

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

FACULTAD DE AGRONOMIA

MAESTRÍA EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

MENCIÓN: AGRICULTURA SOSTENIBLE



**“SERVICIOS ECOSISTÉMICOS EN TRES AGROECOSISTEMAS DE *Musa sp.*
(PLÁTANO) PARA MITIGAR EL CAMBIO CLIMÁTICO EN HUANGANAPAMPA –
CASTILLO GRANDE”**

Tesis

Para optar el grado de:

**MAESTRO EN CIENCIAS AGRÍCOLAS,
MENCIÓN: AGRICULTURA SOSTENIBLE**

Presentado Por:

MARÍA NORIS CHINCHAY CÓRDOVA

Asesor:

JOSÉ WILFREDO ZAVALA SOLÓRZANO

Tingo María – Perú

2024



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
ESCUELA DE POSGRADO
UNIDAD DE POSGRADO – FACULTAD DE AGRONOMÍA



“Año del bicentenario, de la consolidación de nuestra independencia y de la conmemoración de las heroicas batallas de Junín y Ayacucho”

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS
Nro. 002 -2024-UP-FA-UNAS

En la ciudad universitaria, siendo las 6:00 p.m., del lunes 22 de abril de 2024, reunidos en la sala de audiovisuales de la Facultad de Agronomía, se instaló el Jurado Calificador a fin de proceder a la sustentación de la tesis titulada:

**“SERVICIOS ECOSISTÉMICOS EN TRES AGROECOSISTEMAS DE
Musa sp. (PLÁTANO) PARA MITIGAR EL CAMBIO CLIMÁTICO
EN HUANGANAPAMPA – CASTILLO GRANDE”**

A cargo del candidato al Grado de Maestro en Ciencias Agrícolas, mención: Agricultura Sostenible, **MARIA NORIS CHINCHAY CORDOVA.**

Luego de la exposición y absueltas las preguntas de rigor, el Jurado Calificador procedió a emitir su fallo declarando **APROBADO** con el calificativo de **MUY BUENO.**

Acto seguido, a horas 7:47 p.m. el presidente dio por culminada la sustentación; procediéndose a la suscripción de la presente acta por parte de los miembros del jurado, quienes dejan constancia de su firma en señal de conformidad.

.....
Dr. VICTORINO RIVAS PULACHE
Presidente del Jurado

.....
M. Sc. GIANNFRANCO EGOÁVIL JUMP
Miembro del Jurado

.....
M. Sc. MARCO ANTONIO DUEÑAS TUESTA
Miembro del Jurado

.....
Dr. JOSÉ WILFREDO ZAVALA SOLÓRZANO
Asesor





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

CERTIFICADO DE SIMILITUD T.I. N 119 - 2026 - CS-RIDUNAS

El Jefe de la Unidad de Soporte Científico de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, quien suscribe,

CERTIFICA QUE:

El Trabajo de Investigación; aprobó el proceso de revisión a través del software TURNITIN, evidenciándose en el informe de originalidad un índice de similitud no mayor del 25% y contenido generado por Inteligencia Artificial menor o igual al 20%. Según establece el Art. 29° y 30° del Acuerdo Nro.017-2025-CIUNAS-VRI-UNAS.

Programa de Estudio:

Maestría en Ciencias Agrícolas Mención: Agricultura Sostenible
--

Tipo de documento:

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

TÍTULO	AUTOR	PORCENTAJE	
		SIMILITUD	CONTENIDO GENERADO POR INTELIGENCIA ARTIFICIAL
SERVICIOS ECOSISTÉMICOS EN TRES AGROECOSISTEMAS DE <i>Musa</i> sp. (PLÁTANO) PARA MITIGAR EL CAMBIO CLIMÁTICO EN HUANGANAPAMPA-CASTILLO GRANDE	MARIA NORIS CHINCHAY CORDOVA	11 % Once	0 % Cero

Tingo María, 13 de abril de 2026.


 UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
 UNIDAD DE SOPORTE CIENTÍFICO

 ING. EINSTEIN A. ORTIZ MORALES
 JEFE

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

FACULTAD DE AGRONOMIA

MAESTRÍA EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

MENCIÓN: AGRICULTURA SOSTENIBLE



“SERVICIOS ECOSISTÉMICOS EN TRES AGROECOSISTEMAS DE *Musa sp.* (PLÁTANO) PARA MITIGAR EL CAMBIO CLIMÁTICO EN HUANGANAPAMPA – CASTILLO GRANDE”

Autor	: María Noris Chinchay Córdova
Asesor	: José Wilfredo Zavala Solórzano
Maestría	: Ciencias agrícolas
Mención	: Agricultura sostenible
Área de investigación	: Suelos y fertilizantes
Línea de investigación	: Fertilidad, clasificación, biología y manejo de suelos
Eje temático	: Almacenamiento de carbono en Plátano
Lugar de ejecución	: Margen izquierda del río Huallaga - Huanganapampa
Duración	: 06 meses
Financiamiento	: Propio

Tingo María – Perú, 2024



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
VICERRECTOR DE INVESTIGACION
Instituto de Investigación
Unidad de Gestión de la Investigación

FORMATO PARA REGISTRAR EL PROYECTO DE TESIS PARA LA OBTENCIÓN DEL GRADO ACADÉMICO DE MAESTRO

Universidad	: Universidad Nacional Agraria de la selva
Escuela de Posgrado	: EPG-UNAS
Posgrado	: Maestría en Ciencias Agrícolas
Mención	: Agricultura Sostenible
Título de la Tesis	: Servicios ecosistémicos en tres agroecosistemas de <i>Musa sp.</i> (PLÁTANO) para mitigar el cambio climático en Huanganapampa – Castillo Grande.
Objetivo General	: Estimar el almacenamiento del carbono en tres agroecosistemas, del cultivo del plátano, así como evaluar los servicios ecosistémicos, que brinda el sistema agroforestal de tres parcelas de plátano, para mitigar el cambio climático.
Autor de la Tesis	: María Noris Chinchay Córdova
DNI	: 72105514
Correo electrónico	: maria.chinchay@unas.edu.pe
Asesor	: José Wilfredo Zavala Solórzano
Área de Investigación	: Suelos y fertilizantes
Grupo de Investigación	: Recuperación y manejo de suelos degradados y contaminados
Línea de investigación	: Fertilidad, clasificación, biología y manejo de suelos
Lugar de Ejecución	: Margen izquierda del río Huallaga - Huanganapampa
Fecha de inicio	: Noviembre 2022
Fecha de finalización	: Mayo 2023
Presupuesto	: S/. 5890.00
Financiamiento	: Propio (X) FIF () Externo ()

Según: **Resolución:** N° 461-2023-R-UNAS y Resolución: N° 295-2023-R-UNAS

DEDICATORIA

A Dios, porque siempre está conmigo,
dándome aliento en momentos de dificultades
y tristezas y guía para cumplir su misión aquí
en la tierra.

A mis queridos padres Duberli Chinchay
Carrasco y a mi estimada madre Genara Córdova
García, porque siempre me brinda su cariño y
fuerza.

A mis hermanos Jaxeis, Esmen, Ney,
Milusca, Maridelsa, Emperatriz y Carmen
por todo el apoyo que me dan dentro de mi
hogar.

AGRADECIMIENTOS

- A la Universidad Nacional Agraria de la Selva, en especial a la Facultad de Agronomía que contribuyó en mi formación profesional.
- Al Dr. José Wilfredo Zavala Solórzano, mi asesor, por su valiosa colaboración y supervisión en el desarrollo de la presente Tesis, por el apoyo en la instalación, manejo y conducción, y en la revisión académica y científica de mi trabajo de investigación.
- A los miembros del Jurado de Tesis, Dr. Victorino Rivas Pulache (Presidente de jurado), M. Sc. Giannfranco Egoavil Jump y M. Sc. Marco Dueñas Tuesta (Miembros de Jurado) por su activa participación en el presente trabajo.
- A Al Centro de Salud Global de la fundación y clínica Yantaló de Moyobamba, quien desde mis tempranos estudios me permitió trabajar en campos de la fundación.
- A todos los amigos y familiares que me apoyaron con su cariño, comprensión y consejos para el desarrollo y realización de la presente tesis.

ÍNDICE

	Página
I. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Objetivo General.....	1
1.2. Objetivos específicos	1
II. REVISIÓN LITERATURA	3
2.1. Marco teórico	3
2.1.1. Biomasa.....	3
2.1.2. Dióxido de carbono (CO ₂).....	3
2.1.3. Carbono almacenado	3
2.1.4. Secuestro y almacenamiento de carbono	4
2.1.5. Importancia de los sumideros de carbono	5
2.1.6. Carbono en los suelos.....	5
2.1.7. Biomasa y carbono	5
2.2. Método para estimar la cantidad de carbono existente en todos los vegetales	6
2.2.1. Método destructivo.....	6
2.2.2. Método alométricas	7
2.3. Papel del carbono en los diferentes sistemas de uso de la tierra.....	7
2.3.1. La agrosilvicultura.....	7
2.3.2. En el pastoreo	8
2.3.3. En los cultivos	9
2.4. Cambio climático	9
2.5. Efecto Invernadero	9
2.6. Gases de efecto invernadero	9
2.7. Ciclo biológico de carbono	10
2.8. Carbono en las plantas	10
2.9. Arreglos agroforestales como sumideros de carbono	10
2.10. Cuantificación de biomasa y carbono	11
2.11. Servicios ecosistémicos.....	11
2.11.1. La captura de carbono en los bosques.....	12
2.12. Valoración económica de servicios ecosistémicos	12
2.13. Estado del arte.....	13
III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	15

3.1.	Lugar de ejecución.....	15
3.2.	Materiales y equipos	15
3.2.1.	Materiales.....	15
3.2.2.	Equipos.....	15
3.3.	Metodología	15
3.3.1.	Determinar el carbono almacenado en el cultivo de plátano en tres unidades fisiográficas sector Huanganapampa-Tingo María	15
•	Selección de las parcelas experimentales.....	15
•	Demarcación del área a muestrear	16
3.3.2.	Estimar el mayor contenido de carbono en la biomasa del cultivo de plátano, especies forestales, arbustos, hojarasca, raíces y del suelo de las tres unidades fisiográficas en el sector Huanganapampa- Tingo María	16
•	Carbono de las herbáceas	16
•	Carbono de la biomasa hojarasca	17
•	Carbono de la biomasa radicular.....	17
•	Densidad aparente	17
•	Determinación de Carbono orgánico del suelo	17
•	Muestreo de suelos, medición de la densidad aparente y peso del suelo	17
3.3.3.	Evaluar los servicios ambientales o servicios ecosistémicos que brinda los ecosistemas del cultivo de plátano, mitigando el cambio climático.	21
3.4.	Análisis estadístico.....	22
3.4.1.	Variables dependientes.....	22
3.4.2.	Variables independientes.....	22
3.4.3.	Análisis estadístico.....	22
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	23
4.1.	Carbono almacenado en la biomasa vegetal en tres unidades fisiográficas de Huanganapampa.....	23
4.2.	Carbono almacenado en el suelo de las unidades fisiográficas de Huanganapampa	27
4.3.	Carbono total almacenado en tres unidades fisiográficas en Huanganapampa	30
4.4.	Identificación de los servicios ecosistémicos en los cultivos de plátano como sistema agroforestal.....	33
V.	CONCLUSIONES.....	39

VI. PROPUESTAS A FUTURO	40
VII. REFERENCIAS	41
ANEXOS.....	42

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla	Página
1. Análisis de varianza (ANOVA) del contenido de carbono almacenado (t/ha) en la biomasa vegetal en las tres parcelas de plátano como sistema agroforestal.	23
2. Prueba de Duncan ($\alpha=0,05$) del contenido de carbono en la biomasa vegetal en tres parcelas de plátano como sistema agroforestal.	24
3. Análisis de varianza (ANOVA) del contenido de carbono orgánico en el suelo de tres unidades fisiográficas (tC/ha).	27
4. Prueba de Duncan ($\alpha=0,05$) para las variables en el suelo en tres unidades fisiográficas del cultivo de plátano.	28
5. Análisis de varianza (ANOVA) del contenido de carbono orgánico en el suelo de tres unidades fisiográficas (tC/ha).	30
6. Valores promedio para el carbono total en tres unidades fisiográficas de un sistema agroforestal.	30
7. Análisis de varianza (ANOVA) de la densidad aparente del suelo (g/cc) y peso seco de raíces (g).	31
8. Prueba de Duncan de densidad aparente del suelo (g/cc) y peso seco de raíces (g) por estrato y unidad fisiográfica.	33
9. Valores promedio para el carbono total en el cultivo de plátano como sistema agroforestal.	34
10. Color de suelo registrado dentro de las 3 unidades fisiográficas a diferentes profundidades.	36
11. Valores de temperatura, humedad relativa y luminosidad dentro y fuera de la parcela de tres unidades fisiográficas en Huanganapampa. (50 000), promedio de 5 lecturas por parcela.	37
12. Biomasa y carbono del componente forestal en las parcelas de Huanganapampa.	48
13. Biomasa y carbono en las parcelas de Huanganapampa.	49
14. Biomasa y carbono herbáceo-arbustivo de las parcelas de Huanganapampa.	59
15. Biomasa y carbono de la hojarasca de las parcelas en Huanganapampa.	60
16. Biomasa y carbono radicular de las parcelas en Huanganapampa.	61
17. Densidad aparente, peso del volumen seco y carbono del suelo de las parcelas de Huanganapampa.	63
18. Características de la temperatura, humedad relativa y luminosidad en las parcelas de Huanganapampa.	66

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Página
1. Proporción de la composición de la biomasa forestal	6
2. Demarcación del área experimental	16
3. Equipos digitales, hidrómetro y luxómetro.	21
4. Tabla Munshell soil color book.....	22
5. a) Contenido de carbono (t/ha) en las especies forestales, b) Contenido de carbono en los plátanos, c) contenido de carbono en las herbáceas y arbustos, d) contenido de carbono en la hojarasca, y e) contenido de carbono en las raíces en tres sistemas.....	26
6. a) Contenido de carbono (t/ha), b) Densidad del suelo (g/cc), c) peso del volumen t/ha) en las unidades fisiográficas de Huanganapampa.....	29
7. Vista del área experimental terraza baja.	69
8. Vista del área experimental terraza baja.	69
9. Evaluación de biomasa en las unidades de muestreo.	70
10. Medición de la circunferencia del cultivo de plátano.	70
11. Toma de medida de circunferencia en otros cultivos.	71
12. Toma de medida de circunferencia en arboles forestales.....	71
13. Toma de registro de especies vegetales dentro de las áreas de muestreo.	72
14. Apertura de calicatas.	72
15. Muestreo de biomasa fresca y seca.	73
16. Muestreo de la densidad aparente del suelo.	73
17. Muestreo raíces en el suelo y pH	74
18. Análisis mecánico del suelo.	74
19. Análisis de materia orgánica y nitrógeno en el suelo.....	75
20. Gráfico de color de Musell usado en la descripción de suelo.	76

RESUMEN

El presente estudio se llevó a cabo en tres unidades fisiográficas en Huanganapampa, ubicado en el distrito de Castillo Grande, provincia de Leoncio Prado, región Huánuco. El objetivo principal fue estimar el almacenamiento de carbono en tres agroecosistemas de cultivo de plátano y evaluar los servicios ecosistémicos que brindan para mitigar el cambio climático. La investigación se realizó de manera descriptiva no experimental, centrándose en variables como la biomasa y el carbono de especies forestales, plantas de plátano, herbáceas-arbustos, hojarasca, raíces, distribución de raíces en tres capas, densidad aparente y carbono en el suelo a diferentes profundidades. Para lograrlo, se seleccionaron al azar ocho parcelas de muestreo por cada unidad fisiográfica. La metodología utilizada para determinar el carbono orgánico siguió la propuesta del ICRAF (2002).

Los resultados obtenidos revelan que la mayor cantidad de carbono almacenado (t/ha) en los tres agroecosistemas de plátano, lo presenta la terraza alta con 2,57 t/ha, quedando al último la terraza baja con 2,28 t/ha de carbono, lo que indica una posible influencia del tipo de suelo en los niveles de carbono registrados en cada unidad fisiográfica. En cuanto al carbono de las especies forestales presentó el mayor contenido de carbono en la biomasa vegetal en las tres parcelas, terraza alta 12,73 t/ha, seguido del carbono en los plátanos con 2.57 t/ha, en la terraza alta; y por último el carbono en las herbáceas y arbustivas que presenta la terraza media 0,81 tC/ha,.

La terraza alta presenta la mayor cantidad de Carbono total en el SAF con 100,04 (t/ha). Así mismo el Carbono total en el suelo en la terraza baja, aportó mayor cantidad de carbono con 83,79 (t/ha). La terraza alta presentó el mejor servicio ecosistémico debido al aporte de materia orgánica y biomasa vegetal; además la terraza alta presenta un microclima favorable con temperaturas más bajas, menor humedad relativa y menor luminosidad lo que contribuye a un entorno propicio para la producción sostenible.

Los sistemas agroforestales del cultivo de plátano permiten almacenar mayor cantidad de carbono en el suelo, reduciendo los gases de efecto invernadero y por lo tanto mitigando el cambio climático debido a los servicios ecosistémicos que genera estos sistemas agroecológicos. Estos hallazgos proporcionan información valiosa para comprender y mitigar el cambio climático en los agroecosistemas de cultivo de plátano.

Palabras clave: Carbono, terraza, almacenamiento de carbono, unidad fisiográfica.

ABSTRACT

The present study was carried out in three physiographic units in Huanganapampa, located in the district of Castillo Grande, province of Leoncio Prado, Huánuco region. The main objective was to estimate carbon storage in three agroecosystems of banana cultivation and evaluate the ecosystem services they provide to mitigate climate change. The research was conducted descriptively, without experimentation, focusing on variables such as biomass and carbon of forest species, banana plants, herbaceous-shrubs, litter, roots, root distribution in three layers, apparent density, and soil carbon at different depths. To achieve this, eight sampling plots were randomly selected for each physiographic unit. The methodology used to determine organic carbon followed the proposal by ICRAF (2002).

The results obtained reveal that the highest amount of carbon stored (t/ha) in the three banana agroecosystems, sector is presented by the high terrace with 2.57 t/ha, with the low terrace coming last. with 2.28 t/ha of carbon, which indicates a possible influence of the soil type on the carbon levels recorded in each physiographic unit. Regarding the carbon of the forest species, it presented the highest carbon content in the plant biomass in the three plots, high terrace 12.73 t/ha, followed by carbon in bananas with 2.57 t/ha, in the high terrace; and finally the carbon in the herbaceous and shrubby plants that the average terrace has 0.81 tC/ha.

The high terrace presents the highest amount of total Carbon in the SAF with 100.04 (t/ha). Likewise, the total carbon in the soil on the low terrace contributed the greatest amount of carbon with 83.79 (t/ha). The high terrace presented the best ecosystem service due to the contribution of organic matter and plant biomass; these the high terrace has a favorable microclimate with lower temperatures, lower relative humidity and lower luminosity, which contributes to an environment conducive to sustainable production.

Banana cultivation agroforestry systems allow a greater amount of carbon to be stored in the soil, reducing greenhouse gases and therefore mitigating climate change due to the ecosystem services generated by these agroecological systems. These findings provide valuable information to understand and mitigate climate change in banana growing agroecosystems.

Keywords: Carbon, terrace, carbon storage, physiographic unit.

I. INTRODUCCIÓN

El cambio climático representa uno de los mayores desafíos ambientales y socioeconómicos de nuestro tiempo, con consecuencias significativas para la biodiversidad, los ecosistemas y la calidad de vida humana a nivel global. Entre los principales factores que contribuyen a este fenómeno se encuentra el aumento de los gases de efecto invernadero (GEI) en la atmósfera, siendo el dióxido de carbono (CO₂) uno de los más prominentes (Andrade, 2013).

La deforestación y la combustión de combustibles fósiles son dos de las actividades humanas que más contribuyen a la emisión de CO₂ (Watson et al., 2000). Sin embargo, la naturaleza también ofrece una solución natural para contrarrestar este problema: los árboles, a través de su capacidad para fijar CO₂ mediante la fotosíntesis y almacenarlo en su estructura leñosa (Arévalo et al., 2003). Por lo tanto, los árboles no solo son esenciales para el equilibrio ecológico, sino que también desempeñan un papel crucial en la regulación del clima global al actuar como reservorios naturales de carbono.

En este contexto, los sistemas agroforestales, que combinan árboles con cultivos agrícolas, se presentan como una estrategia prometedora para mitigar el cambio climático (Ciesla, 1996). El cultivo de plátano (*Musa sp.*) en sistemas agroforestales ofrece una oportunidad única para el almacenamiento de carbono y la prestación de diversos servicios ecosistémicos, como la conservación del suelo, la regulación del clima local y la biodiversidad.

Esta investigación se centra en estimar el almacenamiento de carbono y los servicios ecosistémicos proporcionados por tres agroecosistemas de cultivo de plátano en la región de Huánuco, Perú. Al comprender mejor la contribución de estos agroecosistemas a la mitigación del cambio climático, se podrán desarrollar estrategias más efectivas para la gestión sostenible de los recursos naturales y la adaptación a los desafíos climáticos emergentes (Acosta et al., 2001).

1.1. Objetivo General

Estimar el almacenamiento del carbono y servicios ecosistémicos en tres agroecosistemas de *Musa sp.* (plátano) para mitigar el cambio climático.

