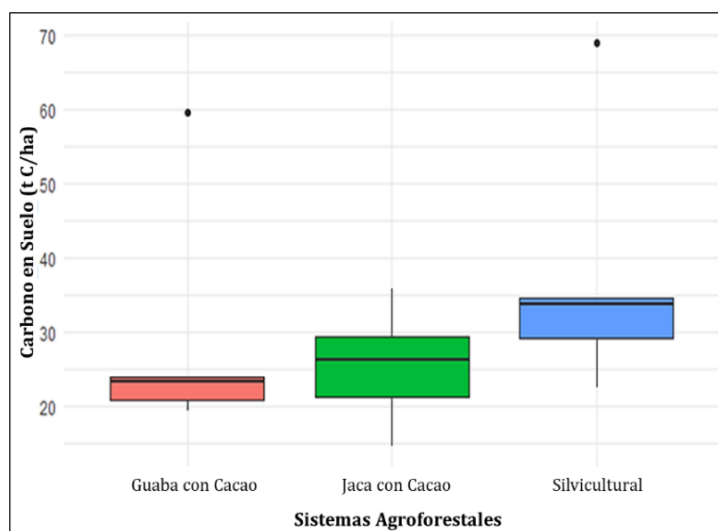


**Figura 8.** Distribución de carbono en herbácea en los sistemas evaluados (t C/ha)

#### 4.2.5. Carbono en suelo

En el carbono del suelo a 30 cm de profundidad (es decir, en el horizonte subsuperficial inmediatamente inferior al arable) no se evidenciaron diferencias significativas entre los tres sistemas. Los valores de carbono en la capa de 15–30 cm mostraron una variación menor entre tratamientos y una considerable superposición en sus distribuciones. En los diagramas de caja correspondientes, las medianas de los tres sistemas aparecen cercanas entre sí, y los rangos intercuartiles se solapan ampliamente.

La prueba de Kruskal-Wallis confirmó la ausencia de diferencias estadísticamente significativas en el carbono del suelo a 30 cm ( $p > 0.05$ ). Ninguna de las comparaciones par a par mediante Dunn mostró diferencias significativas después de la corrección por Bonferroni. Todos los tratamientos mantienen un nivel comparable de carbono en este estrato subsuperficial (silvicultural 33.696 t C/ha, guaba-cacao 23.328 t C/ha y jaca-cacao 26.304 t C/ha), sugiriendo que los efectos del tipo de uso de suelo y arreglo arbóreo son menos evidentes conforme aumenta la profundidad.

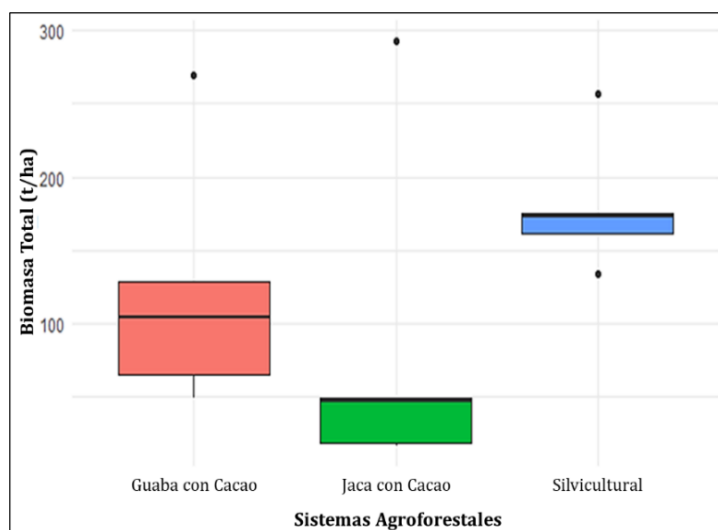


**Figura 9.** Distribución de carbono en suelo en los sistemas evaluados (t C/ha)

#### 4.2.6. Biomasa y carbono total

La biomasa total registrada en los tres sistemas evaluados (silvicultural, guaba-cacao y jaca-cacao) presentaron diferencias visibles en sus distribuciones. El sistema silvicultural mostró los valores más elevados, con una mediana de 173.228 t/ha, evidenciando un mayor almacenamiento de materia vegetal. En el sistema guaba-cacao, la biomasa total fue intermedia (103.913 t/ha), con valores más dispersos. Por otro lado, el sistema jaca-cacao presentó la menor biomasa, con una mediana de 46.581 t/ha. A pesar de estas diferencias, la prueba de Kruskal-Wallis no detectó

diferencias estadísticamente significativas entre los sistemas ( $p > 0.05$ ), y el análisis post-hoc de Dunn-Bonferroni tampoco mostró comparaciones significativas entre pares de sistemas.



**Figura 10.** Distribución de biomasa total en los sistemas evaluados (t/ha)

El patrón de carbono total (t/ha), fue similar al observado para la biomasa total, destacándose el sistema silvicultural con los valores más altos (77.952 t C/ha), seguido por guaba-cacao (46.761 t C/ha), finalmente jaca-cacao (20.962 t C/ha). El carbono total se distribuyó con mayor amplitud en los sistemas con mayor biomasa, presentando valores máximos superiores a 100 t/ha en los transectos. El sistema silvicultural mantuvo una mediana más alta que los sistemas agroforestales, lo que refleja una mayor capacidad de almacenamiento de carbono. Sin embargo, al igual que con la biomasa, las diferencias observadas no fueron estadísticamente significativas según la prueba de Kruskal-Wallis. Las comparaciones múltiples mediante la prueba de Dunn-Bonferroni tampoco revelaron diferencias significativas entre los sistemas evaluados ( $p > 0.05$ ).

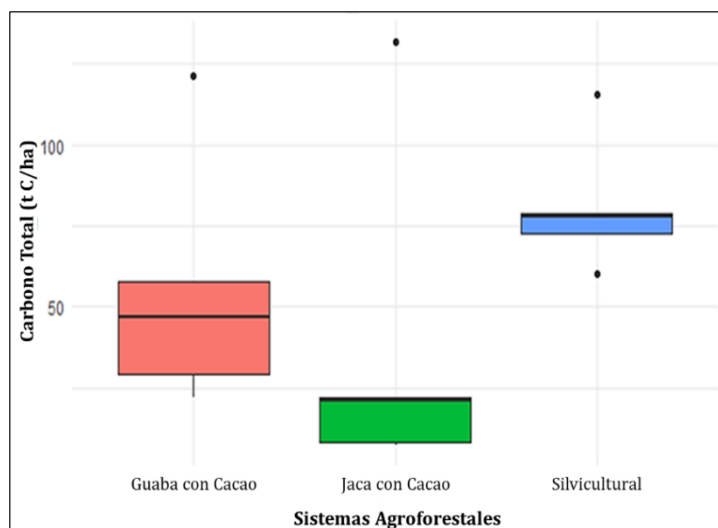


Figura 11. Distribución de carbono total en los sistemas evaluados (t C/ha)

### 4.3. Prueba de hipótesis

Con base en los resultados obtenidos mediante el análisis de Kruskal-Wallis y la prueba post-hoc de Dunn-Bonferroni, se evaluó la validez de las hipótesis planteadas:

Para las variables de biomasa y carbono total, no se encontraron diferencias estadísticamente significativas ( $p > 0.05$ ), entre los tres sistemas evaluados (silvicultural, guaba-cacao y jaca-cacao). Por tanto, se rechaza la hipótesis alternativa y se acepta la hipótesis nula, que plantea que la cantidad de biomasa y carbono total no es afectada por el tipo de sistema.

No obstante, para variables específicas como biomasa y carbono de necromasa fina y carbono en suelo, sí se observaron diferencias significativas entre algunos sistemas, particularmente entre el sistema silvicultural y el agroforestal con jaca ( $p < 0.05$ ). Esto indica que, si bien a nivel global no se evidencian diferencias sustanciales, ciertos componentes del ecosistema sí varían según el tipo de sistema.

En consecuencia, se acepta parcialmente la hipótesis alternativa, considerando que el tipo de sistema tiene efectos significativos en algunos componentes del almacenamiento de carbono, aunque no en el total acumulado.

#### 4.4. Discusión de resultados

##### 4.4.1. Biomasa y carbono en arbóreas

El sistema silvicultural, equivalente a un bosque manejado o plantación forestal, acumuló la mayor cantidad de biomasa en árboles, coherente con su mayor densidad y tamaño de individuos arbóreos. Estudios previos han reportado que los sistemas agroforestales de cacao (SAF), generalmente almacenan menos biomasa aérea que un bosque secundario o plantación forestal de similares edades, debido a una menor densidad de árboles de gran porte y a podas frecuentes (Abou *et al.*, 2016; Schneidewind *et al.*, 2019). Sin embargo, la capacidad de los SAF para fijar carbono no es despreciable; por ejemplo, Abou *et al.* (2016), documentaron que las plantaciones de cacao bajo una cubierta diversa de árboles de sombra pueden lograr un alto almacenamiento de carbono en biomasa sin reducir el rendimiento del cacao.

Comparando los sistemas agroforestales, el SAF guaba-cacao superó en biomasa y carbono al SAF jaca-cacao, esto debido a que el SAF guaba-cacao tenía más abundancia de árboles. Es conocido que la abundancia y diversidad de árboles de sombra aumenta el almacenamiento de carbono en sistemas agroforestales (Abou *et al.*, 2016), ya que los árboles adicionales contribuyen con mayor volumen de madera y follaje. Saj *et al.* (2013), reportaron, por ejemplo, variaciones notables en el carbono almacenado dependiendo de la densidad de árboles asociados en cacao, mostrando que sistemas con más árboles de sombra alcanzan mayores reservas de biomasa y carbono arbórea que aquellos más simplificados.

En este estudio, el sistema silvicultural contaba con árboles más desarrollados y densos, lo que explica sus mayores reservas de biomasa; mientras que el SAF jaca-cacao, con menor densidad de árboles, quedó rezagado. Estos patrones enfatizan la importancia de las especies de sombra y la gestión del dosel en la productividad

biomásica y de carbono: incorporar árboles de rápido crecimiento y alto porte tiende a aumentar la biomasa aérea total en sistemas agroforestales (Schneidewind *et al.*, 2019). En suma, la biomasa arbórea varía sustancialmente según el manejo y la composición del sistema, alineándose con la literatura que señala a los SAF de cacao como sistemas intermedios entre monocultivos y bosques en términos de almacenamiento de biomasa y carbono.

#### 4.4.2. Biomasa y carbono en hojarasca

La cantidad de hojarasca acumulada en el suelo es un reflejo de la productividad foliar y de la dinámica de caída de hojas de cada sistema. Los resultados muestran que el sistema silvicultural produce y acumula la mayor biomasa de hojarasca, seguido por el SAF guaba-cacao, y por último el SAF jaca-cacao. Esto es consistente con lo que cabría esperar dada la densidad y tamaño de la cobertura arbórea: un mayor número de árboles y copas más extensas en el sistema silvicultural generan más material foliar que eventualmente cae al suelo. Estudios comparativos han encontrado que los bosques o sistemas con mayor cobertura arbórea presentan tasas de caída de hojarasca superiores a las de sistemas simplificados, por ejemplo, Sari *et al.* (2022), reportaron que un bosque remanente presentó una producción mensual de hojarasca significativamente mayor que sistemas agroforestales de cacao simples o complejos, los cuales a su vez superaron a plantaciones de cacao en monocultivo. En la presente investigación, las existencias de hojarasca sobre el suelo eran más altas en el silvicultural que en los SAF, indicando que la continuidad del dosel favorece una acumulación permanente de materia orgánica muerta.

En la comparación entre los SAF, el mayor aporte de hojarasca fue de guaba-cacao respecto a jaca-cacao podría atribuirse a diferencias en las especies de sombra, *Inga sp.* (guaba), es reconocida por su alta producción foliar y deciduidad periódica,

liberando gran cantidad de hojas especialmente en épocas secas o tras brotes estacionales (Quijia-Quijia *et al.*, 2020). Asigbaase *et al.* (2021), observaron en sistemas cacaoteros de Ghana que, en ausencia de muchos árboles de sombra, la mayor parte de la hojarasca proviene del cacao mismo, mientras que la presencia de especies de sombra adicionales incrementa la entrada de hojarasca total. En este experimento, ambos SAF tenían cacao como componente, por lo que la diferencia radica en el aporte de las distintas especies de sombra: guaba añadió más material foliar al sotobosque que la jaca.

Cabe destacar que los datos de la presente investigación corresponden a la masa de hojarasca presente en un determinado momento (hojarasca acumulada en el suelo), mientras que otros trabajos miden la producción anual de hojarasca, por ejemplo, Schneidewind *et al.* (2019), encontraron una producción anual de hojarasca de ~2.2 t C/ha año en SAF de cacao (equivalente a ~4.4 t de hojarasca por ha año asumiendo 50% C), frente a ~1.2 t C/ha año en monocultivos de cacao. Esto indica que los SAF generaron casi el doble de hojarasca que sistemas sin sombra, gracias a la mayor densidad de árboles. Aunque la comparación exacta requiere cautela (ya que producción anual vs masa instantánea difieren), los SAF del presente estudio podrían estar produciendo cantidades considerables de hojarasca anualmente, pero parte de ella se descompone o es incorporada al suelo rápidamente dado el clima húmedo tropical, además de que el presente estudio solo evaluó una sola vez la acumulación de hojarasca.

El carbono en la hojarasca representa la fracción de carbono orgánico temporalmente retenida en la capa superficial del suelo bajo forma de materia muerta. Aunque generalmente constituye un pool de carbono menor que el de la biomasa leñosa, desempeña un papel importante en la dinámica de carbono del ecosistema

debido a su renovación constante. Los hallazgos del presente estudio muestran que el sistema silvicultural contiene alrededor de 0.884 t C/ha en su hojarasca, mientras que los SAF almacenan menos (guaba-cacao 0.785 t C/ha y jaca-cacao 0.621 t C/ha). Estos valores concuerdan con la idea de que los bosques con mayor producción de hojarasca tendrán un stock de carbono foliar más elevado en el piso forestal (Sari *et al.*, 2022). Aunque la diferencia absoluta parece modesta, la rápida descomposición de la hojarasca tropical implica que este compartimento está en flujo continuo hacia el suelo y la atmósfera, contribuyendo al reciclaje de nutrientes y al secuestro de carbono en el suelo.

Es importante considerar que el carbono de la hojarasca es un componente transitorio: eventualmente la mayor parte de ese carbono será emitido de vuelta a la atmósfera como CO<sub>2</sub> durante la descomposición o bien incorporado al suelo como carbono orgánico estable. Según Giardina (2019), la necromasa (incluyendo hojarasca y madera muerta), puede representar hasta ~20% del carbono almacenado en bosques, subrayando su relevancia en el balance de carbono. En sistemas manejados como los agroforestales, parte de esa hojarasca-carbono puede ser menor por prácticas de limpieza, pero aun así contribuye significativamente al carbono del sistema. En línea con esto, Abou Rajab *et al.* (2016), enfatizan la importancia de los árboles de sombra en la entrada de carbono nuevo al suelo a través de la hojarasca y las raíces, reforzando el rol de los SAF en el ciclo regional de carbono.

#### **4.4.3. Cantidad de carbono de necromasa fina**

La necromasa fina constituye el conjunto de materiales leñosos muertos que quedan sobre el suelo o suspendidos en la parte baja del dosel. Este componente, aunque menos cuantioso que la hojarasca foliar, es importante porque representa madera en etapas iniciales de descomposición, influyendo en la liberación gradual de

nutrientes y en la formación de humus. Los resultados muestran que en el sistema silvicultural la biomasa de necromasa fina es más del doble que en los SAF de cacao. Esto es esperable, ya que en un bosque (o plantación forestal) hay más árboles y ramas que puedan morir y caer, además de menor intervención antrópica retirando esos restos. En cambio, en sistemas agroforestales los agricultores suelen manejar la sombra y sanidad eliminando ramas muertas o caídas, o aprovechándolas como leña, lo que reduce la necromasa acumulada in situ.

La literatura señala que en bosques tropicales, la madera muerta (sumando fina + gruesa), puede representar hasta alrededor del 20% del carbono total almacenado en el ecosistema (Giardina, 2019). Este porcentaje incluye troncos caídos, ramas y restos de todos los tamaños. En sistemas manejados, este porcentaje suele ser menor debido a las extracciones y a la menor densidad de árboles viejos. Los datos del presente estudio reflejan esa diferencia: el sistema silvicultural, con mayor densidad arbórea y probablemente árboles de mayor edad, acumula más necromasa (ramillas, fragmentos), que los SAF jóvenes de cacao.

Otro factor a considerar es la tasa de descomposición. En ambientes húmedos, la madera fina muerta puede descomponerse relativamente rápido (en el orden de meses a pocos años), especialmente si está en contacto con el suelo y es colonizada por hongos e insectos xilófagos (Delpierre *et al.*, 2019; Meier *et al.*, 2010). Sin embargo, es más plausible que sea reflejo de menor generación de estos residuos: con menos árboles de gran porte, hay menos ramas que mueran naturalmente. En el sistema silvicultural, la dinámica natural del bosque (pequeñas ramas que se quiebran con vientos, mortalidad natural de árboles menores, etc.), enriquece el piso con este material leñoso fino de manera continua (Giardina, 2019).

Se ha observado que en plantaciones cacaoteras bajo sombra manejada, la mayoría de la madera muerta proviene de podas (residuos de cosecha, ramas removidas), y de árboles de sombra senescentes. Schneidewind *et al.* (2019), reportaron que en SAF de cacao orgánico, los residuos de poda anual aportaban hasta 4.3 t C/ha año (equivalente a ~8.6 t C/ha año de biomasa si fuera 50% C), en material leñoso, superando la contribución de la hojarasca anual.

Desde la perspectiva funcional, una menor necromasa fina en SAF podría tener pros y contras. Por un lado, significa menos combustible para incendios (riesgo reducido), y tal vez menor refugio para plagas; pero, por otro lado, implica menor aporte paulatino de madera en descomposición al suelo, lo que podría afectar la formación de carbono estable en el suelo a largo plazo. En cambio, el bosque silvicultural con abundante necromasa fina está enriqueciendo continuamente el suelo con carbono derivado de madera muerta, lo cual a la larga contribuye a la fracción de humus y carbono orgánico edáfico, además, provee hábitat para fauna saproxílica (organismos que viven de la madera muerta), importante para el ecosistema (Giardina, 2019).

La mayor cantidad de carbono en necromasa fina en el sistema silvicultural indica que este sistema no solo almacena más necromasa, sino que retiene un pool de carbono más grande en ese estado transitorio antes de su reciclaje final.

Esta diferencia tiene implicaciones ecológicas y de manejo, desde una perspectiva de mitigación climática, el carbono en necromasa es parte del carbono secuestrado en el ecosistema, aunque sea a corto o mediano plazo. En un bosque, si hasta un 20% del carbono puede encontrarse en madera muerta, mantener ese nivel implica un retardo en la devolución de ese carbono a la atmósfera, actuando el bosque

como un almacén dinámico (Giardina, 2019). En los SAF de cacao, el hecho de tener tan poco carbono en necromasa fina sugiere que, tras la caída, las ramitas se descomponen rápidamente o son removidas, liberando CO<sub>2</sub> más pronto al aire o incorporándose al suelo como carbono orgánico. Desde el punto de vista del balance, el aporte de los SAF al almacenamiento de carbono a través de necromasa es modesto en comparación con un bosque, lo que es consistente con la literatura que indica que sistemas agroforestales jóvenes almacenan la mayor parte de su carbono en la biomasa y muy poco en la necromasa (Giardina, 2019).

Sin embargo, a medida que un SAF envejece, cabría esperar que este compartimento de necromasa aumente. Si los árboles de sombra crecen y comienzan a morir algunas ramas mayores, la necromasa fina y gruesa podrían incrementarse. Zavala *et al.* (2018), encontraron que en SAF de cacao de más de 16 años, el carbono total almacenado era sustancialmente mayor que en SAF jóvenes, lo que probablemente incluía más carbono en todos los compartimentos, incluyendo madera muerta. Esto sugiere que SAF del presente estudio podrían estar en una etapa relativamente temprana con bajo reclutamiento de necromasa, y que con el tiempo las diferencias con un sistema silvicultural podrían atenuarse ligeramente si los SAF no son excesivamente manejados.

Otro aspecto importante es la interacción con el suelo, la necromasa fina, al descomponerse, puede contribuir a la fracción de carbono estable del suelo (carbono ligado a minerales), en mayor medida que la hojarasca foliar, dado que la madera tiene compuestos más lignificados cuyos productos de descomposición pueden persistir en el suelo (Giardina, 2019); por lo tanto, la escasez de ese material en los SAF podría significar menor incorporación de ciertos compuestos al suelo, a menos que esto sea compensado por raíces muertas o por incorporación deliberada de restos

de poda; es por ello que programas de manejo que dejen los residuos de poda en el campo podrían elevar el nivel de necromasa (fina y gruesa) y, consecuentemente, aumentar el carbono de necromasa en el sistema con beneficios para el suelo a largo plazo. Schneidewind *et al.* (2019), enfatizaron que prácticas como la poda de árboles leguminosos en SAF incrementan la cantidad de biomasa y hojarasca de calidad que eventualmente enriquecen el suelo. Así, aunque actualmente los SAF presenten bajos stocks de carbono en necromasa, manejos más orientados a conservación (dejando descomponer in situ los restos), podrían incrementar este compartimento.

#### **4.4.4. Biomasa y carbono en herbácea**

Los resultados indican que la densidad de árboles y la consiguiente sombra influyen fuertemente en la producción de biomasa herbácea. En los sistemas agroforestales de cacao, la menor disponibilidad de luz debajo del dosel arbóreo reduce el crecimiento de la vegetación herbácea. Este patrón concuerda con observaciones en otros agroecosistemas: la inclusión de árboles suele disminuir la abundancia de especies heliófilas en el sotobosque, limitando su biomasa. Marconi *et al.* (2022), reportaron, por ejemplo, un declive en la riqueza y cobertura de hierbas bajo sistemas de cacao con manejo orgánico y convencional, atribuible a la pérdida de especies adaptadas a alta luminosidad en condiciones de sombra. En el presente estudio, la sombra densa y la competencia por recursos en SAF guaba-cacao y jaca-cacao explican la biomasa herbácea significativamente menor respecto al sistema silvicultural más abierto.

Por otro lado, estudios recientes en sistemas silviculturales templados indican que, aun cuando se incorporan árboles dispersos en pasturas, la producción de biomasa forrajera solo disminuye ligeramente en comparación con pasturas sin árboles. Orefice *et al.* (2025), encontraron que las praderas bajo silvopastoreo

mantenían un contenido de carbono en forrajes ligeramente menor que praderas abiertas, sugiriendo que la reducción de biomasa herbácea por sombra moderada es relativamente pequeña. En sistemas tropicales, los resultados del presente estudio refuerzan esta idea: aunque la presencia de árboles de sombra en cacao redujo la biomasa herbácea respecto a la pastura, el forraje en el silvicultural permaneció abundantemente disponible.

Es importante destacar que la implementación de árboles conlleva beneficios adicionales que compensan la menor biomasa herbácea. Aryal *et al.* (2022), documentaron que los sistemas silviculturales ofrecen mayor resiliencia y menor vulnerabilidad climática que pasturas monoculturales, al tiempo que aumentan significativamente el carbono almacenado total del sistema. Aplicado a los hallazgos del presente estudio, esto significa que, si bien la biomasa herbácea es menor en presencia de árboles, dichos árboles (guaba, jaca u otros) contribuyen con hojarasca, raíces y fuste a la biomasa total del sistema. En suma, el diseño agroforestal con cacao sacrifica parte de la producción de hierba para ganar en servicios ecosistémicos y captura de carbono en compartimentos leñosos, un trade-off típico de los sistemas arborizados.

#### **4.4.5. Carbono en suelo**

El hecho de no encontrar diferencias significativas en el carbono del suelo a 30 cm indica que los procesos de acumulación o pérdida de carbono inducidos por los distintos sistemas de uso de la tierra están confinados mayormente a la capa superficial en el horizonte temporal analizado. Es común que las alteraciones en el manejo y cobertura vegetal impacten primero las capas superiores del suelo, donde la entrada de hojarasca, la actividad radicular densa y la acción de la biota del suelo son más intensas. Las capas más profundas tienden a mostrar mayor inercia y estabilidad

en cuanto al carbono: gran parte del carbono sub-superficial está protegido en asociaciones minerales o en formas más recalcitrantes, por lo que responde más lentamente a cambios en la vegetación y manejo. Dignac *et al.* (2017), revisaron que aumentar el carbono en subsuelos es un desafío, ya que depende de mecanismos lentos de transferencia de materia orgánica y de la formación de complejos estables con arcillas. Los resultados de este estudio concuerdan con esa idea; en un plazo relativamente corto desde la implementación de estos sistemas, es esperable que el carbono a 15–30 cm no haya divergido mucho entre tratamientos, más allá de variaciones inherentes del terreno.

Aunque no se detectaron diferencias claras, vale la pena discutir las tendencias sutiles observadas y los procesos potenciales a esta profundidad. El sistema silvicultural en la presente investigación presentó ligeramente más carbono medio a 30 cm que el silvopastoril, lo cual podría atribuirse a la presencia de raíces profundas de los árboles. Los árboles desarrollan raíces pivotantes y laterales que pueden alcanzar y explotar horizontes subsuperficiales, contribuyendo carbono a través de exudados radiculares y la eventual muerte de raíces finas en esas capas. Hoosbeek *et al.* (2016), encontraron en Nicaragua que la introducción de árboles en pasturas incrementó el carbono del suelo y la ciclicación de nutrientes en un sistema silvopastoril, gracias a las raíces arbóreas y la deposición de hojarasca.

#### **4.4.6. Biomasa y carbono total**

Diferentes estudios confirman que la acumulación de biomasa total y carbono varía significativamente según el sistema de uso de la tierra, siendo mayores los valores en sistemas con mayor densidad y tamaño de árboles. En sistemas agroforestales de cacao bajo sombra, la biomasa y el carbono almacenado son considerables, aunque típicamente inferiores a los de sistemas exclusivamente

forestales o silvopastoriles con árboles de mayor porte. Por ejemplo, en agroforesterías de cacao en la amazonía peruana se han reportado existencias de carbono en biomasa aérea de ~24–25 t C/ha en sistemas adultos (30–40 años) (Goñas *et al.*, 2022), equivalentes a unas 50 t/ha de biomasa seca. Estudios en otras regiones tropicales muestran rangos amplios: 21–96 t C/ha de carbono aéreo en sistemas cacao en África, ~49 t C/ha en Centroamérica, y hasta 99 t C/ha en sistemas multiestrato en Indonesia (Abou Rajab *et al.*, 2016; Oke & Olatiilu, 2011; Somarriba *et al.*, 2013). Estos valores equivalen aproximadamente al 50–80% del carbono almacenado en bosques secundarios de la zona (Santhyami *et al.*, 2023), reflejando la contribución importante de los árboles de sombra al almacenamiento de carbono en cacaotales.

Diferencias en la composición de especies de sombra pueden influir en la biomasa total de los sistemas cacao. *Inga edulis* es un árbol leguminoso de rápido crecimiento empleado como sombra; suele manejarse con podas frecuentes para evitar sombra excesiva, lo que limita su biomasa máxima. En contraste, especies frutales de mayor talla, como *Artocarpus heterophyllus*, pueden alcanzar diámetros y alturas superiores, acumulando más madera por individuo. Esto sugiere que un sistema jaca–cacao podría lograr ligeramente mayor biomasa aérea que un sistema guaba–cacao, dado que los árboles jaca aportan más volumen leñoso si se les permite crecer. Aunque la literatura específica comparando *Inga* vs. *Artocarpus* en cacao es limitada, en términos generales los sistemas con árboles de sombra más grandes o de uso dual (frutales/maderables), presentan mayores stocks de carbono que aquellos dominados por árboles más pequeños o manejados intensivamente (Goñas *et al.*, 2022). Entre sistemas agroforestales similares, las diferencias de biomasa pueden no ser estadísticamente significativas si la densidad y edad de los árboles son semejantes; en estudios de campo, a menudo se observa más variabilidad entre parcelas individuales

(por factores de manejo y sitio) que una diferencia consistente debida únicamente a la especie de sombra (Somarriba *et al.*, 2013).

## CONCLUSIONES

- Los resultados demuestran que los tres sistemas evaluados —dos sistemas agroforestales (guaba–cacao y jaca–cacao) y un sistema silvicultural— poseen un elevado potencial para el almacenamiento de biomasa y carbono. El sistema silvicultural registró los valores más altos de biomasa total (173.2 t/ha) y carbono total (77.95 t C/ha); sin embargo, estas diferencias no fueron estadísticamente significativas respecto a los SAF, lo que evidencia que los sistemas agroforestales pueden alcanzar niveles comparables de captura de carbono.
- Entre los sistemas agroforestales, el SAF guaba–cacao obtuvo mejores resultados que el SAF jaca–cacao en la mayoría de los componentes evaluados, lo cual demuestra que la selección de especies acompañantes influye de manera decisiva en la eficiencia del sistema para acumular biomasa y carbono.
- En el sistema silvicultural, la falta de integración de la biomasa por especie en cada transecto, por ejemplo, valores específicos de biomasa y carbono para el tornillo (*Cedrelinga cateniformis*) a los 25 años limita la posibilidad de interpretar con mayor precisión el aporte individual de cada especie al total del sistema. La consolidación de estos datos permitiría mejorar la caracterización estructural del sistema y fortalecer los análisis comparativos.

## RECOMENDACIONES

- Fomentar sistemas silviculturales o agroforestales diversificados con especies de sombra de rápido crecimiento y alta productividad foliar, como *Inga edulis*, para maximizar el almacenamiento de biomasa y carbono en sistemas productivos. El exceso de sombra de *inga edulis* disminuye la capacidad productiva del cacao y sismo las podas continuas del cacao.
- Implementar prácticas de manejo que favorezcan la acumulación de necromasa y hojarasca, como la no remoción intensiva del sotobosque, lo cual contribuye a la fertilidad del suelo y la resiliencia del sistema.
- Promover prácticas que aceleren la incorporación de carbono a capas más profundas en el suelo como sumideros eficientes.
- Replicar este tipo de estudios en otros contextos agroforestales de la Amazonía peruana, incluyendo variables adicionales como biodiversidad y productividad económica, para consolidar una base científica integral para políticas de carbono rural.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abou Rajab, Y., Leuschner, C., Barus, H., Tjoa, A., & Hertel, D. (2016). Cacao Cultivation under Diverse Shade Tree Cover Allows High Carbon Storage and Sequestration without Yield Losses. *PLOS ONE*, 11(2), e0149949.  
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0149949>
- Alberta Environment. (2006). Greenhouse Gas Emissions Intensity. State of the Environment – Climate Change.
- Albrecht, A., & Kandji, S. T. (2003). Carbon sequestration in tropical agroforestry systems. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 99(1–3), 15–27.  
[https://doi.org/10.1016/S0167-8809\(03\)00138-5](https://doi.org/10.1016/S0167-8809(03)00138-5)
- Allen, S. L., Robayo, L. A., Martin, C. D., & Ganem, J. L. (2024). Productivity, Soil Health, and Tree Diversity in Dynamic Cacao Agroforestry Systems in Ecuador. *Land*, 13(7), 959. <https://doi.org/10.3390/land13070959>
- Arévalo, L. A., Alegre, J. C., & Palm, C. A. (2003). Manual determinación de las reservas totales de carbono en los diferentes sistemas de uso de la tierra en Perú. ICRAF, CODESU, INIA, INRENA.
- Arévalo, L., Alegre, J., Rios, E., Callo Concha, D., & Palm, C. H. (2002). Secuestro de carbono con sistemas alternativos en el Perú. IV Congreso Brasileiro de Sistemas Agroflorestais.
- Armas, A., Börner, J., Rüginitz Tito, M., Díaz, L., Tapia, S., Wunder, S., Reymond, L., & Nascimento, N. (2009). Pagos por Servicios Ambientales para la conservación de bosques en la Amazonía Peruana. En Lima: Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado.  
<https://repositoriodigital.minam.gob.pe/bitstream/handle/123456789/326/BIV00314.pdf>
- Aryal, D. R., Morales-Ruiz, D. E., López-Cruz, S., Tondopó-Marroquín, C. N., Lara-

- Nucamendi, A., Jiménez-Trujillo, J. A., Pérez-Sánchez, E., Betanzos-Simon, J. E., Casasola-Coto, F., Martínez-Salinas, A., Sepúlveda-López, C. J., Ramírez-Díaz, R., La O Arias, M. A., Guevara-Hernández, F., Pinto-Ruiz, R., & Ibrahim, M. (2022). Silvopastoral systems and remnant forests enhance carbon storage in livestock-dominated landscapes in Mexico. *Scientific Reports*, 12(1), 16769.  
<https://doi.org/10.1038/s41598-022-21089-4>
- Asigbaase, M., Dawoe, E., Lomax, B. H., & Sjogersten, S. (2021). Temporal changes in litterfall and potential nutrient return in cocoa agroforestry systems under organic and conventional management, Ghana. *Heliyon*, 7(10), e08051.  
<https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e08051>
- Avellán Rivera, A. R., Barreto Dolin, E., & Peralta Tercero, E. de J. (2020). Carbono en biomasa aérea, sistema agroforestal de *Theobroma cacao* L. laboratorio natural, los laureles 2018. *Revista Universitaria del Caribe*, 24(01), 98–106.  
<https://doi.org/10.5377/RUC.V24I01.9914>
- Benavides Fauta, A. V. (2013). Evaluación de los sistemas agroforestales para la elaboración de un plan de manejo y aprovechamiento sustentable de los recursos en el ceypsa, parroquia Eloy Alfaro, cantón Latacunga, provincia de Cotopaxi [Universidad Técnica de Cotopaxi]. <http://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/1640>
- Callo-Concha, D., Krishnamurthy, L., & Alegre, J. (2002). Cuantificación del carbono secuestrado por algunos sistemas agroforestales y testigos, en tres pisos ecológicos de la Amazonía del Perú. En L. Krishnamurthy & M. Uribe Gómez (Eds.), *Tecnologías Agroforestales para el Desarrollo Rural Sostenible* (pp. 159–182). PNUMASEMARNAT.  
[http://web.pnuma.org/educamb/documentos/tecs\\_agroforestales.pdf#page=154](http://web.pnuma.org/educamb/documentos/tecs_agroforestales.pdf#page=154)
- Casanova-Lugo, F., Petit-Aldana, J., & Solorio-Sánchez, J. (2011). Los sistemas

agroforestales como alternativa a la captura de carbono en el trópico mexicano. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, XVII(1), 133–143.