1.2. Objetivos específicos

- Estimar la cantidad de carbono almacenado (t/ha) en tres agroecosistemas de plátano en el sector de Huanganapampa-Tingo María.

- Estimar el mayor contenido de carbono en la biomasa del cultivo de plátano, especies forestales, arbustos, hojarasca, raíces y del suelo de las tres unidades fisiográficas en el sector de Huanganapampa-Tingo María.

- Evaluar los servicios ecosistémicos que brinda los agroecosistemas del cultivo de plátano para mitigar el cambio climático.

II. REVISIÓN LITERATURA

2.1. Marco teórico

2.1.1. Biomasa

La cantidad total de organismos vivos presentes en una determinada área en un momento específico se conoce como biomasa o masa biológica. Por lo general, se expresa en toneladas de materia seca por unidad de superficie o volumen. La medición y cuantificación de la biomasa pueden resultar desafiantes, pero son útiles para comprender la cantidad de materia orgánica presente en un ecosistema en un momento dado. Es especialmente complicado cuantificar la biomasa en las capas superiores de un ecosistema (Arévalo et al., 2002).

2.1.2. Dióxido de carbono (CO₂)

Es esencial para el equilibrio de los gases que una parte de ellos se retenga en la atmósfera, otra parte ingrese a los océanos en forma de carbonatos, la vida marina la deposite en el fondo marino, y una tercera parte sea absorbida por las plantas y retenida en sus tejidos antes de introducirse parcialmente en el suelo, donde se fosiliza. Una cantidad menor también se suma a las emisiones volcánicas. El dióxido de carbono (CO₂) es el principal gas de efecto invernadero (GEI), responsable de aproximadamente dos tercios de las emisiones y del calentamiento proporcional (Balesdent, 1996).

Debido a la alta concentración de moléculas de carbono en la xilomasa, la lignina y la celulosa (que en conjunto contienen el 49 % del carbono que puede convertirse en 1 t de carbono), los bosques desempeñan un papel fundamental en la regulación del flujo de carbono, contribuyendo al 70 % de este entre la biosfera y la atmósfera del planeta. Se estima que cada año se liberan a la atmósfera alrededor de 5,7 toneladas de carbono como resultado de la quema de combustibles fósiles, la deforestación y el cambio en el uso de la tierra. Los océanos y los bosques son los mayores sumideros de carbono, conteniendo aproximadamente 4 toneladas de carbono (Dávila, 2021).

2.1.3. Carbono almacenado

La capacidad de un bosque para mantener un nivel específico de biomasa por hectárea, determinada por su heterogeneidad y regida por las condiciones del suelo y el clima, está estrechamente ligada a la cantidad de carbono almacenado. Dado que el carbono se fija durante la fotosíntesis, proceso mediante el cual las plantas producen los nutrientes necesarios para su crecimiento, estas tienen la capacidad de absorber dióxido de carbono de la

atmósfera. Dependiendo de las condiciones locales, se estima que una hectárea de bosque puede capturar hasta 10 toneladas de carbono por año y por hectárea de la atmósfera (Balesdent, 1996).

Se estima que alrededor del 45 % de la biomasa de las plantas secas está compuesta por carbono. En los bosques, el carbono se acumula sin ser liberado a la atmósfera. La biomasa seca en los ecosistemas de bosques tropicales puede variar entre 150 y 382 toneladas por hectárea; en consecuencia, la cantidad de carbono almacenado puede oscilar entre 67,5 y 171 toneladas por hectárea (Arévalo et al., 2002).

2.1.4. Secuestro y almacenamiento de carbono

El secuestro de carbono es un proceso continuo que ocurre en cualquier sistema de uso de la tierra como consecuencia de intervenciones en regiones que están experimentando degradación o están en proceso de degradación. Ejemplos de estas intervenciones son los programas de gestión del suelo que incluyen la reforestación, la agroforestería o la conservación del suelo. Las estimaciones de las emisiones fijas de carbono generalmente se expresan en toneladas de carbono por hectárea por año (t/ha/año). Los agricultores pueden calcular estas emisiones en varios sistemas de uso de la tierra cuyos historiales (principalmente el período de uso) son conocidos. Los bosques primarios, áreas quemadas para la plantación o cultivo de cultivos anuales, bosques secundarios de diferentes edades, pastizales, sistemas agroforestales, barbechos mejorados, sistemas silvopastoriles, entre otros, son ejemplos de estos sistemas. Por lo tanto, en cada uno de estos sistemas se puede determinar la captura de carbono (Arévalo et al., 2002).

En todos los sistemas analizados, la biomasa de los árboles vivos mostró una mayor capacidad para almacenar carbono; Además, los diversos sistemas de uso del suelo exhiben una biomasa heterogénea que varía según las especies y el tipo de suelo. Esta variabilidad tiene un impacto en la dominancia y evolución de las especies vegetales (Zuluaga, 2004).

Numerosas variables, como la textura, profundidad, densidad aparente, aireación y composición mineral del suelo, influirán en el secuestro de carbono. Las variables limitantes incluyen la producción de biomasa aérea y subterránea, los impactos directos del cambio climático en los procesos del suelo y los efectos indirectos del cambio climático en la producción de biomasa, lo que determinará hasta qué punto se puede alcanzar el nivel potencial de carbono del suelo. Las variables de reducción, como las pérdidas directas por erosión,

lixiviación y gestión de residuos agrícolas que pueden restringir la cantidad de carbono que ingresa al suelo, regularán los niveles actuales de almacenamiento de carbono en el suelo (Hernández, 2001).

2.1.5. Importancia de los sumideros de carbono

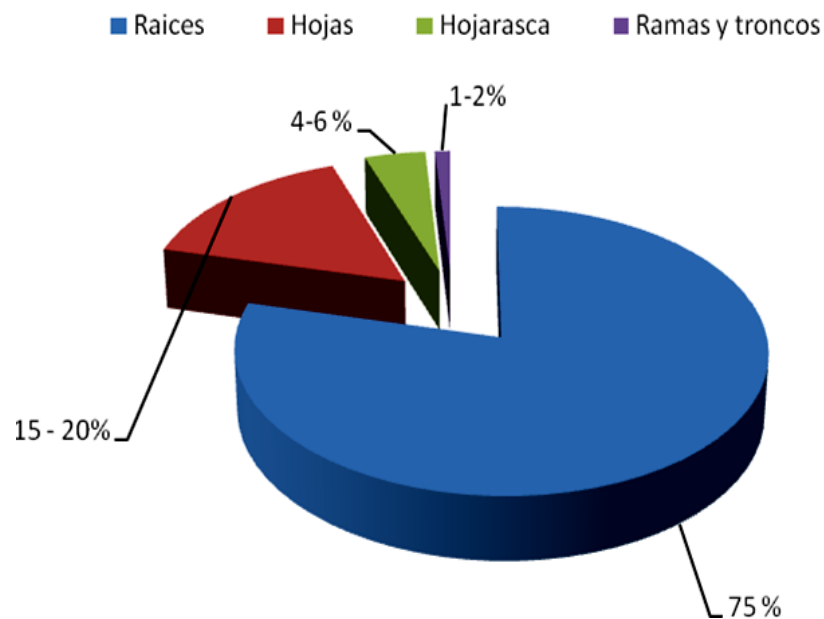
Para contrarrestar los errores del pasado, debemos plantar activamente más árboles para construir los sumideros de carbono que serán necesarios si los pronósticos actuales sobre el calentamiento global resultan ser precisos. También necesitamos mantener y gestionar los bosques que existen ahora. Para facilitar las negociaciones entre las distintas partes sobre estos créditos, el Protocolo de Kioto ofrece opciones para la forestación y apoya las operaciones de reforestación. Para beneficiarse de estos créditos, los gobiernos deben comenzar a planificar lo antes posible. El primer período de compromiso se extiende de 2008 a 2012 (Zuluaga, 2004).

2.1.6. Carbono en los suelos

Se estima que la producción primaria neta oscila entre 120 y 170 mil millones de toneladas por hectárea de materia seca, lo que equivale a aproximadamente 75 mil millones de toneladas por hectárea de carbono. De esta cantidad, dos tercios se generan en ecosistemas terrestres y el restante tercio en ecosistemas marinos. Anualmente, una cantidad equivalente de carbono se respira y se reintroduce al medio ambiente en forma de CO₂. En los suelos de los ecosistemas terrestres, se encuentra de dos a cuatro veces más carbono en forma de sustancias inertes en comparación con otras formas. Además, se ha descubierto que la hojarasca del suelo representa al menos un tercio, y en ocasiones incluso más, de la energía y el carbono absorbidos por el bosque (Hernández, 2001).

2.1.7. Biomasa y carbono

La cantidad total de materia biológica de la Tierra se conoce como biomasa; la escala utilizada para definirla puede ser desde un árbol hasta una hectárea, una región, un país, etc. La misma idea se da como densidad de biomasa por unidad de área (ha). La biomasa total del espacio necesario se determina multiplicando la densidad de biomasa por la superficie (Callo-Concha et al., 2000).



Fuente: Barbaran (1998).

Figura 1. Proporción de la composición de la biomasa forestal.

Una evaluación precisa de la biomasa forestal es crucial, ya que la relación de proporcionalidad entre ésta y su contenido de carbono oscila entre 0,45 y 0,5 %. Como consecuencia, los inventarios forestales sirven como base para la estimación del carbono, ya que miden la biomasa directamente y la infieren utilizando modelos alométricos, que son el resultado de regresiones que utilizan cantidades sustanciales de datos de campo (Callo - Concha et al., 2000). Sin embargo, algunas variables suelen subestimarse en la cuantificación de la biomasa: las palmeras y las raíces, cuyo aporte varía según el clima y el suelo, pueden llegar hasta un tercio.

En los bosques maduros, los volúmenes de biomasa no arbórea, herbácea, arbustiva y liana no suelen superar el 3 % de la biomasa total; sin embargo, en los bosques secundarios puede llegar de un 40 a un 50 % incorporado al suelo, proveniente de hojas, ramas y raíces (Zuluaga, 2004).

2.2. Método para estimar la cantidad de carbono existente en todos los vegetales

Los datos disponibles en el momento de la estimación determinarán cuál de los dos enfoques se utilizará para calcular la biomasa de los ecosistemas.

2.2.1. Método destructivo

Hernández (2001) afirma que esta técnica hace uso de información recopilada a partir de evaluaciones dañinas de las plantas dentro de una determinada unidad de superficie. Generalmente no se utiliza debido a su alto costo.

2.2.2. Método alométricas

Hernández (2001) manifiesta que se trata de medir una porción de la persona para poder sacar conclusiones generales. Utilizando las ecuaciones alométricas creadas por Brown (1997), inicialmente se aproximaron usando datos de volumen de fuste y estimaciones de densidad de biomasa arbórea aérea (BA) de los bosques regionales. Normalmente, las ecuaciones de regresión alométrica se utilizan para estimar la biomasa de los árboles aéreos utilizando una colección de árboles de una parcela promedio.

Hernández (2001), afirma que su técnica es típicamente aplicable a bosques secundarios y maduros que se encuentran tanto en regiones secas como húmedas. Sin embargo, como los datos iniciales del método procedían de bosques espesos, su uso en ciertos tipos de bosques es más aceptable.

2.3. Papel del carbono en los diferentes sistemas de uso de la tierra

2.3.1. La agrosilvicultura

Las plantaciones de árboles combinadas con pastos y cultivos, conocidas como agroforestería, representan una alternativa viable a la agricultura de tala y quema, así como a la deforestación. Este enfoque ofrece un considerable potencial para la captura de carbono en la agricultura. Un análisis del almacenamiento de carbono en varias regiones tropicales indica que, mediante ciclos de corte más cortos, de ocho a cinco años, en comparación con los bosques, es posible alcanzar almacenamientos de carbono de 21 a 50 toneladas por hectárea en áreas subhúmedas y húmedas, respectivamente. Aunque nuestros cálculos no consideraron el carbono del suelo, se estima que las raíces por sí solas podrían aumentar estos niveles en un 10 % (Robert, 2002).

Desde una perspectiva teórica, la agrosilvicultura es una propuesta atractiva para modificar el uso de la tierra en relación con la captura de dióxido de carbono, por varias razones. En primer lugar, debido a su extensa cobertura y la tasa relativamente alta de absorción de carbono (0,2 a 3,1 toneladas por hectárea por año o más, dependiendo del tiempo que los árboles permanezcan en su ubicación actual). En segundo lugar, puede contribuir a reducir las significativas emisiones de dióxido de carbono provocadas por la deforestación (Robert, 2002).

Por último, la agrosilvicultura puede ofrecer un sistema que sea económicamente, ambientalmente y técnicamente sostenible. Sin embargo, la promoción de este tipo de manejo de la tierra se ve obstaculizada por factores sociales y culturales, lo que probablemente limite su impacto en la captura de carbono. Las tasas anuales de captura de

carbono en la silvicultura en diversas zonas climáticas pueden estimarse utilizando valores globales. Las regiones tropicales (4–8t/ha) muestran una tasa general de captura de carbono por encima y por debajo del suelo en toneladas de carbono por hectárea por año, mayor que las regiones templadas (1,5–4,5t/ha) y boreales (0,4–1,2t/ha) (Hernández, 2001).

El contenido de carbono en el suelo por sí solo supera al de la biomasa forestal, según datos sobre la distribución del carbono en las raíces, la biomasa aérea, los residuos y el suelo. Estas proporciones varían según la zona climática; La cantidad de carbono en el suelo es mayor en las regiones frías (boreales y templadas) y menor en las regiones tropicales (Dávila, 2021).

Comparados con los suelos de pastizales, los suelos forestales han demostrado tener tasas potenciales de acumulación de carbono más bajas, entre 0,3 y 0,6 toneladas por hectárea por año. Suponiendo que no existan otros factores limitantes, la adición de carbonato de calcio al suelo o la fertilización pueden aumentar la biomasa tanto por encima como por debajo del suelo (Hernández, 2001).

2.3.2. En el pastoreo

Se ha destacado previamente la importancia de las reservas de carbono y la extensión de los campos de pastoreo. Aunque en general los pastizales contienen menos carbono que algunos ecosistemas forestales, es posible que haya más carbono en el suelo. Por lo general, los suelos utilizados para pastoreo tienen una mayor concentración de carbono en comparación con los utilizados para cultivos. Sin embargo, aproximadamente el 70 % de las tierras de pastoreo están dañadas, y una de las principales causas de este deterioro es el pastoreo excesivo, especialmente en regiones predominantemente secas, semiáridas o subhúmedas con pastizales (Robert, 2002).

Otra estrategia para controlar las especies leñosas es el uso de incendios, lo que conlleva cierta pérdida de carbono, pero principalmente transfiere CO₂ a las plantas, donde puede representar hasta el 30 % del carbono del suelo. Regular la cantidad, frecuencia, intensidad y estacionalidad del pastoreo, así como mejorar la gestión del fuego para suprimir las especies leñosas, son algunas de las principales estrategias utilizadas en el manejo de los pastizales. Mejorar la calidad de los pastos y del suelo son otras soluciones (Hernández, 2001).

La escasez de nutrientes es uno de los factores clave del suelo que limita el crecimiento de las plantas. Una posible opción podría ser la fertilización con dosis bajas, preferiblemente utilizando fósforo en lugar de nitrógeno. Sin embargo, la incorporación de leguminosas fijadoras de nitrógeno resulta en una fertilización nitrogenada superior, que es más

ecológica y sostenible. Otra forma de abordar el problema podría ser modificar las condiciones de pastoreo e introducir especies más productivas con sistemas de raíces más profundos y mayor resistencia a la degradación de los pastizales. Dado que los pastos pueden almacenar grandes cantidades de carbono de manera estable, todas estas técnicas mejorarán significativamente la captura de carbono. No obstante, un aumento en los rendimientos que duplique o triplique la producción también podría ser significativo (Robert, 2002).

2.3.3. En los cultivos

Como se dijo anteriormente, la gestión del suelo y los cultivos puede aumentar en gran medida la cantidad de tiempo que el carbono adicional puede almacenarse en el suelo, algo que debería tenerse en cuenta en cualquier acuerdo posterior al Protocolo de Kioto. Se evaluó el impacto de diversas técnicas agronómicas y tipos de uso de la tierra en la absorción y liberación de carbono (Hernández, 2001).

2.4. Cambio climático

Es el resultado de la aceleración del efecto invernadero natural de la Tierra. Los efectos desastrosos que este proceso está causando en todo el planeta, incluido el derretimiento de los polos, el aumento del nivel del mar, las sequías, los huracanes, las tormentas, la reubicación de áreas agrícolas, la migración de enfermedades y la extinción de especies, son los que lo hacen tan importante (Robert, 2002).

2.5. Efecto Invernadero

La temperatura de la tierra ha podido mantenerse constante y adecuada gracias a un fenómeno natural conocido como efecto invernadero. Este fenómeno ocurre cuando el calor de los rayos del sol llega a la superficie de la tierra. Este calor hace que la tierra emita radiación térmica, parte de la cual queda atrapada en los gases conocidos como gases de efecto invernadero (GEI), entre los que destacan el dióxido de carbono (CO_2), el monóxido de carbono (CO), el metano (CH_4) y los clorofluorocarbonos. (CFC) y óxido nitroso (N_2O). Como el sistema climático está en equilibrio, la cantidad de radiación solar que la Tierra absorbe y la cantidad que emite al espacio están en equilibrio. Sin embargo, a medida que aumenta la concentración de gases de efecto invernadero en la atmósfera, este equilibrio se altera, provocando un aumento artificial de la temperatura media (UNFCCC. 1998).

2.6. Gases de efecto invernadero

La superficie de la tierra se calienta por la radiación solar porque los gases que están presentes de forma natural cubren el planeta. Este es un fenómeno natural que mantiene la temperatura promedio de la tierra por encima del punto de congelación y hace posible la vida

en la tierra. Pero algunas moléculas de la atmósfera, denominadas gases de efecto invernadero (GEI), impiden que este calor escape al espacio, aumentando la cantidad de radiación de calor en la atmósfera inferior y calentando el planeta. Desde finales del siglo XX, la actividad humana ha impulsado la generación de gases de efecto invernadero (GEI), concretamente CO₂, CH₄ y N₂O, lo que acelera y exacerba el problema del calentamiento global (Erickson, 1992).

2.7. Ciclo biológico de carbono

La fijación del dióxido de carbono atmosférico por las plantas y ciertos microbios durante el proceso de fotosíntesis es el primer paso del ciclo del carbono. En el proceso, el agua y el dióxido de carbono se combinan para generar carbohidratos y al mismo tiempo liberar oxígeno a la atmósfera. La planta ingiere inmediatamente una parte de los carbohidratos para proporcionar energía, y el CO₂ que se produce como resultado se exhala a través de las raíces y las hojas. Los animales, que también respiran y exhalan dióxido de carbono, comen otra porción. Cuando las plantas y los animales mueren, el carbono de sus tejidos se convierte en CO₂ y los microbios del suelo lo liberan a la atmósfera durante su descomposición. La atmósfera sirve como principal almacenamiento de carbono. Está ligado al CO₂ formador de oxígeno (un subproducto de los procesos de respiración y/o combustión), el cual se integra al interior de las hojas a través de los estomas mediante un proceso fotoquímico, referido descrito como fotosíntesis (Farrel, et al., 1999).

2.8. Carbono en las plantas

Un ejemplo de ello son los movimientos y acumulaciones de carbono en el ecosistema de un bosque, donde el humus, la basura, los productos, las ramas y las hojas se reincorporan al ciclo mediante la quema o descomposición de la biomasa del bosque. Una parte del carbono fijado se convierte en biomasa, mientras que el resto se exhala a la atmósfera. Las maderas del mundo absorben 110 Gt C al año, pero también liberan 55 Gt C por respiración y entre 54 y 55 Gt C por descomposición (Hernández, 2001).

2.9. Arreglos agroforestales como sumideros de carbono

En un sistema agroforestal típico, el carbono se almacena continuamente para mitigar el clima y al mismo tiempo fomenta una conexión sinérgica entre cultivos y árboles para sostener la productividad. El almacenamiento directo de carbono en el suelo y los árboles a corto y mediano plazo (décadas o incluso siglos) y la disminución indirecta de las emisiones de gases de efecto invernadero resultantes de la deforestación y la agricultura migratoria son las dos principales ventajas de los sistemas agroforestales para la conservación del carbono. Los sistemas agroforestales almacenan carbono en el suelo, troncos y raíces. Al final del período

de rotación, cuando se talan los árboles y la tierra se vuelve a cultivar (sistemas secuenciales), parte del carbono almacenado se libera a la atmósfera. Cuando muchos sistemas se establecen por primera vez, probablemente sean fuentes de gases de efecto invernadero. A esto le sigue una rápida fase de acumulación y un período de maduración. En consecuencia, un equilibrio positivo con respecto al almacenamiento inicial de carbono después de varias décadas es un requisito previo para considerar un secuestro efectivo de carbono. Calcularon que se podrían almacenar entre 36 y 71 toneladas de carbono durante más de 50 años mediante la reforestación, la agrosilvicultura y la preservación de árboles que cubren entre 300 000 y 600 000 hectáreas en los trópicos (Dávila, 2021).