<https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2010.08.047>

Chao, K. J., Phillips, O. L., Baker, T. R., Peacock, J., Lopez-Gonzalez, G., Vásquez Martínez, R., Monteagudo, A., & Torres-Lezama, A. (2009). After trees die: Quantities and determinants of necromass across Amazonia. *Biogeosciences*, 6(8), 1615–1626.

<https://doi.org/10.5194/BG-6-1615-2009>

Concha, J. Y., Alegre, J. C., & Pocomucha, V. (2007). Determinación de las reservas de carbono en la biomasa aérea de sistemas agroforestales de *Theobroma cacao* L. En el Departamento de San Martín, Perú. *Ecología Aplicada*, 6(1–2), 75–82.

[http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci\\_abstract&pid=S1726-](http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1726-)

[22162007000100009&lng=es&nrm=iso&tlng=es](http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1726-22162007000100009&lng=es&nrm=iso&tlng=es)

de Sousa, A. P. M., Campos, A. R. N., Gomes, J. P., de Santana, R. A. C., Queiroz, A. J. de M., de Figueirêdo, R. M. F., Gregório, M. G., Santos, N. C., Silva, W. P. da, Gomes, M. M. de A., Araújo, M. A., dos Santos, F. S., Adelino de Melo, B., Moura, H. V., & Paiva, Y. F. (2025). Bioprocessing of Jackfruit Seeds (*Artocarpus heterophyllus* Lam.) for Protein Enrichment in Semi-Solid State: Potential for Animal Feed Production.

*Fermentation*, 11(4), 185. <https://doi.org/10.3390/fermentation11040185>

de Souza, P. A., Moreira, L. F., Sarmiento, D. H. A., & da Costa, F. B. (2018). *Cacao—Theobroma cacao*. *Exotic Fruits Reference Guide*, 69–76. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803138-4.00010-1>

Del Grosso, S., Parton, W., Stohlgren, T., Zheng, D., Bachelet, D., Prince, S., Hibbard, K., & Olson, R. (2008). Global potential net primary production predicted from vegetation class, precipitation, and temperature. *Ecology*, 89(8), 2117–2126.

<https://doi.org/10.1890/07-0850.1>

- Delpierre, N., Lireux, S., Hartig, F., Camarero, J. J., Cheaib, A., Čufar, K., Cuny, H., Deslauriers, A., Fonti, P., Gričar, J., Huang, J., Krause, C., Liu, G., de Luis, M., Mäkinen, H., del Castillo, E. M., Morin, H., Nöjd, P., Oberhuber, W., ... Rathgeber, C. B. K. (2019). Chilling and forcing temperatures interact to predict the onset of wood formation in Northern Hemisphere conifers. *Global Change Biology*, 25(3), 1089–1105. <https://doi.org/10.1111/gcb.14539>
- Dignac, M.-F., Derrien, D., Barré, P., Barot, S., Cécillon, L., Chenu, C., Chevallier, T., Freschet, G. T., Garnier, P., Guenet, B., Hedde, M., Klumpp, K., Lashermes, G., Maron, P.-A., Nunan, N., Roumet, C., & Basile-Doelsch, I. (2017). Increasing soil carbon storage: mechanisms, effects of agricultural practices and proxies. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 37(2), 14. <https://doi.org/10.1007/s13593-017-0421-2>
- Dixon, R. K. (1995). Agroforestry systems: sources of sinks of greenhouse gases? *Agroforestry Systems* 1995 31:2, 31(2), 99–116. <https://doi.org/10.1007/BF00711719>
- Elevitch, C. R., & Manner, H. I. (2006). *Artocarpus heterophyllus* (jackfruit). Species profiles for Pacific Island agroforestry, 10, 1–25. <https://growables.org/information/TropicalFruit/documents/Jackfruit.pdf>
- FONAM - Fondo Nacional del Ambiente. (2004). Guía Práctica para desarrolladores de Proyectos – MDL. <https://sinia.minam.gob.pe/documentos/guia-practica-formulacion-proyectos-mecanismo-desarrollo-limpio-mdl>
- Giardina, C. P. (2019). Advancing Our Understanding of Woody Debris in Tropical Forests. *Ecosystems*, 22(6), 1173–1175. <https://doi.org/10.1007/s10021-019-00381-x>
- Goñas, M., Rojas-Briceño, N. B., Culqui-Gaslac, C., Arce-Inga, M., Marlo, G., Pariente-Mondragón, E., & Oliva-Cruz, M. (2022). Carbon Sequestration in Fine Aroma Cocoa Agroforestry Systems in Amazonas, Peru. *Sustainability*, 14(15), 9739. <https://doi.org/10.3390/su14159739>

- Gramacho, I. da C. P., Magno, A. E. de S., Mandarin, E. P., & Matos, A. (1992). Cultivo e beneficiamento do cacau na Bahia. CEPLAC.
- Grassi, G., House, J., Dentener, F., Federici, S., den Elzen, M., & Penman, J. (2017). The key role of forests in meeting climate targets requires science for credible mitigation. *Nature Climate Change*, 7(3), 220–226. <https://doi.org/10.1038/nclimate3227>
- Griscom, B. W., Adams, J., Ellis, P. W., Houghton, R. A., Lomax, G., Miteva, D. A., Schlesinger, W. H., Shoch, D., Siikamäki, J. V., Smith, P., Woodbury, P., Zganjar, C., Blackman, A., Campari, J., Conant, R. T., Delgado, C., Elias, P., Gopalakrishna, T., Hamsik, M. R., ... Fargione, J. (2017). Natural climate solutions. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 114(44), 11645–11650. <https://doi.org/10.1073/pnas.1710465114>
- Handa, A. K., Chavan, S., Sirohi, C., & Rizvi, R. (2020). Importance of agroforestry systems in carbon sequestration. Conference: National Agroforestry Symposium on “Climate Resilient Agroforestry to Augment Livestock Productivity Ensuring Environmental Biodiversity”. <https://www.researchgate.net/publication/339875510>
- Hoosbeek, M. R., Remme, R. P., & Rusch, G. M. (2016). Trees enhance soil carbon sequestration and nutrient cycling in a silvopastoral system in south-western Nicaragua. *Agroforestry Systems*. <https://doi.org/10.1007/s10457-016-0049-2>
- Hua, F., Bruijnzeel, L. A., Meli, P., Martin, P. A., Zhang, J., Nakagawa, S., Miao, X., Wang, W., McEvoy, C., Peña-Arancibia, J. L., Brancalion, P. H. S., Smith, P., Edwards, D. P., & Balmford, A. (2022). The biodiversity and ecosystem service contributions and trade-offs of forest restoration approaches. *Science*, 376(6595), 839–844. <https://doi.org/10.1126/science.abl4649>
- Ibrahim, M., Chacón, M., Cuartas, C., Naranjo, J., Ponce, G., Vega, P., Casasola, F., & Rojas, J. (2006). Almacenamiento de carbono en el suelo y la biomasa arbórea en sistemas de

usos de la tierra en paisajes ganaderos de Colombia, Costa Rica y Nicaragua.

Agroforestería en las Américas, 45.

[https://repositorio.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/7934/Almacenamiento\\_de\\_carbono\\_en\\_el\\_suelo.pdf](https://repositorio.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/7934/Almacenamiento_de_carbono_en_el_suelo.pdf)

Jawson, M. D., Shafer, S. R., Franzluebbbers, A. J., Parkin, T. B., & Follett, R. F. (2005).

GRACEnet: Greenhouse gas reduction through agricultural carbon enhancement network. *Soil and Tillage Research*, 83(1), 167–172.

<https://doi.org/10.1016/J.STILL.2005.02.015>

Lal, R. (2003). Global Potential of Soil Carbon Sequestration to Mitigate the Greenhouse

Effect. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 22(2), 151–184.

<https://doi.org/10.1080/713610854>

Lal, R., & Bruce, J. P. (1999). The potential of world cropland soils to sequester C and

mitigate the greenhouse effect. *Environmental Science & Policy*, 2(2), 177–185.

[https://doi.org/10.1016/S1462-9011\(99\)00012-X](https://doi.org/10.1016/S1462-9011(99)00012-X)

Larrea Aguinaga, G. C. (2007). Determinación De Las Reservas De Carbono En La Biomasa

Aérea De Combinaciones Agroforestales De *Theobroma Cacao* L. & Determinación De La Ecuación Alométrica Para El Cacao [Universidad Nacional Agraria La Molina].

<https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/1152>

Lorenzi, H. (1992). *Arvores brasileiras : manual de identificacao e cultivo de plantas arboreas*

nativas do Brasil. Editora Plantarum. <https://library.wur.nl/WebQuery/titel/591230>

Malhi, Y., Aragão, L. E. O. C., Metcalfe, D. B., Paiva, R., Quesada, C. A., Almeida, S.,

Anderson, L., Brando, P., Chambers, J. Q., da Costa, A. C. L., Hutyra, L. R., Oliveira,

P., Patiño, S., Pyle, E. H., Robertson, A. L., & Teixeira, L. M. (2009). Comprehensive

assessment of carbon productivity, allocation and storage in three Amazonian forests.

*Global Change Biology*, 15(5), 1255–1274. <https://doi.org/10.1111/J.1365->

2486.2008.01780.X

- Marconi, L., Seidel, R., & Armengot, L. (2022). Herb assemblage dynamics over seven years in different cocoa production systems. *Agroforestry Systems*, 96(5–6), 873–884. <https://doi.org/10.1007/s10457-022-00747-6>
- Meier, C. L., Rapp, J., Bowers, R. M., Silman, M., & Fierer, N. (2010). Fungal growth on a common wood substrate across a tropical elevation gradient: Temperature sensitivity, community composition, and potential for above-ground decomposition. *Soil Biology and Biochemistry*, 42(7), 1083–1090. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2010.03.005>
- Mendieta López, M., & Rocha Molina, L. R. (2007). *Sistemas agroforestales*. Universidad Nacional Agraria. <https://repositorio.una.edu.ni/2443/>
- Mortimer, R., Saj, S., & David, C. (2018). Supporting and regulating ecosystem services in cacao agroforestry systems. *Agroforestry Systems*, 92(6), 1639–1657. <https://doi.org/10.1007/s10457-017-0113-6>
- Nunes, L. J. R. (2023). The Rising Threat of Atmospheric CO<sub>2</sub>: A Review on the Causes, Impacts, and Mitigation Strategies. *Environments*, 10(4), 66. <https://doi.org/10.3390/environments10040066>
- Oelbermann, M., Paul Voroney, R., & Gordon, A. M. (2004). Carbon sequestration in tropical and temperate agroforestry systems: a review with examples from Costa Rica and southern Canada. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 104(3), 359–377. <https://doi.org/10.1016/J.AGEE.2004.04.001>
- Oke, D., & Olatiilu, A. (2011). Carbon Storage in Agroecosystems: A Case Study of the Cocoa Based Agroforestry in Ogbese Forest Reserve, Ekiti State, Nigeria. *Journal of Environmental Protection*, 02(08), 1069–1075. <https://doi.org/10.4236/jep.2011.28123>
- Orefice, J., Smith, M. M., Weinberg, W. C., & Batcheler, M. (2025). Carbon dynamics of silvopasture systems in the Northeastern United States. *Scientific Reports*, 15(1), 6995.

<https://doi.org/10.1038/s41598-025-91268-6>

Palm, C. A., Woomer, P. L., Alegre, J. ., Arevalo, L., Castilla, C., Cordeiro, D. G., Feigl, B., Hairiah, K., Kotto-Same, J., Mendes, A., Moukam, A., Murdiyarso, D., Njomgang, R., Parton, W. J., Ricse, A., Rodrigues, V., Sitompul, S. M., & Van Noordwijk, M. (2000). Carbon séquestration and trace gas émissions in slash-and-burn and alternative landuses in the humid tropics. En Final Report, Alternatives to Slash and Burn (ABS). Climate Change Working Group, Phase II. ICRAF.

Pan, Y., Birdsey, R. A., Fang, J., Houghton, R., Kauppi, P. E., Kurz, W. A., Phillips, O. L., Shvidenko, A., Lewis, S. L., Canadell, J. G., Ciais, P., Jackson, R. B., Pacala, S. W., McGuire, A. D., Piao, S., Rautiainen, A., Sitch, S., & Hayes, D. (2011). A Large and Persistent Carbon Sink in the World's Forests. *Science*, 333(6045), 988–993.

<https://doi.org/10.1126/science.1201609>

Paredes Arce, M. (2003). Manual de cultivo de cacao. MInisterio de Agricultura.

<https://repositorio.midagri.gob.pe/jspui/bitstream/20.500.13036/372/1/cacao - copia.pdf>

Patiño Forero, S., Suárez Santos, L. N., Andrade Castañeda, H. J., & Segura Madrigal, M. A. (2018). Captura de carbono en biomasa en plantaciones forestales y sistemas agroforestales en Armero-Guayabal, Tolima, Colombia. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 9(2), 121–134. <https://doi.org/10.22490/21456453.2312>

Prakash, O., Kumar, R., Mishra, A., & Gupta, R. (2009a). (i)Artocarpus heterophyllus(i) (Jackfruit): An Overview. *Phcog Rev*, 3(6), 353–358.

<https://www.phcogrev.com/sites/default/files/PhcogRev-3-6-353.pdf>

Prakash, O., Kumar, R., Mishra, A., & Gupta, R. (2009b). Artocarpus heterophyllus (Jackfruit): An Overview. *Pharmacognosy Reviews*, 3(6), 353–358.

<https://www.phcogrev.com/article/2009/3/6-11>

Puertas Ramos, F. V. (2009). Índices de calidad del suelo y parámetros de crecimiento de

cultivos de cobertura en una plantación de Cacao (*Theobroma cacao* L.) [Universidad Nacional Agraria La Molina].

<http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/20.500.12996/4629>

Quijia-Quijia, M., Castillo-Torres, S., Vasquez-Castillo, W., & Racines-Oliva, M. (2020).

Fenología floral de la guaba (*Inga edulis*) en un valle interandino del Ecuador.

Misceláneos (Miscellaneous), 11(3), 25–34.

<https://doi.org/https://doi.org/10.29019/enfoque.v11n3.526>

Romijn, E., Coppus, R., De Sy, V., Herold, M., Roman-Cuesta, R. M., & Verchot, L. (2019).

Land Restoration in Latin America and the Caribbean: An Overview of Recent, Ongoing and Planned Restoration Initiatives and Their Potential for Climate Change Mitigation.

Forests, 10(6), 510. <https://doi.org/10.3390/f10060510>

Saatchi, S., Houghton, R. A., Dos Santos Alvalá, R. C., Soares, J. V., & Yu, Y. (2007).

Distribution of aboveground live biomass in the Amazon basin. *Global Change Biology*, 13(4), 816–837. <https://doi.org/10.1111/J.1365-2486.2007.01323.X>

Saj, S., Jagoret, P., & Todem Ngogue, H. (2013). Carbon storage and density dynamics of associated trees in three contrasting *Theobroma cacao* agroforests of Central Cameroon.

*Agroforestry Systems*, 87(6), 1309–1320. <https://doi.org/10.1007/s10457-013-9639-4>

Salvador-Morales, P., Cámara-Cabrales, L. del C., Martínez-Sánchez, J. L., Sánchez-

Hernandez, R., Valdés-Velarde, E., Salvador-Morales, P., Cámara-Cabrales, L. del C.,

Martínez-Sánchez, J. L., Sánchez-Hernandez, R., & Valdés-Velarde, E. (2019).

Diversidad, estructura y carbono de la vegetación arbórea en sistemas agroforestales de

cacao. *Madera y bosques*, 25(1). <https://doi.org/10.21829/MYB.2019.2511638>

Salvador-Morales, P., Martínez-Sánchez, J. L., Cámara Cabrales, L., Zequeira Ramos, C.,

Salvador-Morales, P., Martínez-Sánchez, J. L., Cámara Cabrales, L., & Zequeira Ramos,

C. (2020). Estructura y carbono específico en una cronosecuencia de sistemas

agroforestales de *Teobroma cacao* L. en Tabasco, México. *Madera y bosques*, 26(3), 1–15. <https://doi.org/10.21829/MYB.2020.2632131>

Santhyami, Roziaty, E., & Suparti. (2023). Trade-off between carbon offset and economic benefit: Potential of cocoa-based agroforestry systems in the voluntary carbon market. *Journal of Agriculture and Rural Development in the Tropics and Subtropics*, 124(2), 101–114. <https://doi.org/https://doi.org/10.17170/kobra-202311028937>

Santos Martin, F., Navarro-Cerrillo, R. M., Mulia, R., & van Noordwijk, M. (2010). Allometric equations based on a fractal branching model for estimating aboveground biomass of four native tree species in the Philippines. *Agroforestry Systems*, 78(3), 193–202. <https://doi.org/10.1007/s10457-009-9271-5>

Sari, R. R., Rozendaal, D. M. A., Saputra, D. D., Hairiah, K., Roshetko, J. M., & van Noordwijk, M. (2022). Balancing litterfall and decomposition in cacao agroforestry systems. *Plant and Soil*, 473(1–2), 251–271. <https://doi.org/10.1007/s11104-021-05279-z>

Schlegel, B., Gayoso, J., & Guerra, J. (2001). Manual de procedimientos para inventarios de carbono en ecosistemas forestales. Universidad Austral De Chile. [https://bibliotecadigital.ciren.cl/bitstream/handle/20.500.13082/26684/Manual\\_de\\_procedimiento\\_para\\_inventarios\\_de\\_carbono\\_en\\_ecosistemas\\_forestales.pdf](https://bibliotecadigital.ciren.cl/bitstream/handle/20.500.13082/26684/Manual_de_procedimiento_para_inventarios_de_carbono_en_ecosistemas_forestales.pdf)

Schneidewind, U., Niether, W., Armengot, L., Schneider, M., Sauer, D., Heitkamp, F., & Gerold, G. (2019). Carbon stocks, litterfall and pruning residues in monoculture and agroforestry cacao production systems. *Experimental Agriculture*, 55(3), 452–470. <https://doi.org/10.1017/S001447971800011X>

Segura, M., & Kanninen, M. (2002). Inventario para estimar carbono en ecosistemas forestales tropicales. En Orozco, L. y Brumer, C. *Inventarios forestales para bosques latifolliados en América Central* (pp. 202–222). CATIE.

SERFOR. (2021). Sistemas agroforestales.

[https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/2057503/Sistemas Agroforestales.pdf.pdf](https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/2057503/Sistemas_Agroforestales.pdf.pdf)

Sharrow, S. H., & Ismail, S. (2004). Carbon and nitrogen storage in agroforests, tree plantations, and pastures in western Oregon, USA. *Agroforestry Systems*, 60(2), 123–130. <https://doi.org/10.1023/B:AGFO.0000013267.87896.41>

Silva, E. M., Rogez, H., da Silva, I. Q., & Larondelle, Y. (2013). Improving the desorption of *Inga edulis* flavonoids from macroporous resin: Towards a new model to concentrate bioactive compounds. *Food and Bioproducts Processing*, 91(4), 558–564.

<https://doi.org/10.1016/j.fbp.2012.11.005>

Somarriba, E., Cerda, R., Orozco, L., Cifuentes, M., Dávila, H., Espin, T., Mavisoy, H., Ávila, G., Alvarado, E., Poveda, V., Astorga, C., Say, E., & Deheuvels, O. (2013). Carbon stocks and cocoa yields in agroforestry systems of Central America. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 173, 46–57. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2013.04.013>

Surco-Huacachi, O., & Garate-Quispe, J. S. (2022). Reservas de carbono en cuatro sistemas agroforestales combinadas con *Theobroma cacao* L., Madre de Dios. *Revista Amazónica de Ciencias Básicas y Aplicadas*, 1(1), e147–e147.

<https://doi.org/10.55873/RACBA.VIII.147>

Terán-Ramírez, M. A., Rodríguez-Ortiz, G., Enríquez-del Valle, J. R., & Velasco-Velasco, V. A. (2018). Biomasa aérea y ecuaciones alométricas en un cafetal en la Sierra Norte de Oaxaca. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 5(14), 217–226.

<https://doi.org/10.19136/era.a5n14.1444>

Tully, K., & Ryals, R. (2017). Nutrient cycling in agroecosystems: Balancing food and environmental objectives. *Agroecology and Sustainable Food Systems*, 41(7), 761–798.

<https://doi.org/10.1080/21683565.2017.1336149>

van Voss, O. H., Aguirre M, N., & Hofstede, R. (2001). *Sistemas forestales integrales para la Sierra del Ecuador*.

<https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=9VlfnxGHspsC&oi=fnd&pg=PA13&dq=sistema+forestal&ots=g9tRDnzMVC&sig=svGSgbRsuZKyFW3W2qRII0nfEwo#v=onepage&q=sistema+forestal&f=false>

Vargas-Mena, A., & Yáñez Sandoval, A. (2004). La captura de carbono en bosques. *Gaceta Ecológica*, 70, 5–18. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2882569>

Vilchez Novoa, E. (2014). *Cuanticación de biomasa y carbono secuestrado en un sistema agroforestal de cacao (theobroma cacao L.) en Tarapoto-San Martín [Universidad Nacional de San Martín]*. <https://tesis.unsm.edu.pe/handle/11458/657>

Zavala, W., Merino, E., & Pedro Peláez, ; (2018). Influencia de tres sistemas agroforestales del cultivo de cacao en la captura y almacenamiento de carbono. *Scientia Agropecuaria*, 9(4), 493–501. <https://doi.org/10.17268/SCI.AGROPECU.2018.04.04>

## ANEXOS

### Anexo 1. Ficha de evaluación de arbóreas del sistema silvicultural

#### FICHA DE EVALUACIÓN SISTEMA SILVICULTURAL - ÁRBOLES

**TRANSECTO: 01**

Tamaño de transecto: 5 m x 100 m

 Fórmula estándar de biomasa en árboles vivos:  $0.1184 \times \text{DAP}^{2.53}$ 

 Fórmula de biomasa en cacao:  $0.4849 \times \text{DAP}^{1.42}$ 

Nº	Especie	Altura (m)	DAP (cm)	Biomasa (kg)	Biomasa (t/ha)	Carbono (t C/ha)
01	Capirona	15.00	16.00	131.76	2.64	1.19
02	Capirona	15.00	17.00	153.60	3.07	1.38
03	Capirona	15.50	18.00	177.50	3.55	1.60
04	Cedro	14.50	30.00	646.35	12.93	5.82
05	Cedro	17.00	19.00	203.52	4.07	1.83
06	Cedro	13.00	24.00	367.52	7.35	3.31
07	Cedro	22.00	30.00	646.35	12.93	5.82
08	Cedro	14.00	26.00	450.02	9.00	4.05
09	Cedro	21.00	29.00	593.22	11.86	5.34
10	Cedro	15.50	25.00	407.51	8.15	3.67
11	Cedro	15.00	25.00	407.51	8.15	3.67
12	Cedro	16.50	19.00	203.52	4.07	1.83
13	Cedro	13.00	30.00	646.35	12.93	5.82
14	Cedro	17.00	23.00	330.01	6.60	2.97
15	Cedro	16.00	20.00	231.72	4.63	2.09
16	Cedro	16.50	21.00	262.16	5.24	2.36
17	Cedro	14.50	20.00	231.72	4.63	2.09
18	Moena	11.50	11.00	51.06	1.02	0.46
19	Moena	14.50	11.00	51.06	1.02	0.46
20	Moena	16.50	11.00	51.06	1.02	0.46
21	Moena	15.50	13.00	77.92	1.56	0.70
22	Moena	12.00	9.00	30.73	0.61	0.28
23	Moena	11.00	11.00	51.06	1.02	0.46
24	Moena	13.00	12.00	63.63	1.27	0.57
25	Moena	15.00	8.00	22.81	0.46	0.21
26	Moena	14.50	8.00	22.81	0.46	0.21
27	Moena	15.50	13.00	77.92	1.56	0.70
28	Moena	13.50	8.00	22.81	0.46	0.21
29	Moena	15.50	14.00	93.98	1.88	0.85

N°	Especie	Altura (m)	DAP (cm)	Biomasa (kg)	Biomasa (t/ha)	Carbono (t C/ha)
30	Moena	13.50	9.00	30.73	0.61	0.28
31	Moena	14.00	12.00	63.63	1.27	0.57
32	Paliperro	10.50	7.00	16.27	0.33	0.15
33	Paliperro	11.50	5.00	6.95	0.14	0.06
34	Paliperro	14.00	7.00	16.27	0.33	0.15
35	Paliperro	11.50	7.00	16.27	0.33	0.15
36	Paliperro	11.00	6.00	11.02	0.22	0.10
37	Paliperro	12.50	5.00	6.95	0.14	0.06
38	Paliperro	13.50	9.00	30.73	0.61	0.28
39	Paliperro	12.50	6.00	11.02	0.22	0.10
40	Paliperro	14.00	7.00	16.27	0.33	0.15
41	Paliperro	13.00	6.00	11.02	0.22	0.10
42	Paliperro	13.00	5.00	6.95	0.14	0.06
43	Paliperro	14.50	6.00	11.02	0.22	0.10
44	Paliperro	13.50	7.00	16.27	0.33	0.15
45	Paliperro	14.50	5.00	6.95	0.14	0.06
46	Paliperro	15.50	7.00	16.27	0.33	0.15
47	Paliperro	14.00	7.00	16.27	0.33	0.15
48	Tornillo	13.50	41.00	1424.61	28.49	12.82
49	Tornillo	15.50	37.00	1098.76	21.98	9.89
50	Tornillo	13.00	32.00	760.99	15.22	6.85
51	Tornillo	16.50	39.00	1255.29	25.11	11.30
52	Tornillo	17.00	34.00	887.14	17.74	7.98
<b>PROMEDIO</b>						
	Capirona	15.17	17.00	154.28	3.09	1.39
	Cedro	16.11	24.36	401.96	8.04	3.62
	Moena	13.96	10.71	50.80	1.02	0.46
	Paliperro	13.06	6.38	13.53	0.27	0.12
	Tornillo	15.10	36.60	1085.36	21.71	9.77

**TRANSECTO: 02**

Tamaño de transecto: 5 m x 100 m

Fórmula estándar de biomasa en árboles vivos:  $0.1184 \times \text{DAP}^{2.53}$ Fórmula de biomasa en cacao:  $0.4849 \times \text{DAP}^{1.42}$ 

N°	Especie	Altura (m)	DAP (cm)	Biomasa (kg)	Biomasa (t/ha)	Carbono (t C/ha)
01	Capirona	14.50	16.00	131.76	2.64	1.19
02	Capirona	15.50	17.00	153.60	3.07	1.38
03	Capirona	15.00	15.00	111.91	2.24	1.01
04	Capirona	13.00	18.00	177.50	3.55	1.60
05	Capirona	14.50	18.00	177.50	3.55	1.60
06	Capirona	15.50	15.00	111.91	2.24	1.01
07	Capirona	14.50	17.00	153.60	3.07	1.38
08	Capirona	15.00	17.00	153.60	3.07	1.38
09	Capirona	14.00	17.00	153.60	3.07	1.38
10	Capirona	17.00	17.00	153.60	3.07	1.38
11	Capirona	17.50	18.00	177.50	3.55	1.60
12	Capirona	14.50	17.00	153.60	3.07	1.38
13	Capirona	15.00	17.00	153.60	3.07	1.38
14	Capirona	14.50	15.00	111.91	2.24	1.01
15	Capirona	13.00	18.00	177.50	3.55	1.60
16	Capirona	17.50	16.00	131.76	2.64	1.19
17	Capirona	15.50	16.00	131.76	2.64	1.19
18	Capirona	14.50	18.00	177.50	3.55	1.60
19	Cedro	12.00	19.00	203.52	4.07	1.83
20	Cedro	16.00	21.00	262.16	5.24	2.36
21	Cedro	14.50	21.00	262.16	5.24	2.36
22	Cedro	17.00	20.00	231.72	4.63	2.09
23	Cedro	17.50	22.00	294.90	5.90	2.65
24	Cedro	17.50	20.00	231.72	4.63	2.09
25	Cedro	14.00	20.00	231.72	4.63	2.09
26	Cedro	15.00	19.00	203.52	4.07	1.83
27	Cedro	15.50	19.00	203.52	4.07	1.83
28	Moena	13.50	14.00	93.98	1.88	0.85
29	Moena	13.00	10.00	40.12	0.80	0.36
30	Moena	15.50	10.00	40.12	0.80	0.36
31	Moena	12.00	11.00	51.06	1.02	0.46
32	Moena	15.00	10.00	40.12	0.80	0.36
33	Moena	15.50	13.00	77.92	1.56	0.70
34	Moena	12.00	11.00	51.06	1.02	0.46
35	Moena	14.50	9.00	30.73	0.61	0.28

N°	Especie	Altura (m)	DAP (cm)	Biomasa (kg)	Biomasa (t/ha)	Carbono (t C/ha)
36	Moena	13.50	9.00	30.73	0.61	0.28
37	Moena	13.50	13.00	77.92	1.56	0.70
38	Moena	14.00	14.00	93.98	1.88	0.85
39	Moena	13.50	14.00	93.98	1.88	0.85
40	Moena	13.50	9.00	30.73	0.61	0.28
41	Moena	14.00	13.00	77.92	1.56	0.70
42	Moena	15.00	12.00	63.63	1.27	0.57
43	Moena	13.50	10.00	40.12	0.80	0.36
44	Paliperro	11.00	5.00	6.95	0.14	0.06
45	Paliperro	11.00	5.00	6.95	0.14	0.06
46	Paliperro	12.50	5.00	6.95	0.14	0.06
47	Paliperro	14.00	5.00	6.95	0.14	0.06
48	Paliperro	15.50	9.00	30.73	0.61	0.28
49	Paliperro	11.50	5.00	6.95	0.14	0.06
50	Paliperro	11.00	5.00	6.95	0.14	0.06
51	Paliperro	11.00	5.00	6.95	0.14	0.06
52	Paliperro	12.00	5.00	6.95	0.14	0.06
53	Paliperro	11.00	8.00	22.81	0.46	0.21
54	Paliperro	11.50	9.00	30.73	0.61	0.28
55	Paliperro	12.50	8.00	22.81	0.46	0.21
56	Paliperro	14.50	8.00	22.81	0.46	0.21
57	Paliperro	12.50	8.00	22.81	0.46	0.21
58	Paliperro	12.00	7.00	16.27	0.33	0.15
59	Paliperro	14.00	8.00	22.81	0.46	0.21
60	Paliperro	12.50	5.00	6.95	0.14	0.06
61	Tornillo	15.50	32.00	760.99	15.22	6.85
62	Tornillo	17.00	23.00	330.01	6.60	2.97
63	Tornillo	14.00	22.00	294.90	5.90	2.65
64	Tornillo	14.50	22.00	294.90	5.90	2.65
65	Tornillo	15.50	27.00	495.11	9.90	4.46
<b>PROMEDIO</b>						
	Capirona	15.03	16.78	149.65	2.99	1.35
	Cedro	15.44	20.11	236.10	4.72	2.12
	Moena	13.84	11.38	58.38	1.17	0.53
	Paliperro	12.35	6.47	14.96	0.30	0.13
	Tornillo	15.30	25.20	435.18	8.70	3.92

**TRANSECTO: 03**

Tamaño de transecto: 5 m x 100 m

Fórmula estándar de biomasa en árboles vivos:  $0.1184 \times \text{DAP}^{2.53}$ Fórmula de biomasa en cacao:  $0.4849 \times \text{DAP}^{1.42}$ 