Hernández, (2001) predice un rango similar, con 500 a 800 ha de sistemas agroforestales manejados o bosques que posiblemente almacenen entre 0,5 y 1,5 Pg C ha⁻¹ a nivel mundial. Los rasgos de la especie, la tasa de crecimiento, la longevidad, las circunstancias del sitio, el clima y la rotación afectan la cantidad de carbono que fijan los árboles (Zapata, et. al., 2003)

2.10. Cuantificación de biomasa y carbono

Orrego et al. (2003) mencionan que toda la masa seca de una comunidad vegetal es su biomasa. No se incluyen las hojas caídas ni los materiales orgánicos en descomposición, pero sí las hojas, ramas, troncos y raíces. En general, se establece una distinción conceptual y metodológica entre la biomasa que se encuentra en la superficie y la biomasa que se encuentra bajo tierra. Dado que la proporción entre la biomasa seca total y el carbono es aproximadamente uno, los estudios sobre el cálculo de la biomasa en los ecosistemas forestales son cruciales para estimar la cantidad de carbono almacenado.

2.11. Servicios ecosistémicos

Es cualquier estado del medio ambiente mantenido por un factor ambiental funcionando correctamente y en estado de conservación bajo un estándar de calidad específico y adecuado. De manera similar, un servicio ambiental (o ecosistémico) se define en la Ley N° 30215, “Ley de Mecanismos de Retribución por Servicios Ecosistémicos”, como el conjunto de ventajas ambientales directas e indirectas que los individuos obtienen del funcionamiento saludable del ecosistema. El secuestro o captura de carbono es una de las categorías de servicios incluidas en el citado estatuto (Gómez, 2021).

2.11.1. La captura de carbono en los bosques

El proceso de fijación continua de carbono, natural o artificial, en diversos usos de la tierra, o en sumideros de carbono, se conoce como captura o fijación de carbono en los bosques.

La fijación natural, tal como la define la FAO (2020) incluye, entre otras cosas, la conservación, la reforestación, la agricultura sostenible y la producción primaria, o creación de biomasa mediante fotosíntesis. El ANP de Perú sirve como ejemplo de fijación natural, evitando la liberación al ambiente de 36 387, 723 toneladas/ CO_2 /año.

En cuanto a la fijación artificial, un ejemplo es la instalación de una planta industrial que inyecta dióxido de carbono semilíquido en estratos porosos a cientos de metros bajo la superficie del suelo. Este estudio se centró en la naturaleza de la fijación natural. La FAO estima que la cantidad de carbono secuestrado en la superficie de las regiones tropicales equivale a entre 60 y 230 toneladas de carbono por hectárea en los bosques primarios y entre 25 y 190 toneladas de carbono por hectárea en los bosques secundarios. (FAO, 1993). Forest Resources Assessment (FAO, 2000). Sistemas de uso de la tierra en los trópicos húmedos y la emisión y secuestro de CO_2 .

2.12. Valoración económica de servicios ecosistémicos

Dado que puede resultar complicado asignar un verdadero valor de mercado a productos y servicios que nunca lo han sido, la valoración económica es un tema poco conocido y opaco. El impulso de la Organización de las Naciones Unidas para fomentar la adaptación al cambio climático dio lugar al concepto de compensar el daño social y ambiental utilizando instrumentos adecuados de gestión ambiental. Libert y Paz-Pellat (2018) señalan que existen dos categorías de valoración económica: valor de uso y valor de no uso. Mientras que el valor de no uso se divide en valores de existencia y valores heredados, el valor de uso se divide a su vez en valores de uso directo, indirecto y de opción. La categoría de valor de uso indirecto incluye la captura de carbono. La década de 1990 vio importantes avances conceptuales y metodológicos en el desarrollo de este instrumento, particularmente en Perú, pero no en su uso en políticas públicas.

El "Programa de Subsidios de Investigación sobre Valoración Económica de la Diversidad Biológica y Servicios Ambientales" se puso en marcha como parte del proyecto del año 2000 "Conservación y Gestión de la Diversidad Biológica y Ecosistemas Frágiles - BIOFOR". El objetivo principal de este programa fue formar profesionales del sector público y privado que se dediquen a tareas relacionadas con la gestión ambiental, ofreciendo cursos sobre

valoración económica relevantes para el Perú. Los objetivos secundarios del programa fueron: (I) avanzar en la investigación sobre la valoración económica de la diversidad biológica y los servicios ambientales; y (II) beneficiar a la nación mediante el uso de los conocimientos adquiridos. Actualmente, las organizaciones de consultoría ambiental tienen en cuenta la valoración económica al realizar evaluaciones de impacto ambiental. En el caso de que no se puedan minimizar los efectos ambientales desfavorables, los gastos incurridos se agregan al costo final del proyecto como cargos de contingencia. (Munk, 2004).

2.13. Estado del arte

Dávila (2023) investigó el "Almacenamiento de carbono en el suelo por unidades fisiográficas del fundo CIPTALD – Tulumayo" y encontró que la terraza baja no inundada presentaba una mayor cantidad de carbono almacenado en la hojarasca (3,48 tC/ha) debido a la mayor deposición de restos de plantas aéreas, atribuible a la presencia de árboles y arbustos. Por otro lado, la terraza media, cubierta principalmente por pasto Camerún, exhibió el mayor contenido de carbono en sus raíces (30,65 tC/ha), reflejando la contribución de las raíces al contenido de carbono del suelo subterráneo. La terraza media también mostró la mayor concentración de carbono orgánico en el suelo, alcanzando los 32,01 tC/ha. La rápida descomposición de la materia orgánica del suelo, impulsada por el calor, la humedad y la actividad microbiana, fue una característica común en las regiones selváticas. La terraza alta y la terraza media presentaron almacenamientos totales de carbono de 36,24 tC/ha y 63,97 tC/ha, respectivamente.

En su estudio sobre la "Cuantificación del potencial de carbono en la biomasa aérea de *Musa paradisiaca* (Plátano) en el distrito de Aguaytía, departamento de Ucayali", Ríos (2018) evaluó 2000 plantas de banano y encontró que la biomasa promedio por componente en las hojas fue de 1,10 kg (25 %) y en el tallo fue de 3,34 kg (75 %). La biomasa total alcanzó los 86,37 t/ha por hectárea y 57,58 kg por planta. En cuanto a la retención de carbono, las hojas contenían el 45 %, mientras que los tallos alcanzaban el 55 %. La biomasa total por planta fue de 35,25 kg, con un contenido total de carbono por hectárea de 89,50 kg y un carbono total por planta de 33,84 kg. Concluyó que cada planta capturó 155,17 kg de CO₂, lo que equivale a varias toneladas por hectárea.

Mariño (2015), en su investigación "Evaluación del carbono almacenado en el cultivo de *Oryza sativa* (Arroz) bajo dos sistemas de siembra, en Tingo María", encontró que el sistema de plantación de secano retiene más carbono total que el sistema de plantación de regadío, con 57,39 tC/ha y 41,19 tC/ha, respectivamente. Aunque el sistema de siembra con

riego produce mejores indicadores agronómicos del cultivo, como la altura y el diámetro del tallo, los rendimientos son un 50 % mayor en el sistema de siembra de regadío. En términos de almacenamiento de carbono, la estrategia de siembra en secano ofrece más beneficios ambientales y una mayor disminución de las emisiones de metano en comparación con el sistema de siembra en regadío.

En su estudio "Estimación del carbono almacenado en un sistema agroforestal de *Theobroma cacao* (Cacao) comparado con un bosque secundario de tres edades", Bringas (2010) comparó el contenido de carbono almacenado en diferentes componentes del sistema agroforestal de cacao + laurel y en el bosque secundario. Utilizando la metodología de Arévalo et al. (2002), encontró que la contribución de fuentes de biomasa no arbóreas al carbono era insignificante en comparación con la biomasa arbórea. La prueba T mostró que el SAF y el bosque secundario no diferían estadísticamente en términos de biomasa total, pero había variaciones en el contenido de carbono del suelo entre los diferentes sistemas a diferentes edades. En términos de valor económico, el bosque secundario tenía el margen de ganancia más bajo, mientras que el SAF de cacao + laurel tenía el margen de ganancia más alto (S/. 1077.69).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Lugar de ejecución

La investigación se realizó en tres parcelas del sector de Huanganapampa, perteneciente al distrito de Castillo Grande, provincia de Leoncio Prado y región de Huánuco, en las cuales se identificaron sistemas agroforestales con plátano con coordenadas UTM 0410645 m. E, 8983244 m. N con 647 m.s.n.m.

3.1.1 Ubicación ecológica Las parcelas se encuentran ubicadas a 630 m.s.n.m, con temperatura promedio 25 °C y humedad relativa promedio 87 %. Perteneciente a la zona de vida Bosque muy húmedo tropical (bmh-T). Presenta suelos aluviales, con un nivel freático medio a alto, con textura franco arenosa con pH moderadamente a ligeramente ácido.

3.2. Materiales y equipos

3.2.1. Materiales

Se empleó una cinta métrica, formulario para la colecta de datos, marcadores, bolsas plásticas, sobre manilas A4, cilindros de metal para densidad aparente, tijera de podar, machete, palana, rafia, estacas de madera, letreros, cuadrado 1m², cuadrado de 0,25m², tamiz malla de 0,25 mm y balde para realizar los muestreos y levantamiento de datos de campo

3.2.2. Equipos

También se utilizaron equipos digitales como; GPS, balanza gramera de 2 dígitos, estufa de secado y laptop; equipos que se emplearon desde la ubicación del campo de estudio, muestreo, levantamiento y procesamiento de datos.

3.3. Metodología

3.3.1. Determinar el carbono almacenado en el cultivo de plátano en tres unidades fisiográficas sector Huanganapampa-Tingo María

- **Selección de las parcelas experimentales**

El presente trabajo se realizó en tres parcelas experimentales agroecológicas con plátano que tiene un área total de 1.0 ha cada parcela, ubicándose en una terraza alta con un distanciamiento de siembra de 3 x 4 metros, teniendo una edad de 2 años y una producción constante. Dentro, el área en estudio se encuentra asociado con árboles

maderables. La segunda parcela se encuentra en una terraza baja y la tercera parcela en una terraza media.

- **Demarcación del área a muestrear**

Con la ayuda de Wincha, jalones y estacas se delimitó el área a muestrear. Para hacerle cuadrar se utilizó el método de alineado 3,4, 5. Teniendo un rectángulo de 20 x 50 metros coberturando un área de 1 000 m², en el cual se tendrá 8 subparcelas de 5 x 20 metros delimitados por rafia debidamente identificadas, de los cuales se extrajeron las muestras de biomasa área, hojarasca, raíces y las muestras de suelo.

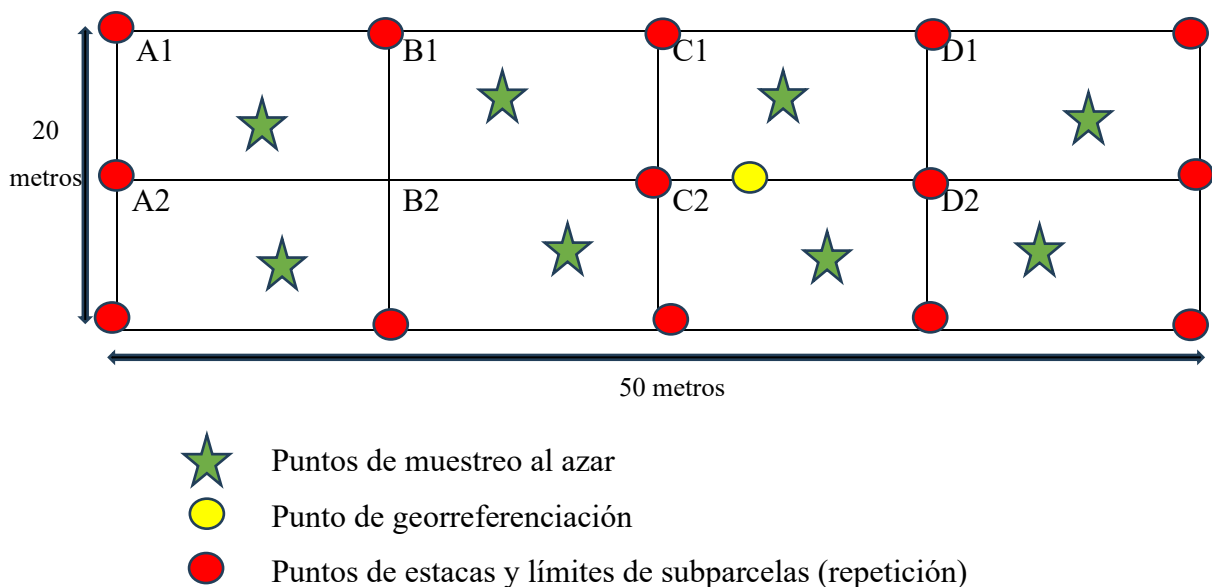


Figura 2. Demarcación del área experimental

3.3.2. Estimar el mayor contenido de carbono en la biomasa del cultivo de plátano, especies forestales, arbustos, hojarasca, raíces y del suelo de las tres unidades fisiográficas en el sector Huanganapampa- Tingo María

- **Carbono de las herbáceas**

Para determinar la biomasa de las herbáceas, se realizó con la ayuda de un cuadrante de 1.0 x 1.0 m, el cual se lanzara al azar en el área de 1 metro cuadrado, y toda la materia viva (malezas), se recolectó procediendo a pesar las muestras, posterior a esta actividad se sacaron sub muestras cuyo peso fluctuó entre 80 / 150 g, para luego ser llevadas a secado en estufa a 70 grados por un periodo de 72 horas teniendo peso constante, este resultado fue utilizado para realizar los cálculos de estimaciones de biomasa.

- **Carbono de la biomasa hojarasca**

Para determinar la biomasa de hojarasca, se realizó con la ayuda de un cuadrante de 0,5 x 0,5 m, el cual se lanzara al azar en el área de 1 metro cuadrado, y toda la materia seca se recolectó procediendo a pesar las muestras, posterior a esta actividad se sacaron sub muestras cuyo peso están entre 80 / 150 g, para luego ser llevadas a secado en estufa a 70 grados por un periodo de 72 horas teniendo peso constante, este resultado fue utilizado para realizar los cálculos de estimaciones de biomasa.

- **Carbono de la biomasa radicular**

Se construyó una mini calicata o monolito de 40 cm x 40 cm y con una profundidad de 50 cm, evaluándose a 3 profundidades de 0-10 cm, 10-20 cm y 20-30 cm, utilizando la palana y machete se realizó un corte de las diferentes capas de tierra de 10 cm x 10 cm y colocando en una bolsa para determinar mediante el tamizado y lavado de las raíces menores a 2 mm, se realizó el peso en materia fresca y posteriormente se efectuó el secado a estufa a 70 °C por espacio de 72 horas tiempo en el adquiero peso constante, para determinar el peso de materia seca.

- **Densidad aparente**

Para determinar la densidad aparente se utilizó el método del cilindro, utilizando cilindros de aproximadamente 100 a más ml de volumen o cc. aplicando la fórmula de masa o peso del suelo seco a la estufa sobre el volumen del cilindro, procediendo a extraer las muestras de suelo a profundidades de 0-10 cm; 10-20 cm y 20-30 cm. Esta muestra de suelo fue llevada a estufa a 105 °C que a cabo de 24 horas se determinó el peso constante.

- **Determinación de Carbono orgánico del suelo**

Utilizando palana y machete se hizo cortes uniformes de pan de tierra de 10 x 10 cm, a profundidad de 0-10 cm, 10-20 cm, 20-30 cm, previo secado y con el método Walkley y Black en laboratorio se determinó % de materia orgánica y pH por el método suspensión de suelo utilizando el potenciómetro.

- **Muestreo de suelos, medición de la densidad aparente y peso del suelo**

En cada uno de los cuadrantes delimitados se abrió un mini pozo de 0,50 x 0,50 x 0,50 metros con el fin de muestrear biomasa de hierbas y arbustos. Se recolectaron muestras de suelo en tres estratos, con profundidades comprendidas entre 0 y 30 cm. Se insertaron cilindros de Uhland con un volumen conocido en cada estrato y se expusieron a una temperatura de 105 °C durante un día completo para determinar la densidad aparente del suelo (Rubio, 2010). De manera similar, se recolectaron 500 g en promedio de muestras de suelo, se

etiquetaron adecuadamente y se enviaron al laboratorio para la detección de carbono (modificada) con la técnica de Walkley y Black.

3.3.2.1. Cálculos y aplicación de fórmulas para biomasa

a. Cálculos de la biomasa vegetal

Las fórmulas utilizadas por ICRAF y Arévalo et al. (2002) se utilizaron para calcular el carbono del suelo y del aire. Se muestra la siguiente fórmula:

$$BA = 0.1184 \times DAP^{2.53}$$

Dónde:

BA	:	Biomasa del árbol individual (Kg)
0,1184	:	Constante
2,53	:	Constante
DAP	:	Diámetro a la altura del pecho
1,30 m	:	Especies forestales
0,30 m	:	Plantas de plátano

b. Biomasa arbórea viva (t ha⁻¹)

Se sumó el número de árboles medidos y registrados en cada parcela y el factor de conversión resultante se multiplicó por éste para determinar la biomasa por hectárea, como se indica a continuación.

$$BAVT (t ha^{-1}) = BTAV \times 0.1 \text{ ó}$$

$$BAVT (t ha^{-1}) = BTAV \times 0.02$$

Dónde:

BAVT	:	Biomasa de árboles vivos en t ha-1
BTVA	:	Biomasa total de la parcela
0,1	:	Factor de conversión de la parcela 4 x 25 m
0,2	:	Factor de conversión de la parcela 5 x 100 m

c. Biomasa arbustiva y herbácea (t ha⁻¹)

$$\mathbf{BAb - hb (t ha^{-1}) = ((PSM/PFM) \times PFT) \times 0.01}$$

Dónde:

BAb - hb	:	Biomasa Arbustiva – Herbácea (t ha-1)
PSM	:	Peso Seco de la Muestra (g)
PFM	:	Peso Fresco de la Muestra (g)
PFT	:	Peso Fresco Total (g)

El peso seco de esta biomasa se llevó a t/ha y se multiplico por el factor 0.45, obteniéndose la cantidad de carbono existente.

d. Biomasa de la hojarasca (t/ha)

$$\mathbf{Bh (t ha^{-1}) = ((PSM/PFM) \times PFT) \times 0,04}$$

Dónde:

Bh (t ha-1)	:	Biomasa Arbustiva – Herbácea (t ha-1)
PSM	:	Peso Seco de la Muestra (g)
PFM	:	Peso Fresco de la Muestra (g)
PFT	:	Peso Fresco Total (g)

e. Cálculo de la Biomasa Vegetal Total (t ha⁻¹)

$$\mathbf{BVT (t ha^{-1}) = BAVT + BAb- hb + Bh}$$

f. Cálculo del Carbono en la biomasa vegetal total (t ha⁻¹)

Se multiplicó la biomasa vegetal total por el factor 0,45, que corresponde al carbono existente.

$$\mathbf{CBV (t ha^{-1}) = BVT \times 0,45}$$

Dónde:

CBV	:	Carbono en la biomasa vegetal
BVT	:	Biomasa vegetal total
0.45	:	Constante (Brown, 1997)

3.3.2.2. Cálculos del peso del volumen del suelo (t ha-1)

Después de determinar la densidad aparente del suelo para cada horizonte, se calculó el peso del volumen del suelo por hectárea.

a. Densidad aparente del suelo (g cc^{-1})

$$\text{DA (g cc}^{-1}\text{)} = \text{PSN/VCH}$$

Dónde:

DA	:	Densidad aparente (g cc^{-1})
PSN	:	Peso seco del suelo dentro del cilindro
VCH	:	Volumen cilindro (constante)

b. Peso del volumen de suelo por estrato de muestreo

$$\text{PVs (t ha}^{-1}\text{)} = \text{DA x Ps x 10000}$$

Dónde:

PVs	:	Peso del volumen de suelo (t ha^{-1})
DA	:	Densidad aparente
Ps	:	Espesor o profundidad del horizonte del suelo (m)
10000	:	Constante

3.3.2.3. Cálculos del carbono total (biomasa vegetal más suelo)

a. Cálculo del carbono en la biomasa vegetal total (t ha^{-1})

$$\text{CBV (t ha}^{-1}\text{)} = \text{BVT x 0,45}$$

Dónde:

CBV	:	Carbono en la biomasa vegetal
BVT	:	Biomasa vegetal total
0.45	:	Constante (proporción de carbono, asumido por convención).

b. Cálculo del carbono en el suelo (t ha^{-1})

$$\text{CS (t ha}^{-1}\text{)} = (\text{PVs x \% C})/100$$

Dónde:

CS	:	Carbono en el suelo (t ha^{-1})
Pvs	:	Peso del volumen de suelo
% C	:	Porcentaje de carbono analizado en laboratorio
100	:	Factor de conversión

c. Cálculo del carbono total del SAF (t ha⁻¹)

$$CT \text{ (t ha}^{-1}\text{)} = CBV + CS$$

Dónde:

CT	:	Carbono total del SAF
CBV	:	Carbono en la biomasa vegetal total
CS	:	Carbono en el suelo.

3.3.3. Evaluar los servicios ambientales o servicios ecosistémicos que brinda los ecosistemas del cultivo de plátano, mitigando el cambio climático.

Se midieron la temperatura, humedad relativa, luminosidad o radiación, materia orgánica de 0 a 10 cm de profundidad con el contenido de humus, número de lombrices y color del suelo, tanto dentro como fuera de los transectos para identificar los parámetros ambientales.