N°	Especie	Altura (m)	DAP (cm)	Biomasa (kg)	Biomasa (t/ha)	Carbono (t C/ha)
01	Capirona	14.00	15.00	111.91	2.24	1.01
02	Capirona	15.00	16.00	131.76	2.64	1.19
03	Capirona	13.50	14.00	93.98	1.88	0.85
04	Capirona	14.50	17.00	153.60	3.07	1.38
05	Capirona	15.50	15.00	111.91	2.24	1.01
06	Capirona	14.50	16.00	131.76	2.64	1.19
07	Capirona	15.00	17.00	153.60	3.07	1.38
08	Capirona	14.50	15.00	111.91	2.24	1.01
09	Capirona	15.00	17.00	153.60	3.07	1.38
10	Capirona	14.50	16.00	131.76	2.64	1.19
11	Capirona	15.00	14.00	93.98	1.88	0.85
12	Capirona	15.50	17.00	153.60	3.07	1.38
13	Capirona	14.50	15.00	111.91	2.24	1.01
14	Capirona	15.00	16.00	131.76	2.64	1.19
15	Capirona	15.00	17.00	153.60	3.07	1.38
16	Capirona	14.50	14.00	93.98	1.88	0.85
17	Cedro	15.50	18.00	177.50	3.55	1.60
18	Cedro	15.00	19.00	203.52	4.07	1.83
19	Cedro	16.00	21.00	262.16	5.24	2.36
20	Cedro	15.50	20.00	231.72	4.63	2.09
21	Cedro	15.00	18.00	177.50	3.55	1.60
22	Cedro	15.50	19.00	203.52	4.07	1.83
23	Cedro	16.00	20.00	231.72	4.63	2.09
24	Cedro	16.00	21.00	262.16	5.24	2.36
25	Moena	13.50	12.00	63.63	1.27	0.57
26	Moena	13.00	11.00	51.06	1.02	0.46
27	Moena	14.50	13.00	77.92	1.56	0.70
28	Moena	13.00	10.00	40.12	0.80	0.36
29	Moena	14.00	12.00	63.63	1.27	0.57
30	Moena	13.50	11.00	51.06	1.02	0.46
31	Moena	14.00	13.00	77.92	1.56	0.70
32	Moena	13.00	10.00	40.12	0.80	0.36
33	Moena	14.00	13.00	77.92	1.56	0.70
34	Moena	13.50	12.00	63.63	1.27	0.57
35	Moena	14.00	11.00	51.06	1.02	0.46

N°	Especie	Altura (m)	DAP (cm)	Biomasa (kg)	Biomasa (t/ha)	Carbono (t C/ha)
36	Moena	13.00	10.00	40.12	0.80	0.36
37	Moena	14.50	12.00	63.63	1.27	0.57
38	Moena	15.00	13.00	77.92	1.56	0.70
39	Moena	13.50	10.00	40.12	0.80	0.36
40	Moena	13.00	11.00	51.06	1.02	0.46
41	Paliperro	12.50	9.00	30.73	0.61	0.28
42	Paliperro	11.00	5.00	6.95	0.14	0.06
43	Paliperro	12.00	6.00	11.02	0.22	0.10
44	Paliperro	12.50	8.00	22.81	0.46	0.21
45	Paliperro	13.00	9.00	30.73	0.61	0.28
46	Paliperro	12.00	5.00	6.95	0.14	0.06
47	Paliperro	12.50	7.00	16.27	0.33	0.15
48	Paliperro	12.00	8.00	22.81	0.46	0.21
49	Paliperro	11.50	5.00	6.95	0.14	0.06
50	Paliperro	13.00	9.00	30.73	0.61	0.28
51	Paliperro	12.50	7.00	16.27	0.33	0.15
52	Paliperro	11.00	5.00	6.95	0.14	0.06
53	Paliperro	12.50	8.00	22.81	0.46	0.21
54	Paliperro	12.00	6.00	11.02	0.22	0.10
55	Paliperro	13.00	9.00	30.73	0.61	0.28
56	Tornillo	16.00	22.00	294.90	5.90	2.65
57	Tornillo	17.00	23.00	330.01	6.60	2.97
58	Tornillo	16.50	25.00	407.51	8.15	3.67
59	Tornillo	16.00	22.00	294.90	5.90	2.65
60	Tornillo	17.50	26.00	450.02	9.00	4.05
61	Tornillo	17.00	24.00	367.52	7.35	3.31
62	Tornillo	16.50	22.00	294.90	5.90	2.65
<b>PROMEDIO</b>						
	Capirona	13.69	11.50	58.18	1.16	0.52
	Cedro	15.56	19.50	218.72	4.37	1.97
	Moena	14.72	15.69	126.54	2.53	1.14
	Paliperro	12.20	7.07	18.25	0.36	0.16
	Tornillo	16.64	23.43	348.54	6.97	3.14

**TRANSECTO: 04**

Tamaño de transecto: 5 m x 100 m

Fórmula estándar de biomasa en árboles vivos:  $0.1184 \times \text{DAP}^{2.53}$ Fórmula de biomasa en cacao:  $0.4849 \times \text{DAP}^{1.42}$ 

N°	Especie	Altura (m)	DAP (cm)	Biomasa (kg)	Biomasa (t/ha)	Carbono (t C/ha)
01	Capirona	15.00	16.00	131.76	2.64	1.19
02	Capirona	15.50	17.00	153.60	3.07	1.38
03	Capirona	15.00	15.00	111.91	2.24	1.01
04	Capirona	15.50	18.00	177.50	3.55	1.60
05	Capirona	15.00	16.00	131.76	2.64	1.19
06	Capirona	15.00	18.00	177.50	3.55	1.60
07	Capirona	14.50	15.00	111.91	2.24	1.01
08	Capirona	15.00	17.00	153.60	3.07	1.38
09	Capirona	14.50	16.00	131.76	2.64	1.19
10	Capirona	14.00	15.00	111.91	2.24	1.01
11	Capirona	15.00	17.00	153.60	3.07	1.38
12	Capirona	14.50	15.00	111.91	2.24	1.01
13	Cedro	16.00	19.00	203.52	4.07	1.83
14	Cedro	16.00	21.00	262.16	5.24	2.36
15	Cedro	15.50	19.00	203.52	4.07	1.83
16	Cedro	15.50	20.00	231.72	4.63	2.09
17	Cedro	15.00	19.00	203.52	4.07	1.83
18	Cedro	15.50	21.00	262.16	5.24	2.36
19	Cedro	15.00	19.00	203.52	4.07	1.83
20	Cedro	15.50	20.00	231.72	4.63	2.09
21	Moena	13.50	12.00	63.63	1.27	0.57
22	Moena	14.00	13.00	77.92	1.56	0.70
23	Moena	13.00	10.00	40.12	0.80	0.36
24	Moena	14.50	14.00	93.98	1.88	0.85
25	Moena	13.50	11.00	51.06	1.02	0.46
26	Moena	14.00	12.00	63.63	1.27	0.57
27	Moena	13.00	10.00	40.12	0.80	0.36
28	Moena	14.50	13.00	77.92	1.56	0.70
29	Moena	13.50	12.00	63.63	1.27	0.57
30	Moena	14.00	10.00	40.12	0.80	0.36
31	Moena	14.50	14.00	93.98	1.88	0.85
32	Moena	13.00	10.00	40.12	0.80	0.36
33	Moena	15.00	14.00	93.98	1.88	0.85
34	Moena	13.50	11.00	51.06	1.02	0.46
35	Moena	14.00	12.00	63.63	1.27	0.57

N°	Especie	Altura (m)	DAP (cm)	Biomasa (kg)	Biomasa (t/ha)	Carbono (t C/ha)
36	Moena	14.00	14.00	93.98	1.88	0.85
37	Moena	13.00	11.00	51.06	1.02	0.46
38	Moena	13.00	12.00	63.63	1.27	0.57
39	Moena	14.00	14.00	93.98	1.88	0.85
40	Moena	13.50	13.00	77.92	1.56	0.70
41	Moena	12.00	9.00	30.73	0.61	0.28
42	Paliperro	12.00	8.00	22.81	0.46	0.21
43	Paliperro	12.00	7.00	16.27	0.33	0.15
44	Paliperro	12.00	8.00	22.81	0.46	0.21
45	Paliperro	12.00	6.00	11.02	0.22	0.10
46	Paliperro	12.50	8.00	22.81	0.46	0.21
47	Paliperro	11.00	5.00	6.95	0.14	0.06
48	Paliperro	12.00	8.00	22.81	0.46	0.21
49	Paliperro	11.00	5.00	6.95	0.14	0.06
50	Tornillo	16.50	23.00	330.01	6.60	2.97
51	Tornillo	17.00	24.00	367.52	7.35	3.31
52	Tornillo	16.00	22.00	294.90	5.90	2.65
53	Tornillo	17.50	27.00	495.11	9.90	4.46
54	Tornillo	16.00	23.00	330.01	6.60	2.97
55	Tornillo	17.00	25.00	407.51	8.15	3.67
56	Tornillo	16.50	24.00	367.52	7.35	3.31
57	Tornillo	16.00	22.00	294.90	5.90	2.65
58	Tornillo	17.50	27.00	495.11	9.90	4.46
<b>PROMEDIO</b>						
	Capirona	14.88	16.25	138.22	2.76	1.24
	Cedro	13.67	11.95	65.06	1.30	0.59
	Moena	11.81	6.88	16.55	0.33	0.15
	Paliperro	15.50	19.75	225.23	4.50	2.03
	Tornillo	16.67	24.11	375.84	7.52	3.38

**TRANSECTO: 05**

Tamaño de transecto: 5 m x 100 m

Fórmula estándar de biomasa en árboles vivos:  $0.1184 \times \text{DAP}^{2.53}$ Fórmula de biomasa en cacao:  $0.4849 \times \text{DAP}^{1.42}$ 

N°	Especie	Altura (m)	DAP (cm)	Biomasa (kg)	Biomasa (t/ha)	Carbono (t C/ha)
01	Capirona	14.00	15.00	111.91	2.24	1.01
02	Capirona	15.00	17.00	153.60	3.07	1.38
03	Capirona	14.50	15.00	111.91	2.24	1.01
04	Capirona	15.00	16.00	131.76	2.64	1.19
05	Capirona	15.00	18.00	177.50	3.55	1.60
06	Capirona	14.50	15.00	111.91	2.24	1.01
07	Capirona	15.00	17.00	153.60	3.07	1.38
08	Capirona	15.00	15.00	111.91	2.24	1.01
09	Capirona	15.00	15.00	111.91	2.24	1.01
10	Capirona	15.50	16.00	131.76	2.64	1.19
11	Capirona	15.00	15.00	111.91	2.24	1.01
12	Capirona	15.50	17.00	153.60	3.07	1.38
13	Capirona	15.00	16.00	131.76	2.64	1.19
14	Capirona	15.00	17.00	153.60	3.07	1.38
15	Cedro	15.50	20.00	231.72	4.63	2.09
16	Cedro	16.00	21.00	262.16	5.24	2.36
17	Cedro	15.50	19.00	203.52	4.07	1.83
18	Cedro	15.50	19.00	203.52	4.07	1.83
19	Cedro	16.00	21.00	262.16	5.24	2.36
20	Cedro	16.00	19.00	203.52	4.07	1.83
21	Cedro	16.50	20.00	231.72	4.63	2.09
22	Cedro	16.00	19.00	203.52	4.07	1.83
23	Cedro	16.50	21.00	262.16	5.24	2.36
24	Moena	13.50	12.00	63.63	1.27	0.57
25	Moena	13.00	11.00	51.06	1.02	0.46
26	Moena	14.00	14.00	93.98	1.88	0.85
27	Moena	13.50	12.00	63.63	1.27	0.57
28	Moena	12.00	9.00	30.73	0.61	0.28
29	Moena	14.00	13.00	77.92	1.56	0.70
30	Moena	13.50	11.00	51.06	1.02	0.46
31	Moena	13.00	11.00	51.06	1.02	0.46
32	Moena	14.00	14.00	93.98	1.88	0.85
33	Moena	14.50	14.00	93.98	1.88	0.85
34	Moena	13.00	10.00	40.12	0.80	0.36
35	Moena	14.00	12.00	63.63	1.27	0.57

N°	Especie	Altura (m)	DAP (cm)	Biomasa (kg)	Biomasa (t/ha)	Carbono (t C/ha)
36	Moena	13.50	10.00	40.12	0.80	0.36
37	Moena	14.50	13.00	77.92	1.56	0.70
38	Moena	13.00	9.00	30.73	0.61	0.28
39	Moena	14.00	12.00	63.63	1.27	0.57
40	Moena	14.50	13.00	77.92	1.56	0.70
41	Moena	13.00	9.00	30.73	0.61	0.28
42	Moena	15.00	14.00	93.98	1.88	0.85
43	Moena	14.50	13.00	77.92	1.56	0.70
44	Moena	13.00	9.00	30.73	0.61	0.28
45	Moena	15.00	14.00	93.98	1.88	0.85
46	Moena	13.50	10.00	40.12	0.80	0.36
47	Moena	14.50	13.00	77.92	1.56	0.70
48	Moena	13.00	9.00	30.73	0.61	0.28
49	Moena	15.00	13.00	77.92	1.56	0.70
50	Moena	14.50	14.00	93.98	1.88	0.85
51	Moena	13.00	10.00	40.12	0.80	0.36
52	Paliperro	12.00	8.00	22.81	0.46	0.21
53	Paliperro	11.00	5.00	6.95	0.14	0.06
54	Paliperro	11.00	6.00	11.02	0.22	0.10
55	Paliperro	12.00	7.00	16.27	0.33	0.15
56	Paliperro	12.00	6.00	11.02	0.22	0.10
57	Paliperro	12.00	6.00	11.02	0.22	0.10
58	Paliperro	11.00	5.00	6.95	0.14	0.06
59	Paliperro	12.00	7.00	16.27	0.33	0.15
60	Paliperro	12.00	5.00	6.95	0.14	0.06
61	Paliperro	12.00	5.00	6.95	0.14	0.06
62	Paliperro	12.00	5.00	6.95	0.14	0.06
63	Paliperro	12.00	5.00	6.95	0.14	0.06
64	Paliperro	12.00	6.00	11.02	0.22	0.10
65	Tornillo	16.50	22.00	294.90	5.90	2.65
66	Tornillo	16.50	22.00	294.90	5.90	2.65
<b>PROMEDIO</b>						
	Capirona	14.93	16.00	132.76	2.66	1.19
	Cedro	15.94	19.89	229.33	4.59	2.06
	Moena	13.77	11.71	62.62	1.25	0.56
	Paliperro	11.77	5.85	10.85	0.22	0.10
	Tornillo	16.50	22.00	294.90	5.90	2.65

<b>Transecto</b>	<b>N°</b>	<b>Muestra</b>	<b>Biomasa (t/ha)</b>	<b>Carbono (t C/ha)</b>
1	01	Capirona	3.09	1.39
	02	Cedro	8.04	3.62
	03	Moena	1.02	0.46
	04	Paliperro	0.27	0.12
	05	Tornillo	21.71	9.77
2	01	Capirona	2.99	1.35
	02	Cedro	4.72	2.12
	03	Moena	1.17	0.53
	04	Paliperro	0.30	0.13
	05	Tornillo	8.70	3.92
3	01	Capirona	1.16	0.52
	02	Cedro	4.37	1.97
	03	Moena	2.53	1.14
	04	Paliperro	0.36	0.16
	05	Tornillo	6.97	3.14
4	01	Capirona	2.76	1.24
	02	Cedro	1.30	0.59
	03	Moena	0.33	0.15
	04	Paliperro	4.50	2.03
	05	Tornillo	7.52	3.38
5	01	Capirona	2.66	1.19
	02	Cedro	4.59	2.06
	03	Moena	1.25	0.56
	04	Paliperro	0.22	0.10
	05	Tornillo	5.90	2.65

**Anexo 2.** Ficha de evaluación de hojarasca del sistema silvicultural

**FICHA DE EVALUACIÓN**  
**SISTEMA SILVICULTURAL - HOJARASCA**

Área de muestreo: 0.5 m x 0.5 m

Cálculo biomasa: BAH (Tm/ha) = [(PSM/PSM) x PFT] x 0.04

Cálculo carbono: CH = BAH (Tm/ha) x 0.45

Transecto	Nº	Muestra	PFM (g)	PSM (g)	Humedad (%)	Biomasa (t/ha)	Carbono (t C/ha)
1	01	SA T1 C1 Sub.C 1"Ho"	171.90	75.80	55.91	3.03	1.36
	02	SA T1 C2 Sub.C 2"Ho"	134.20	91.20	32.04	3.65	1.64
2	01	SA T2 C1 Sub.C 1"Ho"	73.60	44.80	39.13	1.79	0.81
	02	SA T2 C2 Sub.C 2"Ho"	229.20	52.80	76.96	2.11	0.95
3	01	SA T3 C1 Sub.C 1"Ho"	67.60	44.80	33.73	1.79	0.81
	02	SA T3 C2 Sub.C 2"Ho"	58.40	39.00	33.22	1.56	0.70
4	01	SA T4 C1 Sub.C 1"Ho"	73.40	48.00	34.61	1.92	0.86
	02	SA T4 C2 Sub.C 2"Ho"	81.80	50.20	38.63	2.01	0.90
5	01	SA T5 C1 Sub.C 1"Ho"	68.80	45.20	34.30	1.81	0.81
	02	SA T5 C2 Sub.C 2"Ho"	94.20	55.00	41.61	2.20	0.99
<b>PROMEDIO</b>			105.31	54.68	42.01	2.19	0.98

PFM = Peso fresco de la muestra

PSM = Peso seco de la muestra

**Anexo 3.** Ficha de evaluación de necromasa fina del sistema silvicultural

**FICHA DE EVALUACIÓN**  
**SISTEMA SILVICULTURAL - NECROMASA FINA**

Área de muestreo: 1 m x 1 m

Cálculo biomasa: BNf (Tm/ha) = [(PSM/PSM) x PFT] x 0.01

Cálculo carbono: CNf = BNf (Tm/ha) x 0.45

Transecto	Nº	Muestra	PFM (g)	PSM (g)	Humedad (%)	Biomasa (t/ha)	Carbono (t C/ha)
1	01	SA T1 C1 "Ra"	1048.20	520.40	50.35	5.20	2.34
	02	SA T1 C2 "Ra"	884.40	424.20	52.04	4.24	1.91
2	01	SA T2 C1 "Ra"	671.90	428.70	36.20	4.29	1.93
	02	SA T2 C2 "Ra"	377.40	277.20	26.55	2.77	1.25
3	01	SA T3 C1 "Ra"	123.60	78.10	36.81	0.78	0.35
	02	SA T3 C2 "Ra"	246.80	159.00	35.58	1.59	0.72
4	01	SA T4 C1 "Ra"	424.60	279.60	34.15	2.80	1.26
	02	SA T4 C2 "Ra"	251.40	153.90	38.78	1.54	0.69
5	01	SA T5 C1 "Ra"	383.50	213.40	44.36	2.13	0.96
	02	SA T5 C2 "Ra"	401.10	227.90	43.18	2.28	1.03
<b>PROMEDIO</b>			481.29	276.24	39.80	2.76	1.24

PFM = Peso fresco de la muestra

PSM = Peso seco de la muestra

**Anexo 4.** Ficha de evaluación de herbácea del sistema silvicultural

**FICHA DE EVALUACIÓN**  
**SISTEMA SILVICULTURAL - HERBÁCEA**

Área de muestreo: 1 m x 1 m

Cálculo biomasa: BH (Tm/ha) = [ (PSM/PFM) x PFT] x 0.01

Cálculo carbono: CHB = BAH (Tm/ha) x 0.45

Transecto	Nº	Muestra	PFM (g)	PSM (g)	Humedad (%)	Biomasa (t/ha)	Carbono (t C/ha)
1	01	SA T1 C1 "He"	230.40	44.10	80.86	0.44	0.20
	02	SA T1 C2 "He"	254.40	25.20	90.09	0.25	0.11
2	01	SA T2 C1 "He"	1492.30	200.60	86.56	2.01	0.90
	02	SA T2 C2 "He"	364.00	127.90	64.86	1.28	0.58
3	01	SA T3 C1 "He"	338.50	136.90	59.56	1.37	0.62
	02	SA T3 C2 "He"	812.30	371.50	54.27	3.72	1.67
4	01	SA T4 C1 "He"	419.00	181.20	56.75	1.81	0.82
	02	SA T4 C2 "He"	388.50	117.70	69.70	1.18	0.53
5	01	SA T5 C1 "He"	459.20	144.70	68.49	1.45	0.65
	02	SA T5 C2 "He"	437.30	115.80	73.52	1.16	0.52
<b>PROMEDIO</b>			519.59	146.56	70.47	1.47	0.66

PFM = Peso fresco de la muestra

PSM = Peso seco de la muestra

**Anexo 5.** Ficha de evaluación de carbono del sistema silvicultural

**FICHA DE EVALUACIÓN**  
**SISTEMA SILVICULTURAL - CARBONO EN SUELO**

Profundidad de muestreo: 30 cm

Fórmula densidad aparente: peso seco / volumen del cilindro

Fórmula carbono en suelo: CC x DA x P

Transecto	Densidad aparente individual (g/cm <sup>3</sup> )	Profundidad (m)	Carbono Orgánico (%)	Carbono en Suelo (t/ha)
1	1.49	0.3	1.54	68.84
2	1.36	0.3	0.85	34.68
3	1.11	0.3	0.68	22.64
4	0.78	0.3	1.44	33.70
5	1.13	0.3	0.86	29.15
<b>Promedio de Carbono (t/ha) a 30 cm profundidad</b>				37.80

**Anexo 6.** Ficha de evaluación de arbóreas del sistema guaba con cacao

**FICHA DE EVALUACIÓN**  
**SISTEMA DE GUABA CON CACAO - ÁRBOLES**

**TRANSECTO: 01**

Tamaño de transecto: 4 \* 25 m

Fórmula estándar de biomasa en árboles vivos:  $0.1184 \times \text{DAP}^{2.53}$ Fórmula para biomasa de guaba:  $\ln B = -1.76 + (2.26 \times \ln(\text{DAP}))$ Fórmula de biomasa en cacao:  $0.4849 \times \text{DAP}^{1.42}$ 

Nº	Especie	Altura (m)	DAP (cm)	Biomasa (kg)	Biomasa (t/ha)	Carbono (t C/ha)
01	Cacao	12.50	8.00	9.29	0.93	0.42
02	Cacao	13.00	12.00	16.52	1.65	0.74
03	Cacao	13.50	11.00	14.60	1.46	0.66
04	Cacao	13.50	10.00	12.75	1.28	0.57
05	Cacao	11.50	6.00	6.18	0.62	0.28
06	Cacao	12.50	10.00	12.75	1.28	0.57
07	Cacao	13.50	11.00	14.60	1.46	0.66
08	Cacao	11.50	8.00	9.29	0.93	0.42
09	Cacao	13.50	13.00	18.51	1.85	0.83
10	Cacao	11.50	9.00	10.98	1.10	0.49
11	Cacao	12.50	10.00	12.75	1.28	0.57
12	Cacao	11.00	8.00	9.29	0.93	0.42
13	Cacao	13.50	9.00	10.98	1.10	0.49
14	Cacao	12.50	12.00	16.52	1.65	0.74
15	Cacao	13.50	12.00	16.52	1.65	0.74
16	Cacao	11.50	6.00	6.18	0.62	0.28
17	Cacao	13.00	14.00	20.57	2.06	0.93
18	Cacao	13.50	10.00	12.75	1.28	0.57
19	Cacao	13.00	11.00	14.60	1.46	0.66
20	Cacao	11.00	9.00	10.98	1.10	0.49
21	Cacao	14.00	9.00	10.98	1.10	0.49
22	Cacao	13.50	11.00	14.60	1.46	0.66
23	Cacao	11.50	8.00	9.29	0.93	0.42
24	Cacao	12.50	7.00	7.69	0.77	0.35
25	Cacao	13.50	11.00	14.60	1.46	0.66
26	Cacao	11.50	6.00	6.18	0.62	0.28
27	Cacao	12.50	8.00	9.29	0.93	0.42
28	Cacao	11.50	7.00	7.69	0.77	0.35
29	Cacao	13.00	9.00	10.98	1.10	0.49
30	Guaba	16.50	30.00	374.92	37.49	16.87
31	Guaba	17.50	14.00	66.97	6.70	3.01

N°	Especie	Altura (m)	DAP (cm)	Biomasa (kg)	Biomasa (t/ha)	Carbono (t C/ha)
32	Guaba	13.50	16.00	90.56	9.06	4.08
33	Guaba	17.00	28.00	320.79	32.08	14.44
34	Guaba	17.50	20.00	149.96	15.00	6.75
35	Guaba	13.50	15.00	78.27	7.83	3.52
36	Guaba	18.50	44.00	890.93	89.09	40.09
37	Guaba	14.00	18.00	118.18	11.82	5.32
38	Guaba	17.50	23.00	205.66	20.57	9.25
<b>PROMEDIO</b>						
	Cacao	12.59	9.48	12.00	1.20	0.54
	Guaba	16.17	23.11	255.14	25.51	11.48

**TRANSECTO: 02**

Tamaño de transecto: 4 \* 25 m

Fórmula estándar de biomasa en árboles vivos:  $0.1184 \times \text{DAP}^{2.53}$ Fórmula para biomasa de guaba:  $\ln B = -1.76 + (2.26 \times \ln(\text{DAP}))$ Fórmula de biomasa en cacao:  $0.4849 \times \text{DAP}^{1.42}$ 

N°	Especie	Altura (m)	DAP (cm)	Biomasa (kg)	Biomasa (t/ha)	Carbono (t C/ha)
01	Cacao	13.50	11.00	14.60	1.46	0.66
02	Cacao	12.50	10.00	12.75	1.28	0.57
03	Cacao	13.50	11.00	14.60	1.46	0.66
04	Cacao	14.50	14.00	20.57	2.06	0.93
05	Cacao	12.50	9.00	10.98	1.10	0.49
06	Cacao	12.50	7.00	7.69	0.77	0.35
07	Cacao	11.50	8.00	9.29	0.93	0.42
08	Cacao	12.00	11.00	14.60	1.46	0.66
09	Cacao	12.50	10.00	12.75	1.28	0.57
10	Cacao	12.50	13.00	18.51	1.85	0.83
11	Cacao	12.50	10.00	12.75	1.28	0.57
12	Cacao	11.50	13.00	18.51	1.85	0.83
13	Cacao	12.00	14.00	20.57	2.06	0.93
14	Cacao	12.50	10.00	12.75	1.28	0.57
15	Cacao	11.50	7.00	7.69	0.77	0.35
16	Cacao	11.00	5.00	4.77	0.48	0.21
17	Cacao	12.50	10.00	12.75	1.28	0.57
18	Cacao	12.00	8.00	9.29	0.93	0.42
19	Cacao	12.00	7.00	7.69	0.77	0.35
20	Cacao	11.00	7.00	7.69	0.77	0.35
21	Cacao	10.50	6.00	6.18	0.62	0.28
22	Cacao	12.50	12.00	16.52	1.65	0.74
23	Cacao	12.00	9.00	10.98	1.10	0.49
24	Cacao	11.00	8.00	9.29	0.93	0.42
25	Cacao	12.50	10.00	12.75	1.28	0.57
26	Cacao	12.50	9.00	10.98	1.10	0.49
27	Cacao	13.50	9.00	10.98	1.10	0.49
28	Cacao	11.50	9.00	10.98	1.10	0.49
29	Cacao	12.00	8.00	9.29	0.93	0.42
30	Cacao	12.00	9.00	10.98	1.10	0.49
31	Cacao	13.50	13.00	18.51	1.85	0.83
32	Guaba	13.50	15.00	78.27	7.83	3.52
33	Guaba	12.00	19.00	133.54	13.35	6.01
34	Guaba	12.50	17.00	103.86	10.39	4.67
35	Guaba	11.00	15.00	78.27	7.83	3.52
36	Guaba	14.50	33.00	465.03	46.50	20.93
<b>PROMEDIO</b>						
	Cacao	12.24	9.58	12.20	1.22	0.55
	Guaba	12.70	19.80	171.80	17.18	7.73

**TRANSECTO: 03**

Tamaño de transecto: 4 \* 25 m

Fórmula estándar de biomasa en árboles vivos:  $0.1184 \times \text{DAP}^{2.53}$ Fórmula para biomasa de guaba:  $\ln B = -1.76 + (2.26 \times \ln(\text{DAP}))$ Fórmula de biomasa en cacao:  $0.4849 \times \text{DAP}^{1.42}$ 

N°	Especie	Altura (m)	DAP (cm)	Biomasa (kg)	Biomasa (t/ha)	Carbono (t C/ha)
01	Cacao	11.50	9.00	10.98	1.10	0.49
02	Cacao	11.50	7.00	7.69	0.77	0.35
03	Cacao	11.50	9.00	10.98	1.10	0.49
04	Cacao	11.00	7.00	7.69	0.77	0.35
05	Cacao	10.50	7.00	7.69	0.77	0.35
06	Cacao	10.50	7.00	7.69	0.77	0.35
07	Cacao	11.00	5.00	4.77	0.48	0.21
08	Cacao	13.50	12.00	16.52	1.65	0.74
09	Cacao	12.50	10.00	12.75	1.28	0.57
10	Cacao	13.50	13.00	18.51	1.85	0.83
11	Cacao	12.00	9.00	10.98	1.10	0.49
12	Cacao	11.00	7.00	7.69	0.77	0.35
13	Cacao	13.00	11.00	14.60	1.46	0.66
14	Cacao	12.50	10.00	12.75	1.28	0.57
15	Cacao	14.00	14.00	20.57	2.06	0.93
16	Cacao	13.50	12.00	16.52	1.65	0.74
17	Cacao	12.00	8.00	9.29	0.93	0.42
18	Cacao	11.00	6.00	6.18	0.62	0.28
19	Cacao	13.00	10.00	12.75	1.28	0.57
20	Cacao	12.50	9.00	10.98	1.10	0.49
21	Cacao	14.00	13.00	18.51	1.85	0.83
22	Cacao	13.50	11.00	14.60	1.46	0.66
23	Cacao	12.00	8.00	9.29	0.93	0.42
24	Cacao	11.00	6.00	6.18	0.62	0.28
25	Cacao	13.00	9.00	10.98	1.10	0.49
26	Cacao	12.50	8.00	9.29	0.93	0.42
27	Cacao	14.00	12.00	16.52	1.65	0.74
28	Cacao	13.50	10.00	12.75	1.28	0.57
29	Cacao	12.00	7.00	7.69	0.77	0.35
30	Cacao	14.00	13.00	18.51	1.85	0.83
31	Guaba	14.50	19.00	133.54	13.35	6.01
32	Guaba	16.00	26.00	271.32	27.13	12.21
33	Guaba	18.50	17.00	103.86	10.39	4.67
34	Guaba	14.00	15.00	78.27	7.83	3.52
35	Guaba	16.00	15.00	78.27	7.83	3.52
<b>PROMEDIO</b>						
	Cacao	12.37	9.30	11.73	1.17	0.53
	Guaba	15.80	18.40	133.05	13.31	5.99

**TRANSECTO: 04**

Tamaño de transecto: 4 \* 25 m

Fórmula estándar de biomasa en árboles vivos:  $0.1184 \times \text{DAP}^{2.53}$ Fórmula para biomasa de guaba:  $\ln B = -1.76 + (2.26 \times \ln(\text{DAP}))$ Fórmula de biomasa en cacao:  $0.4849 \times \text{DAP}^{1.42}$ 

N°	Especie	Altura (m)	DAP (cm)	Biomasa (kg)	Biomasa (t/ha)	Carbono (t C/ha)
01	Cacao	12.00	8.00	9.29	0.93	0.42
02	Cacao	11.00	6.00	6.18	0.62	0.28
03	Cacao	13.00	10.00	12.75	1.28	0.57
04	Cacao	12.50	9.00	10.98	1.10	0.49
05	Cacao	14.00	13.00	18.51	1.85	0.83
06	Cacao	13.50	12.00	16.52	1.65	0.74
07	Cacao	12.50	8.00	9.29	0.93	0.42
08	Cacao	11.50	6.00	6.18	0.62	0.28
09	Cacao	13.50	11.00	14.60	1.46	0.66
10	Cacao	13.00	10.00	12.75	1.28	0.57
11	Cacao	12.50	8.00	9.29	0.93	0.42
12	Cacao	11.00	6.00	6.18	0.62	0.28
13	Cacao	14.00	14.00	20.57	2.06	0.93
14	Cacao	13.50	12.00	16.52	1.65	0.74
15	Cacao	12.00	9.00	10.98	1.10	0.49
16	Cacao	11.00	7.00	7.69	0.77	0.35
17	Cacao	12.50	10.00	12.75	1.28	0.57
18	Cacao	12.00	8.00	9.29	0.93	0.42
19	Cacao	13.50	13.00	18.51	1.85	0.83
20	Cacao	11.00	5.00	4.77	0.48	0.21
21	Cacao	13.00	11.00	14.60	1.46	0.66
22	Cacao	12.50	9.00	10.98	1.10	0.49
23	Cacao	11.00	7.00	7.69	0.77	0.35
24	Cacao	13.50	12.00	16.52	1.65	0.74
25	Cacao	12.50	8.00	9.29	0.93	0.42
26	Cacao	11.00	6.00	6.18	0.62	0.28
27	Cacao	14.00	12.00	16.52	1.65	0.74
28	Guaba	14.00	15.00	78.27	7.83	3.52
29	Guaba	13.00	15.00	78.27	7.83	3.52
<b>PROMEDIO</b>						
	Cacao	12.48	9.26	11.68	1.17	0.53
	Guaba	13.50	15.00	78.27	7.83	3.52