Para la determinación de los servicios ambientales se emplearon equipos digitales, se determinó la temperatura y la humedad utilizando un hidrómetro In/qut thermo chock y la intensidad de la luminosidad se determinó con el Lux Meter digital LX 1010B



Figura 3. Equipos digitales, hidrómetro y luxómetro.

Para el servicio ambiental en la formación de compost y Humus se determinó con la tabla Munshell soil color book, mostrando las coloraciones y características del suelo en estudio en base al HUE, VALUE Y CRHOMA.

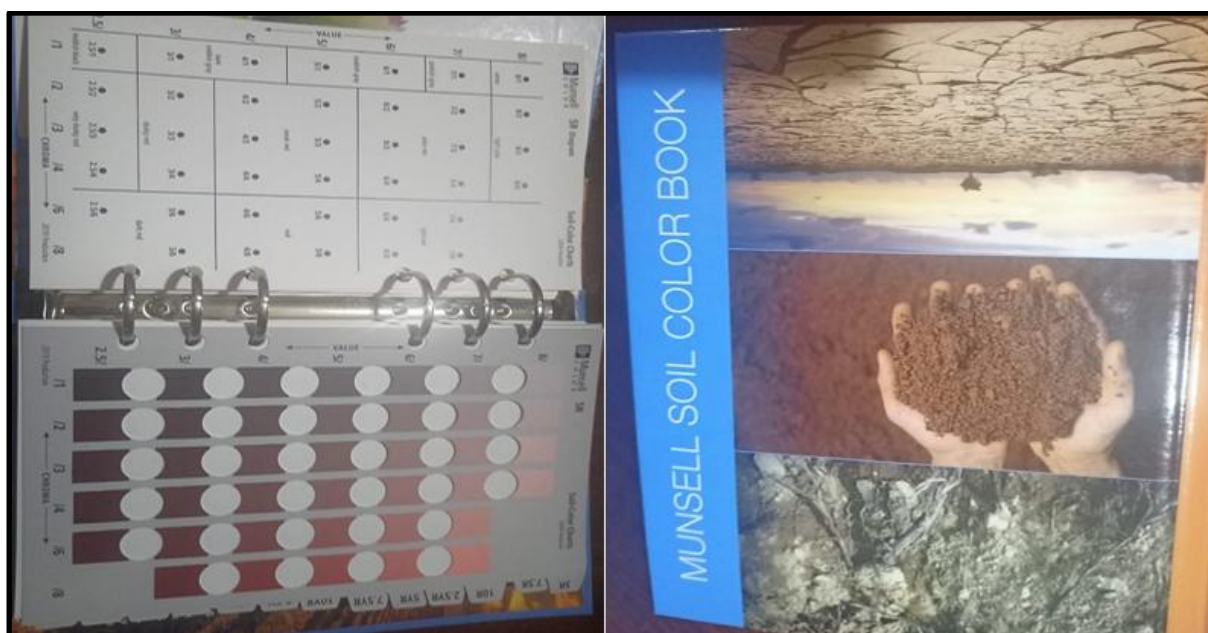


Figura 4. Tabla Munshell soil color book

3.4. Análisis estadístico

3.4.1. Variables dependientes

El carbono almacenado en plantaciones agroforestales con plátano (*Mussa sp L*): carbono en el cultivo de plátano, carbono en las especies forestales, carbono en plantas herbáceas, carbono en las hojarascas, carbono orgánico del suelo, carbono total almacenado, Servicios ecosistémicos y variaciones climáticas.

3.4.2. Variables independientes

Corresponde a los ecosistemas agroforestales, con cultivo de plátano.

3.4.3. Análisis estadístico

Los datos se analizaron utilizando estadística descriptiva para evaluar el comportamiento de los tres ecosistemas agroforestales de plátano. Para las diferencias estadísticas entre los ecosistemas con respecto a las variables dependientes se utilizó la prueba t para la inferencia basada en dos muestras. Al nivel de significancia del 5 %, se empleó la prueba de medias de Tukey. Los resultados se mostraron en tablas y gráficos descriptivos.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Carbono almacenado en la biomasa vegetal en tres unidades fisiográficas de Huanganapampa.

En la Tabla 1 se presentan los resultados del análisis de varianza ($\alpha=0,05$) de la cantidad de carbono en la biomasa vegetal en tres unidades fisiográficas de Huanganapampa. No se encontraron diferencias significativas en la variable de carbono en las especies forestales entre parcelas; sin embargo, se observaron diferencias altamente significativas en las variables de carbono en los plátanos, carbono en las herbáceas y arbustos, carbono en la hojarasca y carbono en las raíces entre sí. Esto indica que al menos una de las parcelas registra niveles de C estadísticamente distintos a los de las demás, posiblemente debido al tipo de suelo de cada unidad fisiográfica.

Tabla 1. Análisis de varianza (ANOVA) del contenido de carbono almacenado (t/ha) en la biomasa vegetal en las tres parcelas de plátano como sistema agroforestal.

Fuente de variación	SC	Gl	CM	F	p-valor	Sig
Carbono en las especies forestales (t/ha)	102,80	2	51,4	3,39	0,0799	NS
Carbono en plátanos (t/ha)	0,21	2	0,1	12,32	0,0027	**
Carbono en las herbáceas y arbustos (t/ha)	0,24	2	0,12	15,03	0,0014	**
Carbono en la hojarasca (t/ha)	5,71	2	2,86	35,93	0,0001	**
Carbono en las raíces (t/ha)	1,53	2	0,76	11,4	0,0034	**

NS: No significativo al 5 %

** : Existe diferencia estadística altamente significativa

En la Tabla 2, se muestran los principales valores estadísticos del carbono en la biomasa vegetal (carbono en las especies forestales, carbono en los plátanos, carbono en las herbáceas y arbustos, carbono en la hojarasca y carbono en las raíces) en las tres unidades fisiográficas. Respecto al carbono en las especies forestales, se observa que el máximo nivel se encuentra en la Terraza alta con una media de 12,73 tC/ha, y el contenido más bajo en la Terraza media, con una media de 5,56 tC/ha. En cuanto al carbono en los plátanos, el máximo nivel se ha encontrado en la Terraza alta, con una media de 2,57 tC/ha, mientras que el menor valor se registró en la Terraza baja, con una media de 2,28 tC/ha. Para el contenido de carbono en las herbáceas y arbustos, el mayor valor se ha registrado en la Terraza media, con una media de 0,81 tC/ha; mientras que en la Terraza alta se reporta una media de 0,46 tC/ha. En cuanto al

carbono en la hojarasca, se encontró un máximo de almacenamiento en la Terraza alta, con una media de 3,08 tC/ha; por el contrario, la menor media se registró en Terraza media, con un valor de 1,50 tC/ha. Por último, el máximo nivel promedio de carbono en las raíces se calculó en Terraza alta, con una media de 1,25 tC/ha; mientras que el menor promedio fue de 0,41 tC/ha calculado en Terraza media.

Tabla 2. Prueba de Duncan ($\alpha=0,05$) del contenido de carbono en la biomasa vegetal en tres parcelas de plátano como sistema agroforestal.

Variables		N	Mínimo	Máximo	Media	Sig	Error	CV (%)
Carbono en las especies forestales (t/ha)	Ta	4	7,04	17,69	12,73	a	4,37	34,33
	Tb	4	5,99	12,95	9,28	a b	2,85	30,72
	Tm	4	1,36	11,00	5,56	b	4,27	76,92
Carbono en los plátanos (t/ha)	Ta	4	2,40	2,71	2,57	a	0,13	4,99
	Tm	4	2,52	2,57	2,54	a	0,02	0,85
	Tb	4	2,16	2,38	2,28	b	0,09	4,00
Carbono en las herbáceas y arbustos (t/ha)	Tm	4	0,66	0,91	0,81	a	0,11	13,24
	Tb	4	0,56	0,76	0,64	b	0,09	14,21
	Ta	4	0,36	0,51	0,46	c	0,07	14,65
Carbono en la hojarasca (t/ha)	Ta	4	2,57	3,48	3,08	a	0,38	12,31
	Tb	4	1,64	1,88	1,77	b	0,1	5,59
	Tm	4	1,11	1,78	1,50	b	0,29	19,36
Carbono en las raíces (t/ha)	Ta	4	0,96	1,71	1,25	a	0,32	25,9
	Tb	4	0,26	0,87	0,64	b	0,27	41,67
	Tm	4	0,19	0,55	0,41	b	0,16	38,49

Ta: Terraza alta

Tb: Terraza baja

Tm: Terraza media

El mayor aporte de carbono retenido se encuentra en la biomasa de especies forestales debido a que, conforme incrementan su edad, se vuelven más vigorosos e incrementa también su biomasa, dependiendo de la edad de las especies forestales. Es decir, los sistemas con mayor crecimiento e incremento de la biomasa presentan los valores más altos de acumulación de carbono debido a la relación existente entre estas dos variables (de 0,45 a 0,50 %, de acuerdo con IPCC (2004)). Según Taiz y Zeiger (1998), el almacenamiento de carbono se efectúa mediante el secuestro del carbono de la atmósfera a través de la fotosíntesis y la

respiración, llevándolo a almacenarse en la biomasa. Concordando con lo mencionado, en la presente investigación los sistemas agroforestales evaluados tienen una edad similar, de aproximadamente 2 años, mientras que Zavala et al. (2018) obtuvieron valores de 609,28 tC/ha en SAF mayores a 16 años y 170,29 tC/ha en SAF menores de 8 años. Sin embargo, estos valores también estarán relacionados con las condiciones y el mantenimiento que el agricultor brinda a la plantación; por ejemplo, Gonzales (2018) evaluó estas variables en un SAF de café de 4 años y uno de 8 años, obteniendo como resultado que la biomasa fue de 29,55 y 24,79 t/ha, respectivamente. El motivo fue que esta última plantación resultó atacada por la roya amarilla cuatro años antes de la evaluación, lo que generó una gran mortandad y, por ende, pérdida de biomasa vegetal.

Asimismo, los aportes de carbono en fuentes de biomasa no arbórea (cultivo de plátano, herbáceas, hojarasca y raíz) son en pequeñas cantidades (Tabla 2 y Figura 5), lo que se asemeja a lo reportado por Bringas (2010), quien encontró que los restos superficiales representan menos del 6 %.

Respecto al carbono en la hojarasca, se observa que los niveles encontrados son mayores que en las herbáceas-arbustos; esto se debe a que en los sistemas agroforestales estudiados no existen especies herbáceas en grandes cantidades debido al mantenimiento brindado por los agricultores, quienes limitan el crecimiento de arbustos y herbáceas, dejando en su lugar una cantidad de hojarasca. En tanto, la incorporación de cobertura permanente puede incrementar significativamente las reservas de carbono en el bosque secundario, tal como lo mencionan Alegre et al. (2002). Los datos obtenidos oscilan entre 1,50 y 3,08 tC/ha, siendo similares a lo reportado por Dávila (2023); sin embargo, aunque en la presente investigación el mayor resultado corresponde a Terraza alta (3,08 tC/ha), en el caso del mencionado autor corresponde a Terraza baja (3,48 tC/ha), concluyendo que los terrenos usados como plantaciones de capirona y bolaina, purma y maíz tienen mayor capacidad de almacenamiento. Por su parte, Gonzales (2018) obtuvo un valor de 25,72 t/ha en un SAF de 4 años, posiblemente porque la plantación estuvo en constante crecimiento y desarrollo, lo que generó un mayor brotamiento de hojas y labores de poda, además de que los cultivos utilizados son café y guaba. Las labores silviculturales afectan directamente la cantidad de biomasa y carbono debido a la formación del mantillo, por lo que en ocasiones puede haber un bajo nivel de incorporación al suelo según la intensidad del manejo. De acuerdo a los resultados de la presente investigación y las mencionadas, se coincide con Marín et al. (2016) en que, en condiciones de sombra, el 90 % del carbono puede ser retenido en la biomasa.

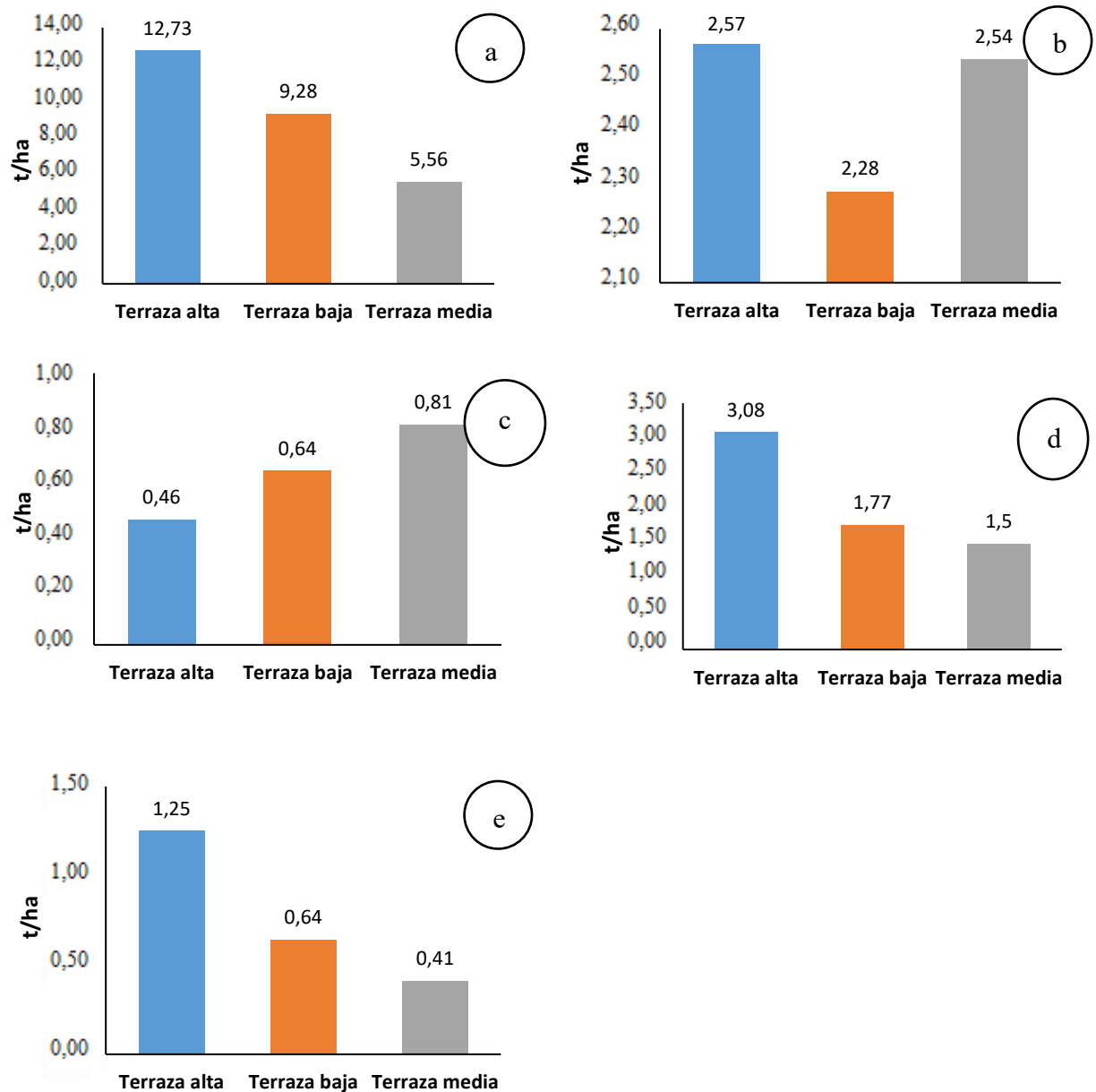


Figura 5. a) Contenido de carbono (t/ha) en las especies forestales, b) Contenido de carbono en los plátanos, c) contenido de carbono en las herbáceas y arbustos, d) contenido de carbono en la hojarasca, y e) contenido de carbono en las raíces en tres sistemas

El contenido de carbono en las herbáceas y arbustos varía entre 0,46 y 0,81, siendo el valor más bajo registrado en la Terraza alta. Estos datos muestran una ligera discrepancia con los hallazgos de Gonzales (2018), quien reportó 1,00 t/ha en un SAF de 4 años. Además,

Zavaleta et al. (2018) obtuvieron 0,95 t/ha en un SAF de 12 años, atribuyendo esta discrepancia a la escasa cobertura vegetal encontrada en la plantación.

Se ha observado una clara correlación entre el contenido de carbono en las especies forestales y la hojarasca, ya que los restos naturales de plantas muertas aportan constantemente una mayor cantidad de carbono a la hojarasca. A pesar de esto, la hojarasca suele contener relativamente poco carbono en comparación con la biomasa total, lo que hace que su contribución sea opcional (Chidiak et al., 2006).

Es crucial señalar que algunos resultados de investigación se basan en métodos de muestreo alternativos y estimaciones utilizando ecuaciones recomendadas para especies forestales, las cuales no consideran las raíces de las plantas evaluadas.

4.2. Carbono almacenado en el suelo de las unidades fisiográficas de Huanganapampa

La Tabla 3 presenta el peso del volumen de suelo (t/ha) de tres unidades fisiográficas en Huanganapampa, así como la densidad aparente del suelo (g/cc) y el análisis de varianza ($\alpha=0.05$) del carbono almacenado en el suelo (t/ha) para cada unidad fisiográfica. La falta de significancia estadística en cualquiera de las variables sugiere que el uso del suelo no tiene un impacto discernible en la cantidad de carbono presente en ninguna categoría fisiográfica.

Tabla 3. Análisis de varianza (ANOVA) del contenido de carbono orgánico en el suelo de tres unidades fisiográficas (tC/ha).

Fuente de variación	SC	GL	CM	F	p-valor	Sig
Carbono en el suelo (t/ha)	876,93	2	438,47	3,72	0,0664	NS
Densidad aparente del suelo (g/cc)	0,01	2	0,01	2,8	0,1133	NS
Peso del volumen del suelo (t/ha)	12724,48	2	6362,24	3,09	0,095	NS

NS: No significativo al 5 %

La prueba de Duncan para comparar medias indica que no se encontraron subgrupos significativos dentro de las variables evaluadas en cada unidad fisiográfica, lo que confirma que son estadísticamente similares. En relación con el contenido de carbono en el suelo (t/ha), se observa que la Terraza baja registró la mayor media, con un valor de 83,79 tC/ha, mientras que la Terraza media mostró la más baja, con 64,04 tC/ha. Respecto a la

densidad aparente del suelo (g/cc), se encontró que la mayor media se presentó en la Terraza media, con 1,06 tC/ha, mientras que la Terraza alta tuvo la menor, con 0,99 tC/ha. En cuanto al peso del volumen del suelo (t/ha), se observa que la media más alta se encontró en la Terraza media, con 1057,39 tC/ha, mientras que en la Terraza alta la media fue de 984,92 tC/ha.

Tabla 4. Prueba de Duncan ($\alpha=0,05$) para las variables en el suelo de tres unidades fisiográficas del cultivo de plátano.

Variables		N	Mínimo	Máximo	Media	Sig	Error	CV (%)
Carbono en el suelo (t/ha)	Tb	4	76,18	93,00	83,79	a	5,43	9,94
	Ta	4	63,62	92,13	79,95	a	5,43	15,21
	Tm	4	50,74	78,11	64,04	a	5,43	18,23
Densidad aparente del suelo (g/cc)	Tm	4	1,04	1,08	1,06	a	0,02	1,64
	Tb	4	1,01	1,09	1,05	a	0,02	3,21
	Ta	4	0,89	1,04	0,99	a	0,02	7,25
Peso del volumen del suelo (t/ha)	Tm	4	1042,21	1079,57	1057,39	a	22,68	1,49
	Tb	4	1011,19	1086,66	1050,01	a	22,68	3,02
	Ta	4	892,29	1040,02	984,92	a	22,68	7,12

Ta: Terraza alta

Tb: Terraza baja

Tm: Terraza media

Los hallazgos sobre el contenido de carbono en el suelo superan las cifras reportadas por Dávila (2023), quien, al explorar los niveles de carbono en distintas terrazas, identificó valores que oscilaban entre 20,92 y 32,01 tC/ha, destacando una mayor concentración en la Terraza media. Por otro lado, Zavala et al. (2018) registraron resultados ligeramente inferiores a los obtenidos en nuestro estudio, con mediciones de 66,16 tC/ha en el suelo de sistemas agroforestales (SAF) de menos de 8 años y 59,08 tC/ha en los de más de 16 años. La acumulación significativa de biomasa en el suelo, debido a la presencia variable de hojarasca, es un factor clave que contribuye a estas variaciones. En consecuencia, los SAF más jóvenes albergan una cantidad considerable de carbono en el suelo, lo que sugiere un mayor potencial de almacenamiento en comparación con los SAF más antiguos.

Thomas y Liseth (2021) respaldan esta noción al descubrir que los SAF que incluyen cultivos de café de 3 a 5 años exhiben una capacidad de almacenamiento de carbono

mayor (224,26 t/ha) que aquellos de 8 a 10 años (195,5 t/ha). Estas diferencias reflejan una serie de variables interconectadas. Según Robert (2001), la presencia de carbono en el suelo está estrechamente vinculada a la formación del suelo a lo largo del tiempo, donde se establece un equilibrio dinámico entre la absorción de material en descomposición y la mineralización. Además, el cambio en el uso del suelo, desde bosque natural hasta plantaciones asociadas, genera una acumulación de material orgánico que puede influir en el contenido de carbono del suelo.