**TRANSECTO: 05**

Tamaño de transecto: 4 \* 25 m

Fórmula estándar de biomasa en árboles vivos:  $0.1184 \times \text{DAP}^{2.53}$ Fórmula para biomasa de guaba:  $\ln B = -1.76 + (2.26 \times \ln(\text{DAP}))$ Fórmula de biomasa en cacao:  $0.4849 \times \text{DAP}^{1.42}$ 

N°	Especie	Altura (m)	DAP (cm)	Biomasa (kg)	Biomasa (t/ha)	Carbono (t C/ha)
01	Cacao	13.00	11.00	14.60	1.46	0.66
02	Cacao	12.50	10.00	12.75	1.28	0.57
03	Cacao	14.50	13.00	18.51	1.85	0.83
04	Cacao	13.50	11.00	14.60	1.46	0.66
05	Cacao	12.00	9.00	10.98	1.10	0.49
06	Cacao	11.00	7.00	7.69	0.77	0.35
07	Cacao	13.00	12.00	16.52	1.65	0.74
08	Cacao	12.50	10.00	12.75	1.28	0.57
09	Cacao	14.00	13.00	18.51	1.85	0.83
10	Cacao	13.50	12.00	16.52	1.65	0.74
11	Cacao	12.00	9.00	10.98	1.10	0.49
12	Cacao	11.00	7.00	7.69	0.77	0.35
13	Cacao	13.00	12.00	16.52	1.65	0.74
14	Cacao	12.50	10.00	12.75	1.28	0.57
15	Cacao	14.00	13.00	18.51	1.85	0.83
16	Cacao	13.50	11.00	14.60	1.46	0.66
17	Cacao	12.00	8.00	9.29	0.93	0.42
18	Cacao	11.00	6.00	6.18	0.62	0.28
19	Cacao	13.00	11.00	14.60	1.46	0.66
20	Cacao	12.50	9.00	10.98	1.10	0.49
21	Cacao	14.00	14.00	20.57	2.06	0.93
22	Cacao	13.50	12.00	16.52	1.65	0.74
23	Cacao	12.00	10.00	12.75	1.28	0.57
24	Cacao	11.00	8.00	9.29	0.93	0.42
25	Cacao	13.00	13.00	18.51	1.85	0.83
26	Cacao	12.50	11.00	14.60	1.46	0.66
27	Cacao	13.50	14.00	20.57	2.06	0.93
28	Cacao	12.00	10.00	12.75	1.28	0.57
29	Cacao	11.00	8.00	9.29	0.93	0.42
30	Cacao	14.00	14.00	20.57	2.06	0.93
31	Cacao	13.50	12.00	16.52	1.65	0.74
32	Guaba	14.00	16.00	90.56	9.06	4.08
33	Guaba	14.50	15.00	78.27	7.83	3.52
<b>PROMEDIO</b>						
	Cacao	12.71	10.65	14.11	1.41	0.64
	Guaba	14.25	15.50	84.42	8.44	3.80

<b>Transecto</b>	<b>N°</b>	<b>Muestra</b>	<b>Biomasa (t/ha)</b>	<b>Carbono (t C/ha)</b>
1	1	Cacao	1.20	0.54
	2	Guaba	25.51	11.48
2	1	Cacao	1.22	0.55
	2	Guaba	17.18	7.73
3	1	Cacao	1.17	0.53
	2	Guaba	13.31	5.99
4	1	Cacao	1.17	0.53
	2	Guaba	7.83	3.52
5	1	Cacao	1.41	0.64
	2	Guaba	8.44	3.80

**Anexo 7.** Ficha de evaluación de hojarasca del sistema guaba con cacao

**FICHA DE EVALUACIÓN**  
SISTEMA DE GUABA CON CACAO - HOJARASCA

Área de muestreo: 0.5 m x 0.5 m

Cálculo biomasa: BAH (Tm/ha) = [(PSM/PFM) x PFT] x 0.04

Cálculo carbono: CH = BAH (Tm/ha) x 0.45

Transecto	Nº	Muestra	PFM (g)	PSM (g)	Humedad (%)	Biomasa (t/ha)	Carbono (t C/ha)
1	1	SC P/S T1 C1 Sub.C 1"Ho"	71.40	41.91	41.31	1.68	0.75
	2	SC P/S T1 C2 Sub.C 2"Ho"	129.30	81.49	36.98	3.26	1.47
2	1	SC P/S T2 C1 Sub.C 1"Ho"	34.10	28.40	16.72	1.14	0.51
	2	SC P/S T2 C2 Sub.C 2"Ho"	78.70	58.84	25.24	2.35	1.06
3	1	SC P/S T3 C1 Sub.C 1"Ho"	17.40	8.26	52.53	0.33	0.15
	2	SC P/S T3 C2 Sub.C 2"Ho"	12.80	10.88	14.99	0.44	0.20
4	1	SC P/S T4 C1 Sub.C 1"Ho"	23.40	16.91	27.76	0.68	0.30
	2	SC P/S T4 C2 Sub.C 2"Ho"	28.45	18.80	33.91	0.75	0.34
5	1	SC P/S T5 C1 Sub.C 1"Ho"	84.60	75.09	11.25	3.00	1.35
	2	SC P/S T5 C2 Sub.C 2"Ho"	56.10	50.42	10.13	2.02	0.91
<b>PROMEDIO</b>			53.63	39.10	27.08	1.56	0.70

PFM = Peso fresco de la muestra

PSM = Peso seco de la muestra

**Anexo 8.** Ficha de evaluación de necromasa fina del sistema guaba con cacao

**FICHA DE EVALUACIÓN**  
SISTEMA DE GUABA CON CACAO - NECROMASA FINA

Área de muestreo: 1 m x 1 m

Cálculo biomasa: BNf (Tm/ha) = [ (PSM/PFM) x PFT] x 0.01

Cálculo carbono: CNf = BNf (Tm/ha) x 0.45

Transecto	Nº	Muestra	PFM (g)	PSM (g)	Humedad (%)	Biomasa (t/ha)	Carbono (t C/ha)
1	1	SC P/S T1 C1 "Ra"	560.70	328.91	41.34	3.29	1.48
	2	SC P/S T1 C2 "Ra"	50.00	36.18	27.63	0.36	0.16
2	1	SC P/S T2 C1 "Ra"	118.80	84.85	28.58	0.85	0.38
	2	SC P/S T2 C2 "Ra"	231.90	170.08	26.66	1.70	0.77
3	1	SC P/S T3 C1 "Ra"	240.00	223.65	6.81	2.24	1.01
	2	SC P/S T3 C2 "Ra"	33.80	28.59	15.41	0.29	0.13
4	1	SC P/S T4 C1 "Ra"	67.64	45.97	32.04	0.46	0.21
	2	SC P/S T4 C2 "Ra"	111.10	78.36	29.46	0.78	0.35
5	1	SC P/S T5 C1 "Ra"	99.60	83.79	15.88	0.84	0.38
	2	SC P/S T5 C2 "Ra"	234.30	169.12	27.82	1.69	0.76
<b>PROMEDIO</b>			174.78	124.95	25.16	1.25	0.56

PFM = Peso fresco de la muestra

PSM = Peso seco de la muestra

**Anexo 9.** Ficha de evaluación de herbácea del sistema guaba con cacao

**FICHA DE EVALUACIÓN**  
**SISTEMA DE GUABA CON CACAO - HERBÁCEA**

Área de muestreo: 1 m x 1 m

Cálculo biomasa: BH (Tm/ha) = [ (PSM/PSM) x PFT ] x 0.01

Cálculo carbono: CHB = BAH (Tm/ha) x 0.45

Transecto	Nº	Muestra	PFM (g)	PSM (g)	Humedad (%)	Biomasa (t/ha)	Carbono (t C/ha)
1	1	SC P/S T1 C1 "He"	740.90	76.03	89.74	0.76	0.34
	2	SC P/S T1 C2 "He"	196.50	21.40	89.11	0.21	0.10
2	1	SC P/S T2 C1 "He"	484.50	101.09	79.14	1.01	0.45
	2	SC P/S T2 C2 "He"	777.50	163.25	79.00	1.63	0.73
3	1	SC P/S T3 C1 "He"	189.80	44.35	76.64	0.44	0.20
	2	SC P/S T3 C2 "He"	235.50	65.98	71.98	0.66	0.30
4	1	SC P/S T4 C1 "He"	167.80	36.92	78.00	0.37	0.17
	2	SC P/S T4 C2 "He"	243.10	34.59	85.77	0.35	0.16
5	1	SC P/S T5 C1 "He"	303.60	51.29	83.11	0.51	0.23
	2	SC P/S T5 C2 "He"	358.30	57.40	83.98	0.57	0.26
<b>PROMEDIO</b>			369.75	65.23	81.65	0.65	0.29

PFM = Peso fresco de la muestra

PSM = Peso seco de la muestra

**Anexo 10.** Ficha de evaluación de carbono en suelo del sistema guaba con cacao

**FICHA DE EVALUACIÓN**  
**SISTEMA DE GUABA CON CACAO - CARBONO EN SUELO**

Profundidad de muestreo: 30 cm

Fórmula densidad aparente: (PSM - PF) / volumen del cilindro

Fórmula carbono en suelo: CC x DA x P

Transecto	Densidad aparente individual (g/cm <sup>3</sup> )	Profundidad (m)	Carbono Orgánico (%)	Carbono en Suelo (t/ha)
1	1.44	0.30	0.54	23.33
2	1.31	0.30	0.53	20.83
3	1.82	0.30	1.09	59.51
4	1.47	0.30	0.44	19.40
5	1.14	0.30	0.70	23.94
<b>Promedio de Carbono (t/ha) a 30 cm profundidad</b>				29.40

**Anexo 11.** Ficha de evaluación de biomasa arbórea del sistema jaca con cacao

**FICHA DE EVALUACIÓN**  
**SISTEMA DE JACA CON CACAO - ÁRBOLES**

**TRANSECTO: 01**

Tamaño de transecto: 4 \* 25 m

Fórmula estándar de biomasa en árboles vivos:  $0.1184 \times \text{DAP}^{2.53}$ Fórmula de biomasa en jaca:  $B = 0.065 (\text{DAP}^{2.282})$ Fórmula de biomasa en cacao:  $0.4849 \times \text{DAP}^{1.42}$ 

N°	Especie	Altura (m)	DAP (cm)	Biomasa (kg)	Biomasa (t/ha)	Carbono (t C/ha)
01	Cacao	16.00	23.00	41.62	4.16	1.87
02	Cacao	13.50	24.00	44.21	4.42	1.99
03	Cacao	17.50	20.00	34.13	3.41	1.54
04	Cacao	15.00	19.00	31.73	3.17	1.43
05	Jaca	12.50	30.00	152.65	15.27	6.87
06	Jaca	19.00	42.00	328.98	32.90	14.80
07	Jaca	11.50	30.00	152.65	15.27	6.87
08	Jaca	14.00	32.00	176.87	17.69	7.96
09	Jaca	16.00	28.00	130.42	13.04	5.87
10	Jaca	16.50	37.00	246.35	24.63	11.09
11	Jaca	15.00	41.00	311.38	31.14	14.01
12	Jaca	16.00	28.00	130.42	13.04	5.87
13	Jaca	15.00	54.00	583.76	58.38	26.27
14	Jaca	15.00	38.00	261.81	26.18	11.78
15	Jaca	13.50	39.00	277.79	27.78	12.50
<b>PROMEDIO</b>						
	Cacao	15.50	21.50	37.92	3.79	1.71
	Jaca	14.91	36.27	250.28	25.03	11.26

**Transecto: 02**

Tamaño de transecto: 4 \* 25 m

Fórmula estándar de biomasa en árboles vivos:  $0.1184 \times \text{DAP}^{2.53}$ Fórmula de biomasa en cacao:  $0.4849 \times \text{DAP}^{1.42}$ 

Nº	Especie	Altura (m)	DAP (cm)	Biomasa (kg)	Biomasa (t/ha)	Carbono (t C/ha)
1	Cacao	17.00	20.00	34.13	0.68	0.31
2	Cacao	15.50	9.00	10.98	0.22	0.10
3	Cacao	13.50	21.00	36.58	0.73	0.33
4	Cacao	13.00	11.00	14.60	0.29	0.13
5	Cacao	12.50	15.00	22.68	0.45	0.20
6	Cacao	12.00	5.00	4.77	0.10	0.04
7	Cacao	10.00	8.00	9.29	0.19	0.08
8	Cacao	10.50	5.00	4.77	0.10	0.04
9	Cacao	11.00	13.00	18.51	0.37	0.17
10	Cacao	14.50	14.00	20.57	0.41	0.19
11	Cacao	11.00	8.00	9.29	0.19	0.08
12	Cacao	11.50	20.00	34.13	0.68	0.31
13	Jaca	12.00	42.00	97.87	1.96	0.88
14	Jaca	12.50	29.00	57.84	1.16	0.52
15	Jaca	16.50	31.00	63.59	1.27	0.57
<b>PROMEDIO</b>						
	Cacao	12.67	12.42	18.36	0.37	0.17
	Jaca	13.67	34.00	73.10	1.46	0.66

**TRANSECTO: 03**

Tamaño de transecto: 4 \* 25 m

Fórmula estándar de biomasa en árboles vivos:  $0.1184 \times \text{DAP}^{2.53}$ Fórmula de biomasa en cacao:  $0.4849 \times \text{DAP}^{1.42}$ 

Nº	Especie	Altura (m)	DAP (cm)	Biomasa (kg)	Biomasa (t/ha)	Carbono (t C/ha)
01	Cacao	13.00	6.00	6.18	0.12	0.06
02	Cacao	11.50	9.00	10.98	0.22	0.10
03	Cacao	11.00	9.00	10.98	0.22	0.10
04	Cacao	12.00	8.00	9.29	0.19	0.08
05	Cacao	13.50	8.00	9.29	0.19	0.08
06	Cacao	14.00	7.00	7.69	0.15	0.07
07	Cacao	11.00	7.00	7.69	0.15	0.07
08	Cacao	12.00	12.00	16.52	0.33	0.15
09	Cacao	12.00	11.00	14.60	0.29	0.13
10	Cacao	12.50	11.00	14.60	0.29	0.13
11	Cacao	11.50	5.00	4.77	0.10	0.04
12	Jaca	20.00	62.00	170.16	3.40	1.53
13	Jaca	24.50	45.00	107.95	2.16	0.97
14	Jaca	14.50	31.00	63.59	1.27	0.57
<b>PROMEDIO</b>						
	Cacao	12.18	8.45	10.24	0.20	0.09
	Jaca	19.67	46.00	113.90	2.28	1.03

**TRANSECTO: 04**

Tamaño de transecto: 4 \* 25 m

Fórmula estándar de biomasa en árboles vivos:  $0.1184 \times \text{DAP}^{2.53}$ Fórmula de biomasa en cacao:  $0.4849 \times \text{DAP}^{1.42}$ 

N°	Especie	Altura (m)	DAP (cm)	Biomasa (kg)	Biomasa (t/ha)	Carbono (t C/ha)
01	Cacao	11.50	9.00	10.98	1.10	0.49
02	Cacao	10.50	7.00	7.69	0.77	0.35
03	Cacao	13.50	14.00	20.57	2.06	0.93
04	Cacao	11.00	9.00	10.98	1.10	0.49
05	Cacao	14.50	10.00	12.75	1.28	0.57
06	Cacao	11.00	7.00	7.69	0.77	0.35
07	Cacao	14.50	17.00	27.10	2.71	1.22
08	Jaca	23.00	26.00	49.54	4.95	2.23
<b>PROMEDIO</b>						
	Cacao	12.36	10.43	13.96	1.40	0.63
	Jaca	23.00	26.00	49.54	4.95	2.23

**TRANSECTO: 05**

Tamaño de transecto: 4 \* 25 m

Fórmula estándar de biomasa en árboles vivos:  $0.1184 \times \text{DAP}^{2.53}$ Fórmula de biomasa en cacao:  $0.4849 \times \text{DAP}^{1.42}$ 