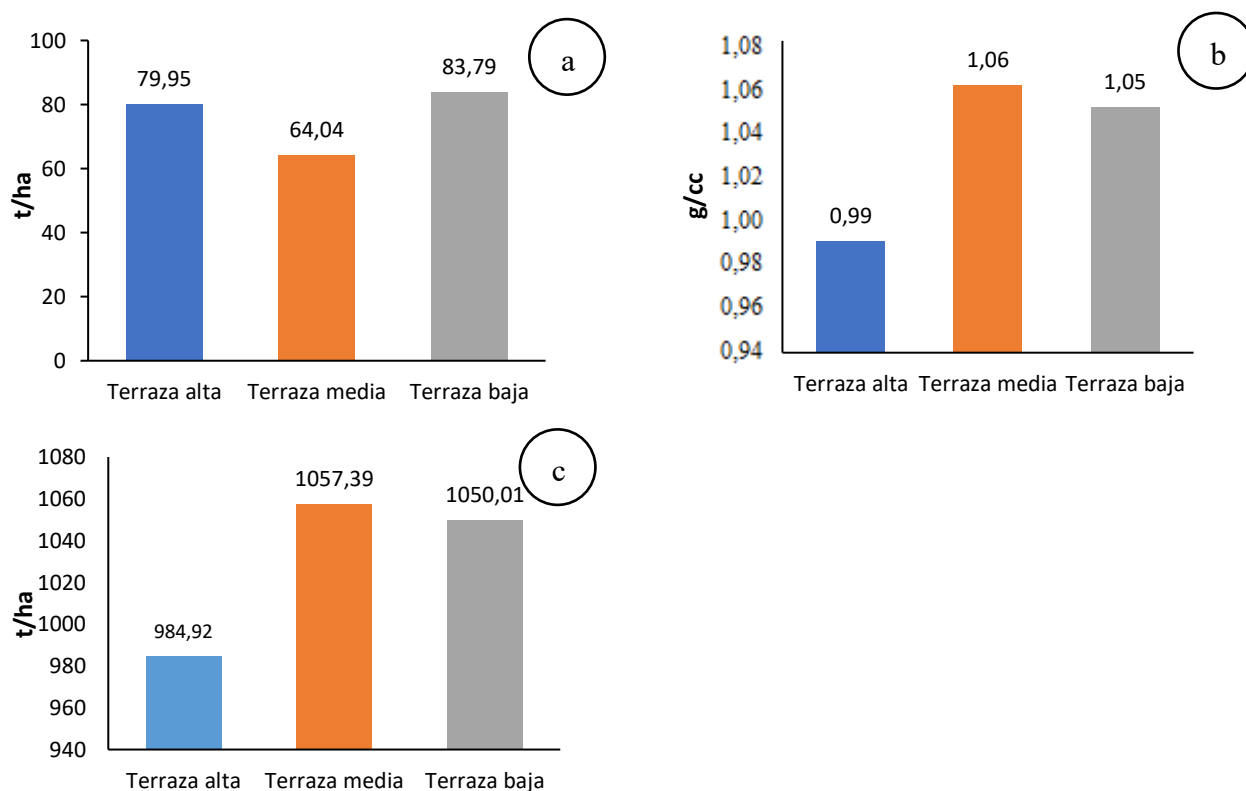


Figura 6. a) Contenido de carbono (t/ha), b) Densidad del suelo (g/cc), c) peso del volumen t/ha en las unidades fisiográficas de Huanganapampa.

En relación con la densidad aparente del suelo, Alvarado y Forsythe (2005) señalan que niveles inferiores a 1,9 g/cc no afectan negativamente el desarrollo del sistema radicular de los cultivos, sino que facilitan la realización de actividades agrícolas que reducen la probabilidad de compactación y erosión del suelo (ver Tabla 4 y Figura 6).

Por otro lado, en cuanto al peso del volumen del suelo, se observan resultados concordantes con los hallazgos de Pérez (2023), quien registró un promedio de 1116,45 t/ha y 1046,69 t/ha en SAF de 12 y 8 años, respectivamente.

4.3. Carbono total almacenado en tres unidades fisiográficas en Huanganapampa

El análisis de varianza (con un nivel de significancia de $\alpha=0,05$) del carbono total almacenado (t/ha) en cada una de las tres unidades fisiográficas de Huanganapampa indica que existe una diferencia estadísticamente significativa entre los tratamientos evaluados. En otras palabras, al menos uno de los sistemas agroforestales muestra un mejor rendimiento en términos de almacenamiento de carbono (ver Tabla 5).

Tabla 5. Análisis de varianza (ANOVA) del contenido de carbono orgánico en el suelo de tres unidades fisiográficas (tC/ha).

Fuente de variación	SC	gl	CM	F	p-valor	Sig
Carbono total almacenado (t/ha)	1588,78	2	794,39	5,86	0,0234	*
Error	1219,76	9	135,53			
Total	2808,54	11				
C.V.	12,78 %					

* : Existe diferencia estadísticamente significativa al 0,05 %.

La Tabla 6 presenta el peso volumétrico del suelo (t/ha), la densidad aparente del suelo (g/cc) y el contenido de carbono orgánico (t/ha) de cada unidad fisiográfica de tres sistemas agroforestales en Huanganapampa. Además, se proporciona el análisis de varianza (con un nivel de significancia de $\alpha=0,05$) para estos datos. La falta de significancia estadística en cualquiera de las variables indica que el uso de la tierra no tiene un impacto discernible sobre la cantidad de carbono presente en ninguna categoría fisiográfica.

Tabla 6. Valores promedio para el carbono total en tres unidades fisiográficas de un sistema agroforestal

Localidad	Carbono total en la biomasa vegetal aérea (t/ha)	Carbono total en la biomasa vegetal radicular (t/ha)	Carbono total en el suelo (t/ha)	Carbono total en el SAF (t/ha)
Terraza alta	18,84	1,25	79,95	100,04 a
Terraza baja	13,97	0,64	83,79	98,40 a
Terraza media	10,41	0,41	64,04	74,86 b

El análisis del carbono total combina el carbono almacenado en la biomasa vegetal y en el suelo. Investigaciones como la de Zavala et al. (2018) destacan que la edad del cultivo es un factor crucial que influye en el secuestro y almacenamiento de carbono. En el caso del

café, se observa que los sistemas agroforestales alcanzan su máximo potencial de almacenamiento entre los 8 y 16 años. Sin embargo, estudios como el de Castro (2017) no han identificado diferencias estadísticas significativas entre plantaciones de diferentes edades. Por otro lado, Dávila (2022) reportó niveles más bajos de carbono en tres tipos de sistemas agroforestales, con medias de 40,42 tC/ha en sistemas silvopastoriles, 71,51 tC/ha en café sin sombra y 81,30 tC/ha en café bajo sombra.

En otro contexto, Bardales (2015) examinó el carbono almacenado en el suelo en tres cultivos diferentes: naranjo, guayabo y bambú, encontrando que el suelo de guayabo retiene 42,05 tC/ha, mientras que el naranjo y el bambú almacenan 35,99 tC/ha y 30,39 tC/ha respectivamente. Los sistemas agroforestales emergen como una alternativa prometedora para mejorar las capacidades productivas de los cultivos principales, además de brindar servicios ecosistémicos sin comprometer los rendimientos agrícolas. Al incorporar especies forestales dentro de su estructura, los SAF simulan la biodiversidad y la capacidad de un bosque natural. Esta característica les confiere una mayor capacidad para secuestrar carbono tanto en el subsuelo como en la vegetación aérea, en comparación con otros usos del suelo como la ganadería extensiva o los monocultivos (Sánchez, 2000; Kirby y Potvin, 2017).

Además, los SAF promueven prácticas agrícolas sostenibles de bajo impacto que preservan la salud de las plantas y los suelos. Destacan también por sus beneficios en el reciclaje de nutrientes y el uso de vegetación perenne, que contribuyen al almacenamiento a largo plazo del carbono (Nair, 2004). Aunque el secuestro de carbono puede no ser el objetivo principal de los sistemas agroforestales, su capacidad para aumentar las reservas globales de carbono es un beneficio adicional significativo (Casanova, 2011)

Tabla 7. Análisis de varianza (ANOVA) de la densidad aparente del suelo (g/cc) y peso seco de raíces (g).

Variable	F.V.	SC	GL	CM	F	p-valor	Sig
Densidad aparente del suelo (g/cc)	0-10	0,02	2	0,01	3,56	0,0467	*
	10-20	0,01	2	0,01	1,68	0,2102	NS
	20-30	0,05	2	0,02	7,19	0,0042	**
Peso seco de raíces (g)	0-10	7759,4	2	3880	21,3	<0,0001	**
	10-20	33,93	2	16,96	1,6	0,2256	NS
	20-30	10,1	2	5,05	2,18	0,1375	NS

En la Tabla 7 se presenta el análisis de varianza de la densidad aparente del suelo (g/cc) y el peso de raíces (g) por estrato en las tres unidades fisiográficas bajo estudio. En relación a la densidad aparente del suelo, no se observó diferencia significativa a una profundidad de 10-20 cm entre las parcelas; sin embargo, se encontraron disparidades estadísticas en las profundidades de 0-10 cm y 20-30 cm. En cuanto al peso de raíces, solo se identificó diferencia significativa a una profundidad de 0-10 cm entre las parcelas.

Al comparar la densidad aparente del suelo (g/cc) en las tres unidades fisiográficas a diferentes profundidades, se determinó que los valores más elevados se registran en Terraza media, seguido de Terraza baja y, por último, Terraza alta. Además, se observó que la densidad aparente aumenta con la profundidad del suelo. En otra comparación a nivel de parcelas, se observó que la densidad aparente es menor en Terraza alta.

Por otro lado, en cuanto al peso de las raíces (g) en las tres unidades fisiográficas, se encontró que los valores disminuyen de Terraza alta a Terraza baja y luego a Terraza media, en los distintos niveles de profundidad. Por último, se observó que estos valores son menores a medida que aumenta la profundidad del suelo.

Tabla 8. Prueba de Duncan de densidad aparente del suelo (g/cc) y peso seco de raíces (g) por estrato y unidad fisiográfica.

Variable	Profundidad (cm)	Terraza	Medias	Sig	Terraza	Medias	Sig
Densidad aparente del suelo (g/cc)	0-10	Media	0,84	a			
		Baja	0,83	a	Media	1,06	a
		Alta	0,77	b			
	10-20	Media	1,08	a			
		Baja	1,07	a	Baja	1,05	a
		Alta	1,02	a			
	20-30	Media	1,26	a			
		Baja	1,25	a	Alta	0,98	a
		Alta	1,16	b			
Peso seco de las raíces (g)	0-10	alta	56,55	a			
		baja	25,34	b	Alta	23,20	a
		media	14,04	b			
	10-20	alta	8,85	a			
		baja	6,96	a	Baja	11,89	b
		media	5,99	a			
	20-30	alta	4,2	a			
		baja	3,36	a	Media	7,55	b
		media	2,62	a			

4.4. Identificación de los servicios ecosistémicos en los cultivos de plátano como sistema agroforestal

Los servicios ecosistémicos identificados y evaluados en el SAF de plátano se presentan en la Tabla 9.

Tabla 9. Valores promedio para el carbono total en el cultivo de plátano como sistema agroforestal.

Servicios ecosistémicos	Descripción
Captura de carbono en suelo y biomasa vegetal	Se ha comprobado que el cultivo de plátano como sistemas agroforestal mediante las especies arbóreas forestales, plátanos y otras formas de vegetación contribuyen a un mayor nivel de captura de carbono a diferencia con los monocultivos, incrementando el stock de carbono en el suelo y la biomasa. Además, a mayor acumulación de carbono, los niveles de materia orgánica aumenta mejorando la estructura y retención hídrica.
Conservación del suelo	Se ha encontrado que existe un mayor nivel de fertilidad y humedad dentro de la parcela, reduciendo la erosión. Para ello se analizó el color del suelo, teniendo en cuenta que los suelos dentro de la parcela presentan signos de mayor contenido de materia. Esto evidencia que es una herramienta eficaz para la restauración de suelos degradados. Asimismo, la existencia de árboles fijadores de nitrógeno y árboles o arbustos de raíces profundas favorecen a la estabilización del suelo y una mejor disponibilidad de nutrientes.
Aporte de biomasa y reciclaje de nutrientes	Se ha demostrado el importante aporte de la biomasa en especies arbóreas y el cultivo de plátano, favoreciendo el reciclaje de nutrientes y favoreciendo al aprovechamiento superficial de los nutrientes que se encuentran a mayor profundidad, evitando la lixiviación.
Conservación de la calidad de agua	Se ha demostrado que el cultivo de plátano como sistema agroforestal favorece a un mejor aprovechamiento del agua de lluvia al alterar la transpiración y la retención de agua en el suelo por la presencia de árboles, reduciendo la escorrentía superficial y aumentando las infiltraciones.

Regulación del clima	Se ha demostrado que el cultivo de plátano como sistema agroforestal contribuye un microclima templado dado por la sombra de los árboles, donde la temperatura desciende en promedio de 0,99 a 2,20 °C, al igual que la humedad relativa, teniendo en cuenta que al interior aumenta en promedio de 4,00 a 13,60%.
Conservación de la biodiversidad	Servicio ligado a la dotación de hábitats y recursos de flora y fauna.
Mitigación y adaptación al cambio climático	El cultivo de plátano como sistema agroforestal ayuda a prevenir la deforestación al proporcionar productos madereros en tierras deforestadas y es una herramienta para implementar programas REDD+. Asimismo, la gestión adecuada de la parcela permite mayores tasas de almacenamiento de carbono, lo que la convierte en una herramienta eficaz para mitigar el cambio climático.

Los datos recopilados en este estudio respaldan la idea de que los sistemas agroforestales (SAF) representan una significativa reserva de dióxido de carbono (CO₂) acumulado a lo largo de años de actividad fotosintética, superando los niveles observados en plantaciones individuales. De acuerdo con los hallazgos de Harmand et al. (2006), la captura de carbono es notablemente más eficiente en los SAF que incluyen cultivos como el café en comparación con los monocultivos. Estos autores encontraron una diferencia de hasta 29,80 Mg ha⁻¹ más de carbono en la biomasa aérea de los cultivos con árboles de sombra (maderables, frutales y serbales) en comparación con los resultados obtenidos en áreas de cultivo a pleno sol. Además, según lo indicado por Houghton (2006), los ecosistemas terrestres tienen la capacidad de acumular hasta tres veces más carbono (1/5 en la vegetación, 4/5 en el suelo) que el presente en la atmósfera.

En cuanto a la calidad del suelo, la Tabla 10 presenta los resultados de la evaluación basada en la Tabla de Colores Munsell. Según la FAO (2009), el color del suelo, tanto en estado seco como húmedo, de acuerdo con la Tabla Munsell, puede proporcionar indicios sobre la cantidad de materia orgánica presente en las capas minerales, considerando también la clase textural del suelo. La combinación de minerales de tonalidades claras y materiales orgánicos de colores más oscuros tiende a oscurecer el color del suelo a medida que aumenta la cantidad de materia orgánica en él. Este fenómeno refleja la influencia significativa

que la materia orgánica puede tener en las propiedades visuales y, por ende, en las características físicas y químicas del suelo.

Tabla 10. Color de suelo registrado dentro de las 3 unidades fisiográficas a diferentes profundidades.

Terraza	Profundidad (cm)	Código	Descripción
	0-10	10 YR 3/2	Pardo grisáceo oscuro
Terraza alta	10-20	10 YR 5/3	Pardo
	20-30	10 YR 5/6	Pardo amarillento
Terraza baja no inundable	0-10	10 YR 3/1	Gris muy oscuro
	10-20	10 YR 5/2	Pardo grisáceo en seco
	20-30	10 YR 5/6	Pardo amarillento
Terraza media	0-10	10 YR 3/1	Gris muy oscuro
	10-20	10 YR 3/3	Pardo oscuro
	20-30	10 YR 5/2	Pardo grisáceo en seco

Fuente: Munsell color (s/f)

De acuerdo con lo expuesto y los datos presentados en la Tabla 10, se observa que el contenido de materia orgánica en las unidades fisiográficas analizadas alcanza su punto máximo en el rango de profundidad de 0-10 cm, caracterizado por tonalidades más oscuras, y disminuye gradualmente a medida que aumenta la profundidad del suelo, específicamente en los intervalos de 10-20 cm y 20-30 cm. Este patrón se confirma al examinar los resultados del análisis de materia orgánica del suelo (véase Anexo, Figura 19), donde se evidencia que los promedios del porcentaje de materia orgánica siguen una tendencia similar. Además, de acuerdo con las observaciones de Harmand (2006), la materia orgánica del suelo, compuesta por residuos vegetales y animales en diversos estados de descomposición, influye significativamente en la actividad microbiana, ya que el carbono disponible en el suelo actúa como fuente de energía para los microorganismos. Por lo tanto, los resultados coinciden con las afirmaciones del autor, ya que al ordenar los valores de contenido de carbono en el suelo (Tabla 6) y el promedio de materia orgánica (Anexo, Figura 19) de mayor a menor, se observa el siguiente orden: Terraza baja (83,79 t/ha - 1,33 % M.O), Terraza alta (79,95 t/ha - 1,021 % M.O) y Terraza media (64,04 t/ha - 0,875 % M.O).

Por otro lado, se llevaron a cabo evaluaciones de temperatura, humedad relativa y luminosidad con el propósito de desarrollar un modelo de manejo climático para el

crecimiento del banano dentro del sistema agroforestal (SAF). Se registró una temperatura máxima de 28,88 °C y una mínima de 28,16 °C en la Terraza Alta del SAF. Los datos obtenidos fuera del rango de la parcela, que oscilaron entre 29,88 y 30,54 °C, indican que el SAF contribuye a reducir la temperatura en un promedio de 0,99 a 2,20 °C. Además, se observó un incremento en la humedad, con aumentos que variaron entre 4,00 y 13,60 tC/ha. Asimismo, se constató que el SAF reduce la incidencia de la luminosidad en los sistemas de producción, lo que sugiere que la presencia de árboles forestales como sombra genera un microclima favorable para el cultivo del plátano.

Tabla 11. Valores de temperatura, humedad relativa y luminosidad dentro y fuera de la parcela de tres unidades fisiográficas en Huanganapampa. (50 000), promedio de 5 lecturas por parcela

Localidad	Transecto	Dentro de la parcela					
		T°	H R°	Luminosidad	T°	H R°	Luminosidad
Terraza alta	A	28,88	58,40	41x10x100	29,88	54,40	232 x10x100
	B	28,16	60,80	32x10x100	30,36	55,60	334 x10x100
	C	28,68	61,40	38x10x100	30,54	56,00	364 x10x100
	D	28,58	62,00	32x10x100	30,52	50,80	382 x10x100
Terraza media	A	33,08	49,40	42,2x10x100	31,46	50,00	458 x10x100
	B	32,10	62,00	49,8x10x100	31,68	48,80	501x10x100
	C	30,18	60,80	48,2x10x100	31,50	47,00	506x10x100
	D	29,14	61,60	51,6x10x100	31,74	47,80	495x10x100
Terraza baja	A	31,36	48,00	48,4x10x100	33,24	51,40	435 x10x100
	B	30,58	50,80	58,8x10x100	32,98	49,60	494x10x100
	C	30,04	52,20	70,8x10x100	32,28	49,00	500x10x100
	D	30,40	53,00	63,6x10x100	32,34	48,00	509x10x100

En relación con la regulación del microclima en los sistemas agroforestales, diversos estudios confirman que las principales causas de las variaciones que se producen bajo el dosel de sombra incluyen la cantidad y calidad de la penetración de la luz, la temperatura, el suelo y las hojas de plátano, así como la velocidad del viento, la humedad del suelo y la evaporación del agua del suelo (IICA, 1988; Lin, 2007; Cannavo et al., 2011). En el mismo contexto, Avelino y Rivas (2013) y Villarreyna-Acuña (2016) señalan evidencia de alteraciones significativas relacionadas con los impactos de la lluvia; dependiendo del tipo de taza, los

plátanos reciben menos radiación solar (Beer et al., 1998; Lin, 2007; Siles et al., 2010). El presente estudio confirma el hallazgo de Lin (2007) de que las temperaturas máximas de los elementos que interactúan dentro del sistema disminuyen, lo que también se refleja en los resultados de la humedad relativa, que tienden a aumentar como resultado de una mayor retención de agua y formación de rocío.

Es importante destacar que estas características contribuyen al control de plagas y enfermedades en los cultivos. Según Rapidel et al. (2015), la sombra proporcionada por las especies arbóreas ayuda a reducir significativamente la incidencia de la antracnosis y disminuye la probabilidad de la roya del café. Se observaron menos ramas muertas, menos óxido y problemas de insectos, así como enfermedades menos graves en comparación con los cafetales no asociados (Grupo Cerda, 2016). Además, estos hallazgos respaldan las afirmaciones de Avelino et al. (2015), quienes sugieren que la roya puede tener un impacto menor en áreas de sombra que en monocultivos.

En términos de biodiversidad, todos los cultivos, incluido el plátano como sistema agroforestal, contribuyen a preservar diversas especies de flora y fauna, como aves, polinizadores y controladores biológicos (Montanini et al., 2015). Por otro lado, algunos investigadores han observado que, a diferencia de los sistemas agroforestales, donde las aves suelen establecerse en las copas de los árboles que proporcionan sombra al café, hasta la mitad de la variedad de aves se registró en fincas cafetaleras no asociadas. Es crucial recordar que los sistemas agroforestales conservan la biodiversidad al actuar como sitios críticos para la distribución de semillas y como corredores ecológicos para las especies animales que atraviesan entornos agrícolas (Jiménez et al., 2001). Aunque son importantes para la conservación de la biodiversidad, los sistemas agroforestales no pueden sustituir ni presentarse como una alternativa viable a los bosques naturales.

En cuanto a los servicios ecosistémicos evaluados en las tres parcelas, el sistema agroforestal de plátano genera un microclima favorable, donde la temperatura dentro de la parcela es más templada que fuera, la humedad relativa es más alta dentro de la parcela y la luminosidad es menor, lo que crea condiciones propicias para una mayor producción sostenible.

V. CONCLUSIONES

1. La mayor cantidad de carbono almacenado (t/ha) en los tres agroecosistemas de plátano en el sector de Huanganapampa-Tingo María, lo presenta la terraza alta con 2,57 t/ha, quedando al último la terraza baja con 2,28 t/ha de carbono, lo que indica una posible influencia del tipo de suelo en los niveles de carbono registrados en cada unidad fisiográfica.
2. El carbono de las especies forestales presentó el mayor contenido de carbono en la biomasa vegetal en las tres parcelas, terraza alta 12,73 tC/ha, terraza baja 9,28 tC/ha, y terraza media 5,56 tC/ha, seguido del carbono en los plátanos con 2.57 tC/ha, en la terraza alta, 2,54 tC/ha, terraza media y 2,28 tC/ha, terraza baja; y por último el carbono en las herbáceas y arbustivas que presenta la terraza media 0,81 tC/ha, terraza baja 0,64 tC/ha y terraza alta 0,46 tC/ha.
3. La terraza alta presenta la mayor cantidad de Carbono total en el SAF con 100,04 (t/ha), seguido de la terraza baja con 98,4 (t/ha), quedando al ultimo la terraza media con 74,86 (t/ha). Así mismo el Carbono total en el suelo en la terraza baja, aportó mayor cantidad de carbono con 83,79 (t/ha), frente a la terraza media, 64,04 (t/ha), y la que menos aportó fue en la biomasa radicar vegetal, tanto en la terraza alta, baja y media con valores de 1,25; 0,64 y 0,41 tC/ha respectivamente.
4. La terraza alta presentó el mejor servicio ecosistémico debido al aporte de materia orgánica y biomasa vegetal; además la terraza alta presenta un microclima favorable con temperaturas mas bajas, menor humedad relativa y menor luminosidad lo que contribuye a un entorno propicio para la producción sostenible.
5. Los sistemas agroforestales del cultivo de plátano permiten almacenar mayor cantidad de carbono en el suelo, reduciendo los gases de efecto invernadero y por lo tanto mitigando el cambio climático debido a los servicios ecosistémicos que genera estos sistemas agroecológicos.

VI. PROPUESTAS A FUTURO

1. Es fundamental considerar una amplia gama de variables al calcular el almacenamiento de carbono en un ecosistema específico, tales como la altitud, la presencia de especies forestales asociadas, el grado de infestación de purmas y pastizales, la época de muestreo, entre otros. Estas variables pueden tener un impacto significativo en los resultados y garantizar una evaluación precisa del carbono almacenado.
2. Se recomienda llevar a cabo la valoración de los sistemas agroforestales para evaluar los servicios ambientales que proporcionan, incluyendo la captura de carbono. Estas evaluaciones pueden servir como base para compensar a los agricultores y productores por su contribución a la mitigación del cambio climático y la conservación del medio ambiente.
3. Es importante continuar con la investigación en diversos sistemas agroforestales para establecer parámetros y estándares claros de captura y almacenamiento de carbono. Estos estudios adicionales ayudarán a mejorar nuestra comprensión de cómo los sistemas agroforestales pueden contribuir a la mitigación del cambio climático y guiarán la implementación de prácticas más efectivas de gestión sostenible de la tierra.

VII. REFERENCIAS

- Acosta, M; Etchevers, J; Hidalgo, C; Monreal, C; Quednow, K. (2001). Un método para la medición de carbono en los compartimientos subterráneos (raíces y suelo) de sistemas forestales y agrícolas en Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. Terrenos de ladera en México. pp. 1-19.
- Alvarado, A., & Forsythe, W. (2005). Variación de la densidad aparente en órdenes de suelos de Costa Rica. *Agronomía costarricense: Revista de ciencias agrícolas*, 29(1), 85-94.
- Andrade, H.; Figueroa, J.; Silva, D. (2013). Almacenamiento de carbono en cacaotales (*Theobroma cacao*) en Armero-Guayabal (Tolima, Colombia). *Scientia Agroalimentaria*. Vol. 1: 6-10.
- Arévalo L; Alegre, J. y Palma. (2002). Determinación de las reservas totales de carbono en los diferentes sistemas de uso de la tierra. World Agroforestry Centre y CODESU. Lima, Perú.
- Avelino, J., & Rivas, G. (2013). La roya anaranjada del café. *HAL science ouverte*. Recuperado de <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01071036>
- Avelino, J., Cristancho, M., Georgiou, S., Imbach, P., Aguilar, L., Bornemann, G., Läderach, P., Anzueto, F., Hruska, A., & Morales, C. (2015). The coffee rust crisis in Colombia and Central America (2008-2013): Impacts, plausible causes and proposed solutions. *Food Security*, 7(2), 303-321. <https://doi.org/10.1007/s12571-015-0446-9>
- Balesdent, J. (1996). Un point sur l'évolution des réserves organiques des sols de France. *Etude gestion des sols* 3 (4): 245-260.
- Bardales, C. (2015). Carbono almacenado y distribución espacial de las propiedades del suelo en diferentes tipos de cultivo en la microcuenca del río Supte- Tingo María. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. Repositorio UNAS. Recuperado de <http://repositorio.unas.edu.pe/handle/UNAS/1096>
- Beer, S., Vilenkin, B., Weil, A., Veste, M., Susel, L., & Eshel, A. (1998). Measuring photosynthetic rates in seagrasses by pulse amplitude modulated (PAM) fluorometry. *Marine Ecology Progress Series*, 174, 293-300.
- Bringas, H. (2010). Estimación del carbono almacenado en un sistema agroforestal de cacao (*Theobroma cacao* L.) comparado con un bosque secundario de tres edades. [Tesis de grado. Universidad Nacional Agraria de la Selva]. Tingo María, Perú. 148 p.
- Bronw, S. (1997). Estimating biomass and biomass change of tropical forest. A primer. Roma, IT, FAO. 55 p.

- Callo, D. (2000). Cuantificación del carbono secuestrado por algunos SAF's y testigos, en tres pisos ecológicos de la Amazonía del Perú. [Tesis de Maestría. Universidad Autónoma Chapingo]. Chapingo, México. 72 p.
- Cannavo, P., Sansoulet, J., Harmand, J. M., Siles, P., Dreyer, E., & Vaast, P. (2011). Agroforestry associating coffee and *Inga densiflora* results in complementarity for water uptake and decreases deep drainage in Costa Rica. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 140(1-2), 1-13. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2010.11.005>
- Casanova, M. A. (2011). Evaluación para la inclusión educativa. *Revista Iberoamericana de Evaluación Educativa*, 4(1), 78-89.
- Castro, R. (2017). Almacenamiento de carbono y análisis de rentabilidad en sistemas agroforestales con *Coffea arabica* (L.) en la zona de los Santos, Costa Rica. [Tesis de pregrado, Instituto Tecnológico de Costa Rica]. Repositorio CORE. Recuperado de <https://core.ac.uk/download/pdf/153541483.pdf>
- Cerda, R., Allinne, C., Gary, C., Tixier, P., Harvey, C., Krolczyk, L., Mathiot, C., Clément, E., Aubertoti, J., & Avelino, J. (2016). Effects of shade, altitude and management on multiple ecosystem services in coffee agroecosystems. *Agronomy*, 3(3).
- Ciesla, WM. (1996). Cambio climático, bosques y ordenación forestal: una visión de conjunto. Estudios FAO: Montes No. 120. 146 p. Robinson JC, Galán V. 2011. Plátanos y bananas. 2a ed. Madrid: Mundi Prensa.
- Dávila Cueva, V. C. (2022). Almacenamiento de carbono en el suelo de las unidades fisiográficas del fundo CIPTALD–Tulumayo, Tingo María-Huánuco.
- Dávila, V. (2023). Almacenamiento de carbono en el suelo de las unidades fisiográficas del fundo CIPTALD – Tulumayo, Tingo María – Huánuco. [Tesis de Maestría. Universidad Nacional Agraria de la Selva]. Tingo María, Perú.
- Dávila Gutierrez, T. L. (2021). Dendrocronología de la especie *Guazuma crinita* Mart. en bosque natural y plantación forestal de la Provincia Tambopata - Madre De Dios. (Tesis de pregrado). Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios.
- Erickson, J. (1992). El efecto invernadero: el desastre del mañana, hoy. Madrid: Mc Graw-Hill I/ Interamericana, 217 p.
- FAO (2020). El estado de los bosques del mundo. Los bosques, la diversidad y las personas. Rome. 224 pp.
- FAO. (1993). Forest Resources Assessment 1990, Tropical Countries. FAO Forestry Paper 112. Rome.

- FAO. (2000). Sistemas de uso de la tierra en los trópicos húmedos y la emisión y secuestro de CO₂. World Soil Resources Reports 88. Rome. 98 pp.
- Farrel, J. y Altieri, M. (1999). Sistemas agroforestales. En: ALTIERI, Miguel. Agroecología. Bases científicas para una agricultura sustentable. Montevideo: Nordan-Comunidad. 229-243 p.
- Gómez Velarde, A. J. M. (2021). Valoración económica del servicio ambiental en valores y educación que brindan las TiNi: tierra de niñas, niños y jóvenes [Tesis de pregrado, Facultad de Ciencias Forestales, Dpto. Acad. Industrias Forestales, Universidad]. Repositorio Institucional de la Universidad Nacional de la Amazonía Peruana. <https://hdl.handle.net/20.500.12996/5453>
- Gonzales, J. (2018). Carbono almacenado en sistemas agroforestales de Coffea arábica L. “café” de 4 y 7 años en relación con la gradiente altitudinal, Huánuco. [Tesis de maestría, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. Repositorio UNAS. https://repositorio.unas.edu.pe/bitstream/handle/UNAS/1476/JFGR_2018.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Harmand, J.M., K. Hergoualc’h, S. De-Miguel-Magaña, B. Dzib, P. Siles, Vaast, P. (2006). Carbon sequestration in coffee agroforestry plantations of Central America. In: ASIC, editor, 21st International Conference on Coffee Science. CIRAD, Montpellier, FRA. p. 1071-1074.
- Hernández, L. (2001). Densidad de biomasa aérea en bloques extensos del neo trópico húmedo. México. 28 p.
- Houghton, J. (2006). Global warming: The complete briefing (3rd ed.). Cambridge University Press.
- Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura – IICA. (1988). Curso regional sobre nutrición mineral del café. 7-18 nov. IICA/CATIE, San José, CRI.
- INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE - IPCC. (2004). Climate change. spatial report on emissions scenarios. intergovernmental panel on climate change (IPCC). Disponible en: <http://grida.no/climate/ipcc>
- Jiménez, F., Muschler, R. Köpsell, E. (2001). Funciones y aplicaciones de sistemas agroforestales. Proyecto Agroforestal CATIE/GTZ. Turrialba, Costa Rica, 1-26
- Kirby, K. R., & Potvin, C. (2007). Variation in carbon storage among tree species: Implications for the management of a small-scale carbon sink project. *Forest Ecology and Management*, 246(2–3), 208–221. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2007.03.072>

- Lazo Ulloa, A. A. (2014). Cambios en la cobertura del suelo y cuantificación del carbono almacenado en los diferentes usos de la tierra como lineamientos en el desarrollo de estrategias de mitigación ante el cambio climático en la zona de amortiguamiento de la Reserva de Biosfera Río Plátano, Honduras (Tesis de Maestría en Manejo y Conservación de Bosques Tropicales y Biodiversidad). Turrialba (Costa Rica): CATIE, Escuela de Posgrado. Recuperado de <https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/7079>
- Libert-Amico, A., & Paz-Pellat, F. (2018). Del papel a la acción en la mitigación y adaptación al cambio climático: la roya del café en Chiapas. *Madera y Bosques*, 24(SPE).
- Lin, B.B. (2007). Agroforestry management as an adaptive strategy against potential microclimate extremes in coffee agriculture. *Agric For. Meteorol.* 144:85-94. doi: 10.1016/j.agrformet.2006.12.009
- Marín Rengifo, J. V., Rengifo Trigozo, J. P., & Rengifo Rojas, A. (2019). Calidad del suelo en diferentes sistemas de uso en el sector Nueva Esperanza Supte Chico - Distrito de Rupa Rupa. *Investigación y Amazonía*, 9(8), 22-30. ISSN 2224-445X.
- Mariño, Y. (2015). Evaluación del carbono almacenado en el cultivo de arroz (*Oryza sativa* L.) bajo dos sistemas de siembra en Tingo María. [Tesis de grado. Universidad Nacional Agraria de la Selva]. Tingo María, Perú.
- Montagnini, F., Somarriba, E., Murgueitio, E., Fassola, H., Eibl, B. (2015). Sistemas agroforestales. Funciones productivas, socioeconómicas y ambientales. Turrialba, Costa Rica: CATIE. Cali, Colombia: Fundación CIPAV.
- Munk, H. (2004). Pobreza y degradación ambiental en las Laderas de Nicaragua. In Escobar, G. ed. *Pobreza y deterioro Ambiental en América Latina*. Chile, RIMISP. 107-129 p.
- Munsell color (s.f). Munsell color productos. Recuperado de: www.munsell.com (12/07/2023).
- Nair, PKR. (2004). Agroforestry: trees in support of sustainable agriculture. In Hillel, H; Rosenzweig, C; Powlson, D; Scow, K; Singer, M; Sparks, D (eds.). *Encyclopedia of soils in the environment*. Londres, Reino Unido, *Elsevier*. pp. 35-44.
- Orrego, S.; Del Valle, J. y Moreno F. (2003). Medición de la captura de Carbono en ecosistemas forestales tropicales de Colombia: contribuciones para la mitigación del cambio climático. Medellín: Universidad Nacional de Colombia. 87 – 119 p.
- Rapidel, B., Ripoche, A., Allinne, C., Metay, A., Deheuvels, O., Lamanda, N., Blazy, J. M., Valdés-Gómez, H., & Gary, C. (2015). Analysis of ecosystem services trade-offs to design agroecosystems with perennial crops. *Agronomy for Sustainable Development*, 35, 1373-1390. <https://doi.org/10.1007/s13593-015-0317-y>

- Ríos, J. (2018). Cuantificación del potencial de carbón en la biomasa aérea de plátano (*Musa paradisiaca*) en el distrito de Aguaytía, departamento de Ucayali, 2018. [Tesis de Maestría. Universidad Nacional de Ucayali]. Pucallpa, Perú.
- Robert, M. (2001). Soil carbon sequestration for improvement land management. FAO. World Soil Resources Report N° 96. Rome.
- Robert, M. (2002). Captura de carbono en los suelos para un mejor manejo de la Tierra. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación Roma.
- Rubio Gutiérrez, A. M. (2010). La densidad aparente en suelos forestales del Parque Natural Los Alcornocales. Proyecto fin de carrera. Sevilla. Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología, Consejo Superior de Investigaciones Científicas.
- Sánchez, P. A. (2000). Linking climate change research with food security and poverty reduction in the tropics. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 82(1–3), 371–383. Recuperado de <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.521.217&rep=rep1&type=pdf>
- Siles, P., J.M. Harmand, Vaast, P. (2010). Effects of *Inga densiflora* on the microclimate of coffee (*Coffea arabica* L.) and overall biomass under optimal growing conditions in Costa Rica. *Agrofor. Syst.* 78:269-286. doi:10.1007/s10457-009-9241-y
- Taiz, L. Y Zeiger, E. (1998). *Plant physiology*. Sunderland. Massachusetts, Sinauer Associates, Inc., Publishers. Brasil. 32 p.
- Thomas, P., & Liseth, A. (2021). Valoración económica del servicio ambiental de almacenamiento de carbono en sistemas agroforestales de café (*Coffea arabica* L.) del distrito de Chontabamba, provincia Oxapampa, región Pasco–2020.
- UNFCCC. (1998). El protocolo de Kyoto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. Publicado por la secretaría del cambio climático con el apoyo de la oficina de Información sobre las convenciones del PNUMA. (<http://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpspan.pdf>., documentos, 25 Jun 2015).
- Villarreyna-Acuña, R.A. (2016). Efecto de la sombra sobre las plagas y enfermedades, a través del microclima, fenología y estado fisiológico del cafeto. CATIE, Turrialba, CRI
- Walkley, A.; Black, A.I. (1934). An examination of the method for determination soil organic matter, and a proposed codification of the chromic acid titration method. *Soil Science* 37:29-38.

- Watson, R. T.; Noble, I. R.; Bolin, B.; Ravindranath, N. H.; Verardo, D. J.; Dokken, D. J. (2000). Land use, land-use change and forestry. Cambridge University Press, Cambridge. 375pp.
- Zapata, M; Colorado, G. y Del Valle, J. (2003). Ecuaciones de biomasa aérea para bosques primarios intervenidos y secundarios.
- Zavala, J., Mansilla, L. (2018). Estimación de la biomasa y carbono almacenado en un sistema agroforestal del cafetal de la Universidad Nacional Agraria de la Selva. Investigación y 59 Amazonía, Tingo María, Perú; 8(5): 1-8. Disponible en: <https://revistas.unas.edu.pe/index.php/revia/article/view/200>
- Zuluaga, P. (2004). Dinámica de la materia orgánica del suelo en sistemas agroforestales de café con *Erythrina poeppigiana* (Walpers) O.F.Cook en Costa Rica. [Tesis de Maestría. Turrialba, CR, CATIE]. 32 p.

ANEXOS

Tabla 12. Biomasa y carbono del componente forestal en las parcelas de Huanganapampa.

Localidad	Transecto	Árboles F	Circunferencia (cm)	DAP (cm)	Biomasa (kg/árbol)	Biomasa (kg/100m ²)	Biomasa (ton/ha)	Carbono (ton/ha)
T. alta		1	51	16,23	136,68			
T. alta	A	2	48	15,28	117,25	292,72	29,27	13,19
T. alta		3	31	9,87	38,79			
T. alta		1	29	9,23	32,77			
T. alta	B	2	58	18,46	189,25	392,76	39,28	17,69
T. alta		3	20	6,37	12,80			
T. alta		4	54	17,19	157,95			
T. alta	C	1	65	20,69	252,48	288,18	28,82	12,98
T. alta		2	30	9,55	35,70			
T. alta	D	1	36	11,46	56,62	156,21	15,62	7,04
T. alta		2	45	14,32	99,58			
T. baja		1	26	8,28	24,86			
T. baja	E	2	34	10,82	49,00	203,56	20,36	9,17
T. baja		3	49	15,60	123,53			
T. baja		4	15	4,77	6,18			
T. baja		1	48	15,28	117,25			
T. baja	F	2	46	14,64	105,28	287,45	28,74	12,95
T. baja		3	38	12,10	64,93			
T. baja		1	38	12,10	64,93			
T. baja	G	2	33	10,50	45,44	132,87	13,29	5,99
T. baja		3	25	7,96	22,51			
T. baja	H	1	47	14,96	111,16	199,93	19,99	9,01
T. baja		2	43	13,69	88,76			
T. media		1	15	4,77	6,18			
T. media		2	14	4,46	5,19			
T. media	I	3	19	6,05	11,24	68,68	6,87	3,09
T. media		4	16	5,09	7,28			
T. media		5	31	9,87	38,79			
T. media		1	40	12,73	73,92			
T. media	J	2	46	14,64	105,28	244,12	24,41	11,00
T. media		3	38	12,10	64,93			
T. media		1	33	10,50	45,44			
T. media	K	2	39	12,41	69,34	150,47	15,05	6,78
T. media		3	30	9,55	35,70			
T. media		1	19	6,05	11,24			
T. media	L	2	15	4,77	6,18	30,22	3,02	1,36
T. media		3	20	6,37	12,80			

Tabla 13. Biomasa y carbono en las parcelas de Huanganapampa.