N°	Especie	Altura (m)	DAP (cm)	Biomasa (kg)	Biomasa (t/ha)	Carbono (t C/ha)
01	Cacao	15.50	8.00	9.29	0.93	0.42
02	Cacao	13.50	11.00	14.60	1.46	0.66
03	Cacao	13.50	17.00	27.10	2.71	1.22
04	Cacao	11.50	7.00	7.69	0.77	0.35
05	Jaca	15.50	36.00	78.63	7.86	3.54
<b>PROMEDIO</b>						
	Cacao	13.50	10.75	14.67	1.47	0.66
	Jaca	15.50	36.00	78.63	7.86	3.54

Transecto	N°	Muestra	Biomasa (t/ha)	Carbono (t C/ha)
1	01	Cacao	3.79	1.71
	02	Jaca	25.03	11.26
2	01	Cacao	0.37	0.17
	02	Jaca	1.46	0.66
3	01	Cacao	0.20	0.09
	02	Jaca	2.28	1.03
4	01	Cacao	1.40	0.63
	02	Jaca	4.95	2.23
5	01	Cacao	1.47	0.66
	02	Jaca	7.86	3.54

**Anexo 12.** Ficha de evaluación de hojarasca del sistema jaca con cacao

**FICHA DE EVALUACIÓN**  
**SISTEMA DE JACA CON CACAO - HOJARASCA**

Área de muestreo: 0.5 m x 0.5 m

Cálculo biomasa: BAH (Tm/ha) = [(PSM/PFM) x PFT] x 0.04

Cálculo carbono: CH = BAH (Tm/ha) x 0.45

Transecto	Nº	Muestra	PFM (g)	PSM (g)	Humedad (%)	Biomasa (t/ha)	Carbono (t C/ha)
1	01	SJ T <sub>1</sub> C <sub>1</sub> Sub.C <sub>1</sub> "Ho"	26.40	19.10	27.65	0.76	0.34
	02	SJ T <sub>1</sub> C <sub>2</sub> Sub.C <sub>2</sub> "Ho"	29.80	23.22	22.07	0.93	0.42
2	01	SJ T <sub>2</sub> C <sub>1</sub> Sub.C <sub>1</sub> "Ho"	84.70	56.12	33.74	2.25	1.01
	02	SJ T <sub>2</sub> C <sub>2</sub> Sub.C <sub>2</sub> "Ho"	16.50	11.10	32.70	0.44	0.20
3	01	SJ T <sub>3</sub> C <sub>1</sub> Sub.C <sub>1</sub> "Ho"	25.20	19.52	22.54	0.78	0.35
	02	SJ T <sub>3</sub> C <sub>2</sub> Sub.C <sub>2</sub> "Ho"	90.20	60.43	33.00	2.42	1.09
4	01	SJ T <sub>4</sub> C <sub>1</sub> Sub.C <sub>1</sub> "Ho"	99.00	56.98	42.44	2.28	1.03
	02	SJ T <sub>4</sub> C <sub>2</sub> Sub.C <sub>2</sub> "Ho"	25.50	12.06	52.71	0.48	0.22
5	01	SJ T <sub>5</sub> C <sub>1</sub> Sub.C <sub>1</sub> "Ho"	41.20	30.92	24.95	1.24	0.56
	02	SJ T <sub>5</sub> C <sub>2</sub> Sub.C <sub>2</sub> "Ho"	59.60	40.75	31.63	1.63	0.73
<b>PROMEDIO</b>			49.81	33.02	32.34	1.32	0.59

PFM = Peso fresco de la muestra

PSM = Peso seco de la muestra

**Anexo 13.** Ficha de evaluación de necromasa fina del sistema jaca con cacao

**FICHA DE EVALUACIÓN**  
**SISTEMA DE JACA CON CACAO - NECROMASA FINA**

Área de muestreo: 1 m x 1 m

Cálculo biomasa: BNf (Tm/ha) = [(PSM/PFM) x PFT] x 0.01

Cálculo carbono: CNf = BNf (Tm/ha) x 0.45

Transecto	Nº	Muestra	PFM (g)	PSM (g)	Humedad (%)	Biomasa (t/ha)	Carbono (t C/ha)
1	01	SJ T <sub>1</sub> C <sub>1</sub> "Ra"	215.00	148.12	31.11	1.48	0.67
	02	SJ T <sub>1</sub> C <sub>2</sub> "Ra"	69.10	30.36	56.07	0.30	0.14
2	01	SJ T <sub>2</sub> C <sub>1</sub> "Ra"	254.40	163.58	35.70	1.64	0.74
	02	SJ T <sub>2</sub> C <sub>2</sub> "Ra"	57.60	31.40	45.49	0.31	0.14
3	01	SJ T <sub>3</sub> C <sub>1</sub> "Ra"	62.90	23.01	63.42	0.23	0.10
	02	SJ T <sub>3</sub> C <sub>2</sub> "Ra"	74.60	55.44	25.68	0.55	0.25
4	01	SJ T <sub>4</sub> C <sub>1</sub> "Ra"	289.30	137.94	52.32	1.38	0.62
	02	SJ T <sub>4</sub> C <sub>2</sub> "Ra"	39.40	21.62	45.12	0.22	0.10
5	01	SJ T <sub>5</sub> C <sub>1</sub> "Ra"	134.30	84.82	36.84	0.85	0.38
	02	SJ T <sub>5</sub> C <sub>2</sub> "Ra"	141.70	78.61	44.52	0.79	0.35
<b>PROMEDIO</b>			133.83	77.49	43.63	0.78	0.35

PFM = Peso fresco de la muestra

PSM = Peso seco de la muestra

**Anexo 14.** Ficha de evaluación de herbácea del sistema jaca con cacao

**FICHA DE EVALUACIÓN**  
**SISTEMA DE JACA CON CACAO – HERBÁCEA**

Área de muestreo: 1 m x 1 m

Cálculo biomasa: BH (Tm/ha) = [ (PSM/PFM) x PFT] x 0.01

Cálculo carbono: CHB = BAH (Tm/ha) x 0.45

Transecto	Nº	Muestra	PFM (g)	PSM (g)	Humedad (%)	Biomasa (t/ha)	Carbono (t C/ha)
1	01	SJ T1 C1 "He"	193.30	27.82	85.61	0.28	0.13
	02	SJ T1 C2 "He"	473.60	86.47	81.74	0.87	0.39
2	01	SJ T2 C1 "He"	89.30	8.33	90.67	0.08	0.04
	02	SJ T2 C2 "He"	316.00	52.03	83.54	0.52	0.23
3	01	SJ T3 C1 "He"	533.40	102.24	80.83	1.02	0.46
	02	SJ T3 C2 "He"	549.90	125.25	77.22	1.25	0.56
4	01	SJ T4 C1 "He"	405.10	37.65	90.71	0.38	0.17
	02	SJ T4 C2 "He"	1293.10	165.90	87.17	1.66	0.75
5	01	SJ T5 C1 "He"	175.80	22.46	87.23	0.23	0.10
	02	SJ T5 C2 "He"	210.40	14.89	92.92	0.15	0.07
<b>PROMEDIO</b>			423.99	64.30	85.76	0.64	0.29

PFM = Peso fresco de la muestra

PSM = Peso seco de la muestra

**Anexo 15.** Ficha de evaluación de carbono en suelo del sistema jaca con cacao

**FICHA DE EVALUACIÓN**  
**SISTEMA DE JACA CON CACAO - CARBONO EN SUELO**

Profundidad de muestreo: 30 cm

Fórmula densidad aparente: (PSM – PF) / volumen del cilindro

Fórmula carbono en suelo: CC x DA x P

Transecto	Densidad aparente individual (g/cm <sup>3</sup> )	Profundidad (m)	Carbono Orgánico (%)	Carbono en Suelo (t/ha)
1	1.58	0.30	0.31	14.69
2	1.37	0.30	0.64	26.30
3	1.63	0.30	0.60	29.34
4	1.73	0.30	0.69	35.81
5	1.18	0.30	0.60	21.24
<b>Promedio de Carbono (t/ha) a 30 cm profundidad</b>				25.48

## Anexo 16. Resultados de análisis de carbono orgánico en suelo

## LABORATORIO AGRÍCOLA

Laboratorio acreditado NTP-ISO/IEC 17025:2017. Registro LE-229

### INFORME DE ENSAYO N° 19-2025

Fecha de ensayo: 7/2/2025

N° Item	Codigo de laboratorio	Codigo usuario	Prof.*	Peso de muestra (kg)	N° de perforaciones*	RESULTADOS						
						pH	CE dS/cm	CaCO3	C.O. %	N	P	K
1	115	SGC C-R5	0-30 cm	0.50	1.00	---	---	---	0.70	---	---	---
2	116	SJC C-R5	0-30 cm	0.50	1.00	---	---	---	0.60	---	---	---
3	117	SAF C-R5	0-30 cm	0.50	1.00	---	---	---	0.86	---	---	---

\* Datos proporcionados por el cliente

Nota: 1- Los resultados presentados pertenecen al ítem ensayado tal como se recibió por parte del cliente.

Nota: 2- Este informe no se puede reproducir sin la aprobación del laboratorio excepto cuando se reproduce en su totalidad.

  
 INSTITUTO DE CULTIVOS TROPICALES  
 TAGAPOTO - PERU  
 César O. Herrera Hernández, MSc  
 JEFE DEL LABORATORIO

## Anexo 17. Resultados de análisis de densidad aparente en suelo

## LABORATORIO AGRÍCOLA

Laboratorio acreditado NTP-ISO/IEC 17025:2017. Registro LE-229

### INFORME DE ENSAYO N° 20-2025

Fecha de ensayo: 7/2/2025

N° Item	Codigo de laboratorio	Codigo usuario	Prof.*	Peso de muestra (kg)	N° de perforaciones*	pH	RESULTADOS					D.A. g/cm <sup>3</sup>
							CE dS/cm	CaCO <sub>3</sub>	C.O. %	N	P mg/kg	
1	118	SGC D 15 -R5	0-15	0.50	1	---	---	---	---	---	---	1.17
2	119	SGC D 30 -R5	0-30	0.50	1	---	---	---	---	---	---	1.14
3	120	SJC D 15 -R5	0-15	0.50	1	---	---	---	---	---	---	1.18
4	121	SJC D 30 -R5	0-30	0.50	1	---	---	---	---	---	---	1.18
5	122	SAFD 15-R5	0-15	0.50	1	---	---	---	---	---	---	1.15
6	123	SAFD 30-R5	0-30	0.50	1	---	---	---	---	---	---	1.13

\* Datos proporcionados por el cliente

Nota: 1- Los resultados presentados pertenecen al ítem ensayado tal como se recibió por parte del cliente.

Nota: 2- Este informe no se puede reproducir sin la aprobación del laboratorio excepto cuando se reproduce en su totalidad.

  
 INSTITUTO DE CULTIVOS TROPICALES  
 TAMAPO - PERU  
 César O. ...  
 JEFE DEL LABORATORIO

## Anexo 18. Resultados de análisis de carbono orgánico en suelo

## LABORATORIO AGRÍCOLA

## INFORME DE ENSAYO N° 58-2025

5/3/2025

Fecha de ensayo:

N° Item	Codigo de laboratorio	Codigo usuario	Prof.*	Peso de muestra (kg)	N° de perforaciones	pH	RESULTADOS		
							CE dS/cm	CaCO3 %	C.O.
1	219	SGCT1ca	0-30	0.50	1	---	---	---	0.54
2	220	SGCT2ca	0-30	0.50	1	---	---	---	0.53
3	221	SGCT3ca	0-30	0.50	1	---	---	---	1.09
4	222	SGCT4ca	0-30	0.50	1	---	---	---	0.44
5	223	SJCT1ca	0-30	0.50	1	---	---	---	0.31
6	224	SJCT2ca	0-30	0.50	1	---	---	---	0.64
7	225	SJCT3ca	0-30	0.50	1	---	---	---	0.60

## LABORATORIO AGRÍCOLA

### INFORME DE ENSAYO N° 58-2025

Fecha de ensayo: 5/3/2025

N° Item	Codigo de laboratorio	Codigo usuario	Prof.*	Peso de muestra (kg)	N° de perforaciones	pH	RESULTADOS		
							CE dS/cm	CaCO3 %	C.O.
8	226	SJCT4ca	0-30	0.50	1	---	---	---	0.69
9	227	SFT1ca	0-30	0.50	1	---	---	---	1.54
10	228	SFT2ca	0-30	0.50	1	---	---	---	0.85
11	229	SFT3ca	0-30	0.50	1	---	---	---	0.68
12	230	SFT4ca	0-30	0.50	1	---	---	---	1.44

\* Datos proporcionados por el cliente

Nota: 1- Los resultados presentados pertenecen al ítem ensayado tal como se recibió por parte del cliente.

Nota: 2- Este informe no se puede reproducir sin la aprobación del laboratorio excepto cuando se reproduce en su totalidad.


  
 INSTITUTO DE CULTIVOS TROPICALES  
 TUMBOKO - PERU  
 Crear Oportunidades, Mejorar la Vida  
 JEFE DE LABORATORIO

Anexo 19. Resultados de análisis

Solicitud N°: AS-0001-2025  
 REPORTE DE ANÁLISIS N° 00002-2025

Fecha de análisis : del 03/03/2025 al 06/03/2025

Ítem	INFORMACIÓN DE LOS ÍTEMS			RESULTADOS			
	Laboratorio	Código	Usuario	Profundidad de muestreo	Peso inicial	Peso seco	Densidad Aparente
1	25 03 0001	SGCT1D1	SGCT1D1	0 - 15	214.9	188.8	1.24
2	25 03 0002	SGCT1D2	SGCT1D2	15 - 30	250.2	219.4	1.44
3	25 03 0003	SGCT2D1	SGCT2D1	0 - 15	263.0	230.2	1.51
4	25 03 0004	SGCT2D2	SGCT2D2	15 - 30	229.5	199.7	1.31
5	25 03 0005	SGCT3D1	SGCT3D1	0 - 15	196.0	176.1	1.16
6	25 03 0006	SGCT3D2	SGCT3D2	15 - 30	309.2	277.2	1.82
7	25 03 0007	SGCT4D1	SGCT4D1	0 - 15	257.5	230.3	1.51
8	25 03 0008	SGCT4D2	SGCT4D2	15 - 30	249.1	223.9	1.47
9	25 03 0009	SJCT1D1	SJCT1D1	0 - 15	263.6	237.0	1.56
10	25 03 0010	SJCT1D2	SJCT1D2	15 - 30	265.3	240.0	1.58
11	25 03 0011	SJCT2D1	SJCT2D1	0 - 15	235.2	206.1	1.36
12	25 03 0012	SJCT2D2	SJCT2D2	15 - 30	236.6	208.6	1.37
13	25 03 0013	SJCT3D1	SJCT3D1	0 - 15	218.3	192.8	1.27
14	25 03 0014	SJCT3D2	SJCT3D2	15 - 30	282.0	248.4	1.63
15	25 03 0015	SJCT4D1	SJCT4D1	0 - 15	240.6	213.2	1.40
16	25 03 0016	SJCT4D2	SJCT4D2	15 - 30	297.2	262.9	1.73
17	25 03 0017	SFT1D1	SFT1D1	0 - 15	258.8	232.3	1.53
18	25 03 0018	SFT1D2	SFT1D2	15 - 30	252.6	226.1	1.49
19	25 03 0019	SFT2D1	SFT2D1	0 - 15	196.5	172.9	1.14
20	25 03 0020	SFT2D2	SFT2D2	15 - 30	235.2	206.1	1.36
21	25 03 0021	SFT3D1	SFT3D1	0 - 15	252.5	224.0	1.47
22	25 03 0022	SFT3D2	SFT3D2	15 - 30	192.8	169.4	1.11
23	25 03 0023	SFT4D1	SFT4D1	0 - 15	162.6	137.6	0.90
24	25 03 0024	SFT4D2	SFT4D2	15 - 30	145.8	119.3	0.78

**Declaración de relación de resultados**

Los resultados presentados en este Reporte corresponden únicamente a los ítems analizados.

# Fernando Fachin Flores

## INFORME DE TESIS Fernando Fachin Flores PDF.pdf

 Universidad Nacional Autónoma de Alto Amazonas

### Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid:::15388:545867226

Fecha de entrega

13 ene 2026, 3:03 p.m. GMT-5

Fecha de descarga

13 ene 2026, 3:05 p.m. GMT-5

Nombre del archivo

INFORME DE TESIS Fernando Fachin Flores PDF.pdf

Tamaño del archivo

808.1 KB

54 páginas

13.166 palabras

70.204 caracteres






## 17% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

### Filtrado desde el informe

- ▶ Bibliografía
- ▶ Texto citado
- ▶ Texto mencionado
- ▶ Coincidencias menores (menos de 8 palabras)

### Fuentes principales

- 16%  Fuentes de Internet
- 5%  Publicaciones
- 10%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

### Marcas de integridad

#### N.º de alertas de integridad para revisión

No se han detectado manipulaciones de texto sospechosas.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