Localidad	Transecto	Cultivo	Altura	DAP (cm)	Biomasa (kg/árbol)	Biomasa (kg/100m ²)	Biomasa (ton/ha)	Carbono (ton/ha)
T. alta		1	3,15	22,28	2,02			
T. alta		2	3,51	24,83	2,26			
T. alta		3	3,65	25,78	2,34			
T. alta		4	2,48	17,51	1,48			
T. alta		5	3,33	23,55	2,14			
T. alta		6	3,11	21,96	1,99			
T. alta		7	3,02	21,33	1,92			
T. alta		8	3,47	24,51	2,23			
T. alta		9	3,42	24,19	2,20			
T. alta		10	3,38	23,87	2,17			
T. alta		11	3,51	24,83	2,26			
T. alta		12	3,33	23,55	2,14			
T. alta		13	3,33	23,55	2,14			
T. alta		14	3,06	21,65	1,95			
T. alta	A	15	3,51	24,83	2,26	57,75	5,78	2,60
T. alta		16	1,71	12,10	0,66			
T. alta		17	2,07	14,64	1,08			
T. alta		18	3,60	25,46	2,31			
T. alta		19	3,02	21,33	1,92			
T. alta		20	3,15	22,28	2,02			
T. alta		21	3,29	23,24	2,11			
T. alta		22	2,66	18,78	1,64			
T. alta		23	3,38	23,87	2,17			
T. alta		24	1,85	13,05	0,83			
T. alta		25	3,11	21,96	1,99			
T. alta		26	3,42	24,19	2,20			
T. alta		27	3,38	23,87	2,17			
T. alta		28	3,51	24,83	2,26			
T. alta		29	3,51	24,83	2,26			
T. alta		30	1,71	12,10	0,66			
T. alta		1	2,22	15,28	1,21			
T. alta		2	3,70	25,46	2,35			
T. alta	B	3	3,47	23,87	2,20	60,14	6,01	2,71
T. alta		4	3,24	22,28	2,05			
T. alta		5	2,54	17,51	1,51			

T. alta	6	3,38	23,24	2,15			
T. alta	7	3,61	24,83	2,29			
T. alta	8	3,05	21,01	1,92			
T. alta	9	3,19	21,96	2,02			
T. alta	10	3,47	23,87	2,20			
T. alta	11	3,70	25,46	2,35			
T. alta	12	2,54	17,51	1,51			
T. alta	13	3,24	22,28	2,05			
T. alta	14	3,61	24,83	2,29			
T. alta	15	3,70	25,46	2,35			
T. alta	16	2,87	19,74	1,78			
T. alta	17	2,68	18,46	1,63			
T. alta	18	3,24	22,28	2,05			
T. alta	19	3,05	21,01	1,92			
T. alta	20	3,47	23,87	2,20			
T. alta	21	3,33	22,92	2,11			
T. alta	22	3,70	25,46	2,35			
T. alta	23	2,78	19,10	1,71			
T. alta	24	3,05	21,01	1,92			
T. alta	25	3,33	22,92	2,11			
T. alta	26	3,47	23,87	2,20			
T. alta	27	2,54	17,51	1,51			
T. alta	28	3,24	22,28	2,05			
T. alta	29	3,05	21,01	1,92			
T. alta	30	3,47	23,87	2,20			
T. alta	1	2,41	17,51	1,45			
T. alta	2	2,84	20,69	1,81			
T. alta	3	3,15	22,92	2,04			
T. alta	4	3,28	23,87	2,13			
T. alta	5	3,50	25,46	2,28			
T. alta	6	2,71	19,74	1,71			
T. alta	7	2,54	18,46	1,56	57,11	5,71	2,57
T. alta	8	2,98	21,65	1,92			
T. alta	9	3,15	22,92	2,04			
T. alta	10	3,28	23,87	2,13			
T. alta	11	2,84	20,69	1,81			
T. alta	12	2,98	21,65	1,92			
T. alta	13	3,19	23,24	2,07			
T. alta	14	3,54	25,78	2,30			

T. alta		15	3,50	25,46	2,28			
T. alta		16	2,89	21,01	1,85			
T. alta		17	2,54	18,46	1,56			
T. alta		18	2,89	21,01	1,85			
T. alta		19	2,54	18,46	1,56			
T. alta		20	2,41	17,51	1,45			
T. alta		21	2,10	15,28	1,14			
T. alta		22	2,93	21,33	1,88			
T. alta		23	3,28	23,87	2,13			
T. alta		24	3,33	24,19	2,16			
T. alta		25	3,54	25,78	2,30			
T. alta		26	3,76	27,37	2,44			
T. alta		27	3,06	22,28	1,98			
T. alta		28	2,89	21,01	1,85			
T. alta		29	2,54	18,46	1,56			
T. alta		30	2,98	21,65	1,92			
T. alta		1	2,81	21,01	1,81			
T. alta		2	2,93	21,96	1,91			
T. alta		3	3,10	23,24	2,04			
T. alta		4	3,19	23,87	2,10			
T. alta		5	3,40	25,46	2,24			
T. alta		6	2,55	19,10	1,60			
T. alta		7	2,89	21,65	1,88			
T. alta		8	2,34	17,51	1,41			
T. alta		9	2,47	18,46	1,53			
T. alta		10	2,85	21,33	1,85			
T. alta		11	3,19	23,87	2,10			
T. alta	D	12	2,98	22,28	1,95	53,41	5,34	2,40
T. alta		13	3,40	25,46	2,24			
T. alta		14	2,76	20,69	1,78			
T. alta		15	2,47	18,46	1,53			
T. alta		16	2,55	19,10	1,60			
T. alta		17	2,81	21,01	1,81			
T. alta		18	3,06	22,92	2,01			
T. alta		19	3,19	23,87	2,10			
T. alta		20	3,44	25,78	2,27			
T. alta		21	2,47	18,46	1,53			
T. alta		22	2,81	21,01	1,81			
T. alta		23	2,04	15,28	1,11			

T. alta		24	2,93	21,96	1,91			
T. alta		25	3,10	23,24	2,04			
T. alta		26	2,85	21,33	1,85			
T. alta		27	2,04	15,28	1,11			
T. alta		28	2,13	15,92	1,20			
T. alta		29	2,47	18,46	1,53			
T. alta		30	2,55	19,10	1,60			
T. baja		1	2,47	17,51	1,48			
T. baja		2	3,46	24,51	2,23			
T. baja		3	3,19	22,60	2,05			
T. baja		4	2,47	17,51	1,48			
T. baja		5	1,35	9,55	0,13			
T. baja		6	2,65	18,78	1,63			
T. baja		7	2,78	19,74	1,74			
T. baja		8	2,42	17,19	1,43			
T. baja		9	2,51	17,83	1,52			
T. baja		10	2,47	17,51	1,48			
T. baja		11	2,69	19,10	1,67			
T. baja		12	2,15	15,28	1,17			
T. baja		13	2,33	16,55	1,35			
T. baja		14	2,65	18,78	1,63			
T. baja		15	2,60	18,46	1,59			
T. baja	A	16	2,65	18,78	1,63	48,09	4,81	2,16
T. baja		17	2,96	21,01	1,88			
T. baja		18	2,29	16,23	1,31			
T. baja		19	2,65	18,78	1,63			
T. baja		20	2,78	19,74	1,74			
T. baja		21	2,42	17,19	1,43			
T. baja		22	2,65	18,78	1,63			
T. baja		23	2,96	21,01	1,88			
T. baja		24	3,19	22,60	2,05			
T. baja		25	2,47	17,51	1,48			
T. baja		26	2,65	18,78	1,63			
T. baja		27	2,78	19,74	1,74			
T. baja		28	2,60	18,46	1,59			
T. baja		29	2,96	21,01	1,88			
T. baja		30	3,10	21,96	1,98			
T. baja	B	1	2,20	15,60	1,22	51,13	5,11	2,30
T. baja		2	3,46	24,51	2,23			

T. baja		3	2,96	21,01	1,88			
T. baja		4	2,69	19,10	1,67			
T. baja		5	3,19	22,60	2,05			
T. baja		6	3,37	23,87	2,17			
T. baja		7	2,20	15,60	1,22			
T. baja		8	2,47	17,51	1,48			
T. baja		9	2,60	18,46	1,59			
T. baja		10	2,78	19,74	1,74			
T. baja		11	2,92	20,69	1,85			
T. baja		12	3,14	22,28	2,01			
T. baja		13	2,92	20,69	1,85			
T. baja		14	2,60	18,46	1,59			
T. baja		15	2,69	19,10	1,67			
T. baja		16	2,47	17,51	1,48			
T. baja		17	2,24	15,92	1,26			
T. baja		18	3,01	21,33	1,92			
T. baja		19	2,69	19,10	1,67			
T. baja		20	3,05	21,65	1,95			
T. baja		21	3,46	24,51	2,23			
T. baja		22	2,96	21,01	1,88			
T. baja		23	2,69	19,10	1,67			
T. baja		24	2,69	19,10	1,67			
T. baja		25	2,47	17,51	1,48			
T. baja		26	2,24	15,92	1,26			
T. baja		27	3,37	23,87	2,17			
T. baja		28	2,20	15,60	1,22			
T. baja		29	2,47	17,51	1,48			
T. baja		30	2,60	18,46	1,59			
T. baja		1	3,01	22,28	1,96			
T. baja		2	2,80	20,69	1,80			
T. baja		3	2,58	19,10	1,62			
T. baja		4	3,06	22,60	1,99			
T. baja		5	2,50	18,46	1,54			
T. baja	C	6	2,37	17,51	1,43	50,39	5,04	2,27
T. baja		7	2,67	19,74	1,69			
T. baja		8	2,58	19,10	1,62			
T. baja		9	2,84	21,01	1,83			
T. baja		10	3,06	22,60	1,99			
T. baja		11	2,50	18,46	1,54			

T. baja		12	2,37	17,51	1,43			
T. baja		13	2,80	20,69	1,80			
T. baja		14	2,84	21,01	1,83			
T. baja		15	2,58	19,10	1,62			
T. baja		16	2,50	18,46	1,54			
T. baja		17	2,63	19,42	1,66			
T. baja		18	2,41	17,83	1,46			
T. baja		19	2,50	18,46	1,54			
T. baja		20	3,01	22,28	1,96			
T. baja		21	2,80	20,69	1,80			
T. baja		22	2,58	19,10	1,62			
T. baja		23	2,63	19,42	1,66			
T. baja		24	2,41	17,83	1,46			
T. baja		25	2,84	21,01	1,83			
T. baja		26	3,06	22,60	1,99			
T. baja		27	2,50	18,46	1,54			
T. baja		28	2,50	18,46	1,54			
T. baja		29	2,63	19,42	1,66			
T. baja		30	2,41	17,83	1,46			
T. baja		1	2,70	19,10	1,67			
T. baja		2	2,93	20,69	1,85			
T. baja		3	3,15	22,28	2,02			
T. baja		4	2,61	18,46	1,60			
T. baja		5	2,70	19,10	1,67			
T. baja		6	2,25	15,92	1,27			
T. baja		7	2,48	17,51	1,48			
T. baja		8	2,70	19,10	1,67			
T. baja		9	2,61	18,46	1,60			
T. baja	D	10	2,97	21,01	1,89	52,79	5,28	2,38
T. baja		11	3,20	22,60	2,05			
T. baja		12	2,93	20,69	1,85			
T. baja		13	2,70	19,10	1,67			
T. baja		14	2,57	18,14	1,56			
T. baja		15	2,25	15,92	1,27			
T. baja		16	2,93	20,69	1,85			
T. baja		17	3,06	21,65	1,95			
T. baja		18	3,24	22,92	2,08			
T. baja		19	3,38	23,87	2,17			
T. baja		20	2,16	15,28	1,18			

T. baja		21	2,48	17,51	1,48			
T. baja		22	2,61	18,46	1,60			
T. baja		23	2,97	21,01	1,89			
T. baja		24	3,20	22,60	2,05			
T. baja		25	2,93	20,69	1,85			
T. baja		26	3,06	21,65	1,95			
T. baja		27	3,24	22,92	2,08			
T. baja		28	2,61	18,46	1,60			
T. baja		29	2,97	21,01	1,89			
T. baja		30	3,20	22,60	2,05			
T. media		1	2,80	19,10	1,72			
T. media		2	2,33	15,92	1,31			
T. media		3	3,31	22,60	2,09			
T. media		4	1,73	11,78	0,65			
T. media		5	2,80	19,10	1,72			
T. media		6	3,36	22,92	2,12			
T. media		7	2,94	20,05	1,83			
T. media		8	3,03	20,69	1,90			
T. media		9	3,08	21,01	1,93			
T. media		10	3,03	20,69	1,90			
T. media		11	3,36	22,92	2,12			
T. media		12	2,66	18,14	1,61			
T. media		13	2,94	20,05	1,83			
T. media		14	3,36	22,92	2,12			
T. media	A	15	2,99	20,37	1,86	56,14	5,61	2,53
T. media		16	3,27	22,28	2,06			
T. media		17	3,45	23,55	2,18			
T. media		18	3,17	21,65	2,00			
T. media		19	3,08	21,01	1,93			
T. media		20	3,17	21,65	2,00			
T. media		21	3,31	22,60	2,09			
T. media		22	3,22	21,96	2,03			
T. media		23	2,15	14,64	1,13			
T. media		24	3,13	21,33	1,97			
T. media		25	3,22	21,96	2,03			
T. media		26	3,22	21,96	2,03			
T. media		27	2,94	20,05	1,83			
T. media		28	3,50	23,87	2,22			
T. media		29	3,22	21,96	2,03			

T. media		30	3,03	20,69	1,90			
T. media		1	3,19	22,28	2,03			
T. media		2	2,46	17,19	1,46			
T. media		3	2,83	19,74	1,76			
T. media		4	3,10	21,65	1,97			
T. media		5	3,24	22,60	2,07			
T. media		6	2,78	19,42	1,73			
T. media		7	2,64	18,46	1,61			
T. media		8	2,73	19,10	1,69			
T. media		9	2,96	20,69	1,87			
T. media		10	3,01	21,01	1,90			
T. media		11	3,19	22,28	2,03			
T. media		12	2,64	18,46	1,61			
T. media		13	3,01	21,01	1,90			
T. media		14	3,37	23,55	2,15			
T. media		15	3,42	23,87	2,19			
T. media	B	16	3,10	21,65	1,97	57,14	5,71	2,57
T. media		17	2,73	19,10	1,69			
T. media		18	3,10	21,65	1,97			
T. media		19	3,19	22,28	2,03			
T. media		20	2,64	18,46	1,61			
T. media		21	2,96	20,69	1,87			
T. media		22	3,10	21,65	1,97			
T. media		23	3,19	22,28	2,03			
T. media		24	3,42	23,87	2,19			
T. media		25	3,19	22,28	2,03			
T. media		26	3,10	21,65	1,97			
T. media		27	2,96	20,69	1,87			
T. media		28	3,55	24,83	2,27			
T. media		29	3,19	22,28	2,03			
T. media		30	2,73	19,10	1,69			
T. media		1	2,62	19,10	1,64			
T. media		2	2,88	21,01	1,85			
T. media		3	2,96	21,65	1,91			
T. media	C	4	3,05	22,28	1,97	55,93	5,59	2,52
T. media		5	3,23	23,55	2,10			
T. media		6	2,70	19,74	1,70			
T. media		7	2,96	21,65	1,91			
T. media		8	3,05	22,28	1,97			

T. media		9	2,88	21,01	1,85			
T. media		10	2,62	19,10	1,64			
T. media		11	2,57	18,78	1,59			
T. media		12	2,83	20,69	1,81			
T. media		13	2,96	21,65	1,91			
T. media		14	3,05	22,28	1,97			
T. media		15	3,27	23,87	2,13			
T. media		16	3,31	24,19	2,16			
T. media		17	3,05	22,28	1,97			
T. media		18	2,96	21,65	1,91			
T. media		19	2,57	18,78	1,59			
T. media		20	2,83	20,69	1,81			
T. media		21	2,96	21,65	1,91			
T. media		22	3,05	22,28	1,97			
T. media		23	2,44	17,83	1,48			
T. media		24	2,83	20,69	1,81			
T. media		25	2,96	21,65	1,91			
T. media		26	3,05	22,28	1,97			
T. media		27	2,53	18,46	1,56			
T. media		28	2,88	21,01	1,85			
T. media		29	2,96	21,65	1,91			
T. media		30	3,31	24,19	2,16			
T. media		1	3,18	22,28	2,03			
T. media		2	3,00	21,01	1,90			
T. media		3	2,95	20,69	1,86			
T. media		4	2,73	19,10	1,69			
T. media		5	3,23	22,60	2,06			
T. media		6	3,45	24,19	2,21			
T. media		7	2,95	20,69	1,86			
T. media		8	3,09	21,65	1,96			
T. media	D	9	3,18	22,28	2,03	56,44	5,64	2,54
T. media		10	2,73	19,10	1,69			
T. media		11	2,95	20,69	1,86			
T. media		12	3,00	21,01	1,90			
T. media		13	2,64	18,46	1,61			
T. media		14	2,73	19,10	1,69			
T. media		15	2,95	20,69	1,86			
T. media		16	3,09	21,65	1,96			
T. media		17	3,18	22,28	2,03			

T. media	18	3,27	22,92	2,09
T. media	19	2,68	18,78	1,65
T. media	20	2,95	20,69	1,86
T. media	21	3,09	21,65	1,96
T. media	22	2,23	15,60	1,24
T. media	23	2,27	15,92	1,28
T. media	24	3,09	21,65	1,96
T. media	25	3,18	22,28	2,03
T. media	26	3,41	23,87	2,18
T. media	27	3,00	21,01	1,90
T. media	28	3,09	21,65	1,96
T. media	29	3,18	22,28	2,03
T. media	30	3,27	22,92	2,09

Tabla 14. Biomasa y carbono herbáceo-arbustivo de las parcelas de Huanganapampa.

Localidad	Transecto	PFT(g)	PFM(g)	PSM(g)	Biomasa (ton/ha)	Biomasa (ton/ha)	Carbono (ton/ha)	
Terraza alta	A1	439,71	135,18	48,41	1,57	1,05	0,47	
	A2	197,94	123,62	32,31	0,52			
	B1	368,1	105,62	30,53	1,06	1,08	0,49	
	B2	416,5	135,87	35,61	1,09			
	C1	258,67	116,42	29,87	0,66	0,8	0,36	
	C2	316,74	125,36	36,92	0,93			
	D1	428,56	109,57	28,56	1,12	1,13	0,51	
	D2	375,68	138,45	41,82	1,13			
	E1	404,45	188,79	64,05	1,37	1,69	0,76	
	E2	446,82	155,25	69,70	2,01			
Terraza baja	F1	515,62	135,78	46,56	1,77	1,47	0,66	
	FE	457,89	120,62	30,71	1,17			
	G1	415,53	138,47	38,64	1,16	1,25	0,56	
	G2	487,46	150,59	41,52	1,34			
	H1	560,45	130,67	32,68	1,4	1,29	0,58	
	H2	510,89	120,95	27,92	1,18			
	I1	606,31	124,65	46,05	2,24	1,77	0,8	
	I2	497,46	85,93	22,33	1,29			
	Terraza media	J1	625,86	155,67	51,53	2,07	2,03	0,91
		J2	586,79	125,89	42,53	1,98		
K1		485,56	130,65	45,57	1,69	1,89	0,85	
K2		595,76	141,53	49,67	2,09			
L1		485,69	110,23	30,23	1,33	1,47	0,66	
L2		510,82	90,5	28,59	1,61			

Tabla 15. Biomasa y carbono de la hojarasca de las parcelas en Huanganapampa.

Localidad	Transecto	PFTH(g)	PFH(g)	PSH(g)	Biomasa (ton/ha) por muestra	Biomasa (ton/ha)	Carbono (ton/ha)
Terraza alta	A1	189,5	77,89	57,56	5,6	7,72	3,48
	A2	305,81	90,66	72,82	9,83		
	B1	210,65	120,54	65,63	4,59	5,71	2,57
	B2	315,89	130,62	70,54	6,82		
	C1	285,71	105,89	55,81	6,02	6,85	3,09
	C2	365,75	140,32	73,58	7,67		
	D1	278,54	115,81	67,32	6,48	7,08	3,19
	D2	360,84	136,58	72,57	7,67		
Terraza baja	E1	192,72	62,05	43,71	5,43	3,97	1,79
	E2	128,77	80,16	38,99	2,51		
	F1	185,34	95,63	55,67	4,32	3,65	1,64
	F2	140,89	120,54	63,42	2,97		
	G1	210,62	110,43	60,37	4,61	4,18	1,88
	G2	160,86	88,56	51,68	3,75		
	H1	158,75	130,67	73,89	3,59	3,95	1,78
	H2	195,84	128,46	70,62	4,31		
Terraza media	I1	125,69	146,01	31,42	1,08	2,47	1,11
	I2	120,61	60,25	48,2	3,86		
	J1	165,75	102,48	58,65	3,79	3,96	1,78
	J2	180,43	90,54	51,75	4,13		
	K1	135,65	100,61	60,54	3,26	3,67	1,65
	K2	173,57	120,49	70,82	4,08		
	L1	137,83	85,65	51,54	3,32	3,26	1,47
	L2	148,54	90,47	48,68	3,2		

Tabla 16. Biomasa y carbono radicular de las parcelas en Huanganapampa.

Localidad	Trans.	Prof.	PFT(g)	PFM(g)	PSR(g)	PSR(kg)	Biomasa	Biomasa	Biomasa	Carbono
							por estrato (ton/ha)	por muestra (ton/ha)		
Terraza alta	A1	0-10	74,89	74,89	20,41	0,02041	0,82			
	A1	10-20	12,03	12,03	4,18	0,00418	0,17	1,14		
	A1	20-30	8,39	8,39	3,98	0,00398	0,16		2,14	0,9634
	A2	0-10	143,31	143,31	71,77	0,07177	2,87			
	A2	10-20	16,66	16,66	4,59	0,00459	0,18	3,13		
	A2	20-30	4,37	4,37	2,01	0,00201	0,08			
	B1	0-10	125,6	125,6	51,67	0,05167	2,07			
	B1	10-20	28,54	28,54	10,32	0,01032	0,41	2,62		
	B1	20-30	10,72	10,72	3,56	0,00356	0,14		2,73	1,2314
	B2	0-10	136,43	136,43	59,34	0,05934	2,37			
	B2	10-20	21,56	21,56	8,56	0,00856	0,34	2,85		
	B2	20-30	8,74	8,74	3,24	0,00324	0,13			
	C1	0-10	186,45	186,45	85,79	0,08579	3,43			
	C1	10-20	40,52	40,52	15,57	0,01557	0,62	4,26		
	C1	20-30	15,23	15,23	5,21	0,00521	0,21		3,79	1,7082
	C2	0-10	135,76	135,76	67,34	0,06734	2,69			
	C2	10-20	25,6	25,6	10,59	0,01059	0,42	3,32		
	C2	20-30	12,39	12,39	5,12	0,00512	0,20			
	D1	0-10	170,54	170,54	53,48	0,05348	2,14			
	D1	10-20	30,76	30,76	9,53	0,00953	0,38	2,75		
	D1	20-30	15,62	15,62	5,86	0,00586	0,23		2,47	1,1135
	D2	0-10	120,53	120,53	42,63	0,04263	1,71			
	D2	10-20	25,48	25,48	7,45	0,00745	0,30	2,19		
	D2	20-30	12,52	12,52	4,65	0,00465	0,19			
E1	0-10	41,75	41,75	12,21	0,01221	0,49				
E1	10-20	10,38	10,38	2,42	0,00242	0,10	0,68			
E1	20-30	6,24	6,24	2,33	0,00233	0,09		0,57	0,2561	
E2	0-10	14,91	14,91	7,12	0,00712	0,28				
E2	10-20	8,64	8,64	3,10	0,0031	0,12	0,46			
E2	20-30	4,70	4,70	1,25	0,00125	0,05				
F1	0-10	68,72	68,72	28,75	0,02875	1,15				
F1	10-20	15,32	15,32	5,64	0,00564	0,23	1,50			
F1	20-30	7,56	7,56	3,21	0,00321	0,13		1,72	0,7725	
F2	0-10	89,64	89,64	30,72	0,03072	1,23	1,93			

	F2	10-20	30,27	30,27	11,57	0,01157	0,46			
	F2	20-30	15,58	15,58	5,86	0,00586	0,23			
	G1	0-10	95,71	95,71	31,54	0,03154	1,26			
	G1	10-20	26,45	26,45	8,32	0,00832	0,33	1,76		
	G1	20-30	12,23	12,23	4,23	0,00423	0,17		1,49	0,6718
	G2	0-10	68,36	68,36	25,78	0,02578	1,03			
	G2	10-20	9,85	9,85	3,15	0,00315	0,13	1,22		
	G2	20-30	4,97	4,97	1,55	0,00155	0,06			
	H1	0-10	89,74	89,74	27,89	0,02789	1,12			
	H1	10-20	28,63	28,63	8,63	0,00863	0,35	1,57		
	H1	20-30	7,56	7,56	2,71	0,00271	0,11		1,93	0,8690
	H2	0-10	120,58	120,58	38,69	0,03869	1,55			
	H2	10-20	40,52	40,52	12,83	0,01283	0,51	2,29		
	H2	20-30	15,23	15,23	5,72	0,00572	0,23			
	I1	0-10	15,69	24,25	8,39	0,00839	0,34			
	I1	10-20	24,25	15,69	5,21	0,00521	0,21	0,56		
	I1	20-30	2,35	2,35	0,37	0,00037	0,01		0,43	0,1945
	I2	0-10	11,35	12,26	3,77	0,00377	0,15			
	I2	10-20	12,26	11,35	3,09	0,00309	0,12	0,31		
	I2	20-30	6,25	6,25	0,77	0,00077	0,03			
	J1	0-10	39,56	39,56	13,56	0,01356	0,54			
	J1	10-20	14,65	14,65	5,64	0,00564	0,23	0,88		
	J1	20-30	8,51	8,51	2,83	0,00283	0,11		0,90	0,4045
	J2	0-10	48,79	48,79	12,73	0,01273	0,51			
	J2	10-20	20,36	20,36	6,89	0,00689	0,28	0,92		
	J2	20-30	9,76	9,76	3,26	0,00326	0,13			
Terraza	K1	0-10	55,86	55,86	18,59	0,01859	0,74			
media	K1	10-20	16,9	16,9	6,35	0,00635	0,25	1,11		
	K1	20-30	7,53	7,53	2,84	0,00284	0,11		1,06	0,4775
	K2	0-10	55,61	55,61	15,89	0,01589	0,64			
	K2	10-20	18,74	18,74	6,24	0,00624	0,25	1,01		
	K2	20-30	8,64	8,64	3,1	0,0031	0,12			
	L1	0-10	39,56	39,56	12,83	0,01283	0,51			
	L1	10-20	16,75	16,75	5,72	0,00572	0,23	0,85		
	L1	20-30	8,32	8,32	2,59	0,00259	0,10		1,23	0,5548
	L2	0-10	66,59	66,59	26,54	0,02654	1,06			
	L2	10-20	27,48	27,48	8,74	0,00874	0,35	1,62		
	L2	20-30	12,63	12,63	5,17	0,00517	0,21			

Tabla 17. Densidad aparente, peso del volumen seco y carbono del suelo de las parcelas de Huanganapampa.

Localidad	TRANS	COD	Prof. (cm)	Pfresco suelo	Pseco suelo	VC	DA (g/cc) por estrato	DA (g/cc) por muestra	DA (g/cc)	M,O, (%)	Peso del volumen de suelo (ton/ha) por estrato	Peso del volumen de suelo (ton/ha) por muestra	Peso del volumen de suelo (ton/ha)	Carbono por estrato (ton/ha)	Carbono por muestra (ton/ha)	Carbono (ton/ha)
Terraza alta	A	A1	0-10	258,43	98,84	137,44	0,72			2,06	719,15			119,60		
		A1	10-20	265,73	123,92	137,44	0,90	0,90		1,06	901,63	898,14		61,61	79,73	
		A1	20-30	296,09	147,56	137,44	1,07		0,89	1,00	1073,63		892,29	57,99		63,62
	A	A2	0-10	266,04	99,44	137,44	0,72			1,25	723,52			72,49		
		A2	10-20	292,02	125,57	137,44	0,91	0,89		0,69	913,64	886,45		39,87	47,51	
		A2	20-30	309,28	140,49	137,44	1,02			0,52	1022,19			30,16		
	B	B1	0-10	266,87	102,50	137,44	0,75			2,60	745,78			150,81		
		B1	10-20	275,67	145,64	137,44	1,06	1,00		1,10	1059,66	1003,76		63,81	85,07	
		B1	20-30	310,53	165,73	137,44	1,21		0,97	0,70	1205,84		968,75	40,60		92,13
	B	B2	0-10	285,12	98,54	137,44	0,72			3,10	716,97			179,81		
		B2	10-20	298,39	130,63	137,44	0,95	0,93		1,28	950,45	933,74		74,25	99,19	
		B2	20-30	320,51	155,83	137,44	1,13			0,75	1133,80			43,50		
	C	C1	0-10	278,34	110,54	137,44	0,80			2,35	804,28			136,31		
		C1	10-20	295,76	148,78	137,44	1,08	1,04		1,05	1082,51	1037,23		60,90	75,99	
		C1	20-30	318,53	168,35	137,44	1,22		1,04	0,53	1224,90		1038,62	30,74		85,17
	C	C2	0-10	268,35	120,47	137,44	0,88			2,85	876,53			165,31		
		C2	10-20	279,12	149,56	137,44	1,09	1,04		1,30	1088,18	1040,02		75,41	94,35	
		C2	20-30	305,67	158,79	137,44	1,16			0,73	1155,34			42,34		
	D	D1	0-10	276,32	110,83	137,44	0,81			1,85	806,39			107,31		
		D1	10-20	289,46	151,40	137,44	1,10	1,05		0,98	1101,57	1047,44		56,84	61,48	
D1		20-30	318,36	169,65	137,44	1,23		1,04	0,35	1234,36		1040,02	20,30		78,89	
D	D2	0-10	273,18	103,78	137,44	0,76	1,03		2,75	755,09	1032,60		159,51	96,29		

		D2	10-20	298,48	151,64	137,44	1,10			1,40	1103,32		81,21		
		D2	20-30	320,83	170,34	137,44	1,24			0,83	1239,38		48,14		
		E1	0-10	290,56	124,95	137,44	0,91			1,50	909,12		86,98		
	E	E1	10-20	322,42	150,73	137,44	1,10	1,09		1,19	1096,70	1093,64	68,86	62,82	
		E1	20-30	247,29	175,25	137,44	1,28		1,09	0,56	1275,10		32,62	77,32	
		E2	0-10	289,62	109,66	137,44	0,80			2,87	797,88	1086,66	166,72		
	E	E2	10-20	332,70	163,52	137,44	1,19	1,08		1,06	1189,76	1079,67	61,61	91,82	
		E2	20-30	339,55	171,99	137,44	1,25			0,81	1251,38		47,12		
		F1	0-10	286,64	118,65	137,44	0,86			2,76	863,29		160,09		
	F	F1	10-20	298,75	145,78	137,44	1,06	1,05		1,05	1060,68	1054,40	60,90	88,17	
		F1	20-30	331,63	170,32	137,44	1,24		1,06	0,75	1239,23		43,50	88,65	
		F2	0-10	270,87	120,69	137,44	0,88			2,66	878,13	1059,99	154,29		
	F	F2	10-20	296,71	151,78	137,44	1,10	1,07		1,15	1104,34	1065,58	66,71	89,13	
		F2	20-30	321,69,	166,89	137,44	1,21			0,80	1214,28		46,40		
Terraza		G1	0-10	258,60	112,75	137,44	0,82			2,58	820,36		149,65		
baja	G	G1	10-20	295,34	145,62	137,44	1,06	1,06		1,30	1059,52	1060,17	75,41	88,17	
		G1	20-30	340,56	178,76	137,44	1,30		1,04	0,68	1300,64		39,44	93,00	
		G2	0-10	275,79	112,64	137,44	0,82			2,85	819,56	1042,21	165,31		
	G	G2	10-20	289,63	140,89	137,44	1,03	1,02		1,36	1025,10	1024,25	78,89	97,83	
		G2	20-30	340,59	168,79	137,44	1,23			0,85	1228,10		49,30		
		H1	0-10	297,62	108,62	137,44	0,79			1,89	790,31		109,63		
	H	H1	10-20	305,67	135,78	137,44	0,99	1,01		0,95	987,92	1006,33	55,10	64,19	
		H1	20-30	361,76	170,53	137,44	1,24		1,01	0,48	1240,76		27,84	76,18	
		H2	0-10	275,49	108,78	137,44	0,79			2,68	791,47	1011,19	155,45		
	H	H2	10-20	298,39	140,63	137,44	1,02	1,02		1,1	1023,21	1016,06	63,81	88,17	
		H2	20-30	320,64	169,53	137,44	1,23			0,78	1233,48		45,24		
Terraza		I1	0-10	286,5	133,51	137,44	0,97			1,25	971,41		72,49		
media	I	I1	10-20	298,7	143,74	137,44	1,05	1,07	1,04	0,75	1045,84	1068,22	43,49	41,08	50,74

	I1	20-30	295	163,2	137,44	1,19			0,12	1187,43		7,25	
	I2	0-10	278,8	112,3	137,44	0,82			1,62	817,08		94,23	
I	I2	10-20	298,40	142,87	137,44	1,04	1,02		1,06	1039,51	1016,20	61,61	60,40
	I2	20-30	316,70	163,83	137,44	1,19			0,44	1192,01		25,37	
	J1	0-10	276,5	118,24	137,44	0,86			1,85	860,30		107,31	
J	J1	10-20	298,7	150,45	137,44	1,09	1,08		0,93	1094,66	1079,33	53,94	59,16
	J1	20-30	320,6	176,34	137,44	1,28		1,05	0,28	1283,03		16,24	59,55
	J2	0-10	286,5	108,79	137,44	0,79			1,93	791,55	1052,92	111,95	
J	J2	10-20	298,6	145,67	137,44	1,06	1,03		0,85	1059,88	1026,51	49,30	59,94
	J2	20-30	350,6	168,79	137,44	1,23			0,32	1228,10		18,56	
	K1	0-10	276,5	105,7	137,44	0,77			1,81	769,06		104,99	
K	K1	10-20	295,3	148,68	137,44	1,08	1,04		0,85	1081,78	1042,66	49,30	58,78
	K1	20-30	348,6	175,53	137,44	1,28		1,05	0,38	1277,14		22,04	67,77
	K2	0-10	268,3	110,76	137,44	0,81			2,25	805,88	1054,86	130,51	
K	K2	10-20	287,5	150,67	137,44	1,10	1,07		1,05	1096,26	1067,06	60,90	76,76
	K2	20-30	338,6	178,54	137,44	1,30			0,67	1299,04		38,86	
	L1	0-10	249,3	120,64	137,44	0,88			2,30	877,76		133,41	
L	L1	10-20	300,5	152,43	137,44	1,11	1,10		1,21	1109,07	1095,17	70,19	81,98
	L1	20-30	348,5	178,49	137,44	1,30		1,08	0,73	1298,68		42,34	78,11
	L2	0-10	285,7	108,51	137,44	0,79			2,07	789,51	1079,57	120,07	
L	L2	10-20	298,8	151,47	137,44	1,10	1,06		1,15	1102,08	1063,98	66,71	74,25
	L2	20-30	360,5	178,72	137,44	1,30			0,62	1300,35		35,96	

Tabla 18. Características de la temperatura, humedad relativa y luminosidad en las parcelas de Huanganapampa.

TRANSECTO	Puntos	Dentro de la parcela			Fuera de la parcela			Dentro de la parcela			Fuera de la parcela			
		T°	H R°	Luminosidad (50000)	T°	H R°	Luminosidad (50000)	T°	H R°	Luminosidad	T°	H R°	Luminosidad	
Terraza alta	P1	28,0	58	046x10x100	29,6	57	160x10x100							
	P2	28,6	60	036x10x100	29,5	56	165x10x100							
	A	P3	28,1	59	031x10x100	29,2	53	216x10x100	28,88	58,4	41x10x100	29,88	54,40	232,80x10x100
	P4	29,9	57	035x10x100	30,2	51	293x10x100							
	P5	29,8	58	057x10x100	30,2	55	330x10x100							
	P1	28,5	60	031x10x100	30,6	55	298x10x100							
	P2	27,9	62	033x10x100	30,3	56	335x10x100							
	B	P3	28,3	61	031x10x100	29,9	55	358x10x100	28,16	60,8	32,2x10x100	30,36	55,60	334x10x100
	P4	27,8	59	034x10x100	30,8	57	390x10x100							
	P5	28,3	62	032x10x100	30,2	55	289x10x100							
	P1	28,6	61	035x10x100	30,6	56	385x10x100							
	P2	28,8	63	040x10x100	30,5	58	398x10x100							
	C	P3	29,1	62	038x10x100	30,9	55	356x10x100	28,68	61,4	38x10x100	30,54	56,00	364,40x10x100
	P4	28,7	60	042x10x100	29,8	56	298x10x100							
	P5	28,2	61	035x10x100	30,9	55	385x10x100							
P1	28,1	63	031x10x100	30,8	51	392x10x100								
D	P2	28,8	62	033x10x100	30,6	50	385x10x100	28,58	62	32x10x100	30,52	50,80	382,60x10x100	
P3	29,1	60	030x10x100	30,5	52	398x10x100								

	P4	28,6	64	035x10x100	30,1	50	360x10x100							
	P5	28,3	61	031x10x100	30,6	51	378x10x100							
	P1	31,6	48	041x10x100	31,7	49	452x10x100							
	P2	31,2	49	053x10x100	31,9	51	477x10x100							
E	P3	31,1	49	032x10x100	31,2	50	460x10x100	31,36	48	42,2x10x100	31,46	50,00	458,60x10x100	
	P4	31,4	46	043x10x100	31,2	49	434x10x100							
	P5	31,5	48	042x10x100	31,3	51	470x10x100							
	P1	30,5	50	048x10x100	31,7	49	485x10x100							
	P2	30,6	51	049x10x100	31,5	48	495x10x100							
F	P3	31,1	52	053x10x100	31,8	50	510x10x100	30,58	50,8	49,8x10x100	31,68	48,80	501x10x100	
	P4	30,2	50	049x10x100	31,9	48	520x10x100							
	P5	30,5	51	050x10x100	31,5	49	495x10x100							
Terraza baja	P1	29,9	52	048x10x100	31,8	46	490x10x100							
	P2	30,1	51	053x10x100	31,6	48	495x10x100							
G	P3	30,2	53	047x10x100	31,7	45	510x10x100	30,04	52,2	48,2x10x100	31,50	47,00	506x10x100	
	P4	29,8	54	045x10x100	30,9	47	515x10x100							
	P5	30,2	51	048x10x100	31,5	49	520x10x100							
	P1	30,3	50	050x10x100	31,6	48	485x10x100							
	P2	29,8	53	051x10x100	31,8	47	490x10x100							
H	P3	30,5	54	048x10x100	31,9	48	505x10x100	30,4	53	51,6x10x100	31,74	47,80	495x10x100	
	P4	30,2	55	053x10x100	31,6	47	510x10x100							
	P5	31,2	53	056x10x100	31,8	49	485x10x100							
I	P1	32,8	48	042x10x100	32,9	47	443x10x100	33,08	49,4	48,4x10x100	33,24	51,40	435,20x10x100	

Terraza media		P2	33,2	51	033x10x100	33,1	55	442x10x100						
		P3	33,1	51	072x10x100	33,2	55	412x10x100						
		P4	33,1	45	063x10x100	33,5	48	432x10x100						
		P5	33,2	52	032x10x100	33,5	52	447x10x100						
		P1	32,5	60	055x10x100	32,9	50	480x10x100						
		P2	33,6	62	048x10x100	33,8	51	490x10x100						
	J	P3	32,4	65	060x10x100	32,9	48	510x10x100	32,1	62	58,8x10x100	32,98	49,60	494x10x100
		P4	31,5	61	063x10x100	32,6	49	505x10x100						
		P5	30,5	62	068x10x100	32,7	50	485x10x100						
		P1	30,6	58	070x10x100	32,5	48	520x10x100						
		P2	30,5	60	068x10x100	32,6	49	510x10x100						
	K	P3	29,5	61	073x10x100	31,8	50	485x10x100	30,18	60,8	70,8x10x100	32,28	49,00	500x10x100
		P4	30,1	63	075x10x100	31,9	51	475x10x100						
		P5	30,2	62	068x10x100	32,6	47	510x10x100						
		P1	29,5	61	066x10x100	31,8	48	560x10x100						
		P2	29,6	63	048x10x100	31,9	43	485x10x100						
	L	P3	28,5	61	065x10x100	32,6	50	495x10x100	29,14	61,6	63,6x10x100	32,34	48,00	509x10x100
		P4	28,6	60	070x10x100	32,6	51	510x10x100						
		P5	29,5	63	069x10x100	32,8	48	495x10x100						



Figura 7. Vista del área experimental terraza baja.



Figura 8. Vista del área experimental terraza baja.



Figura 9. Evaluación de biomasa en las unidades de muestreo.



Figura 10. Medición de la circunferencia del cultivo de plátano.



Figura 11. Toma de medida de circunferencia en otros cultivos.



Figura 12. Toma de medida de circunferencia en árboles forestales.



Figura 13. Toma de registro de especies vegetales dentro de las áreas de muestreo.



Figura 14. Apertura de monolitos de 40 x 40 cm.



Figura 15. Muestreo de biomasa fresca y seca.



Figura 16. Determinación de la densidad aparente del suelo.



Figura 17. Muestreo raíces en el suelo y pH



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

Carretera Central Km 1.21 - Tingo María - CELULAR 944407531

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

analisisdesuelosunas@hotmail.com



ANÁLISIS DE SUELOS

SOLICITANTE: WILFREDO ZAVALA SOLORZANO																							
DATOS		ANÁLISIS MECÁNICO				pH	CE	M.O.	N	P disponible	K	CAMBIABLES											
N°	CODIGO DEL LAB.	REFERENCIA	Arena %	Arcilla %	Limo %	Textura	1:1	dS/cm	%	%	ppm	ppm	CIC	Ca	Mg	K	Cmol(+) / kg			CICe	% Bas. Camb.	% Ac. Camb.	% Sat. Al
1	S01843	ZA TERRAZA ALTA	53	32	15	Franco Arcillo Arenoso	4,50	0,114	2,28	0,11	4,32	73	---	1,12	0,16	0,13	0,04	0,41	5,71	7,58	19	81	5
2	S01844	ZB TERRAZA BAJA 1	35	20	45	Franco	6,09	0,250	2,06	0,10	8,17	122	6,75	5,34	1,00	0,35	0,06	0,00	0,00	6,75	100	0	0
3	S01845	ZC TERRAZA BAJA 2	61	8	31	Franco Arenoso	6,59	0,193	1,90	0,09	7,77	130	7,40	5,97	1,00	0,37	0,06	0,00	0,00	7,40	100	0	0

MUESTREO POR EL SOLICITANTE
TRABAJO DE INVESTIGACION
TINGO MARIA, 30 DE NOVIEMBRE 2022

Figura 18. Análisis de caracterización de los suelos.

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
 Carretera Central Km 1.21 - Tingo María - CELULAR 944407531
 Facultad de Agronomía - Laboratorio de Análisis de Suelos, Agua y Ecotoxicología
analisisdesuelosunas@hotmail.com

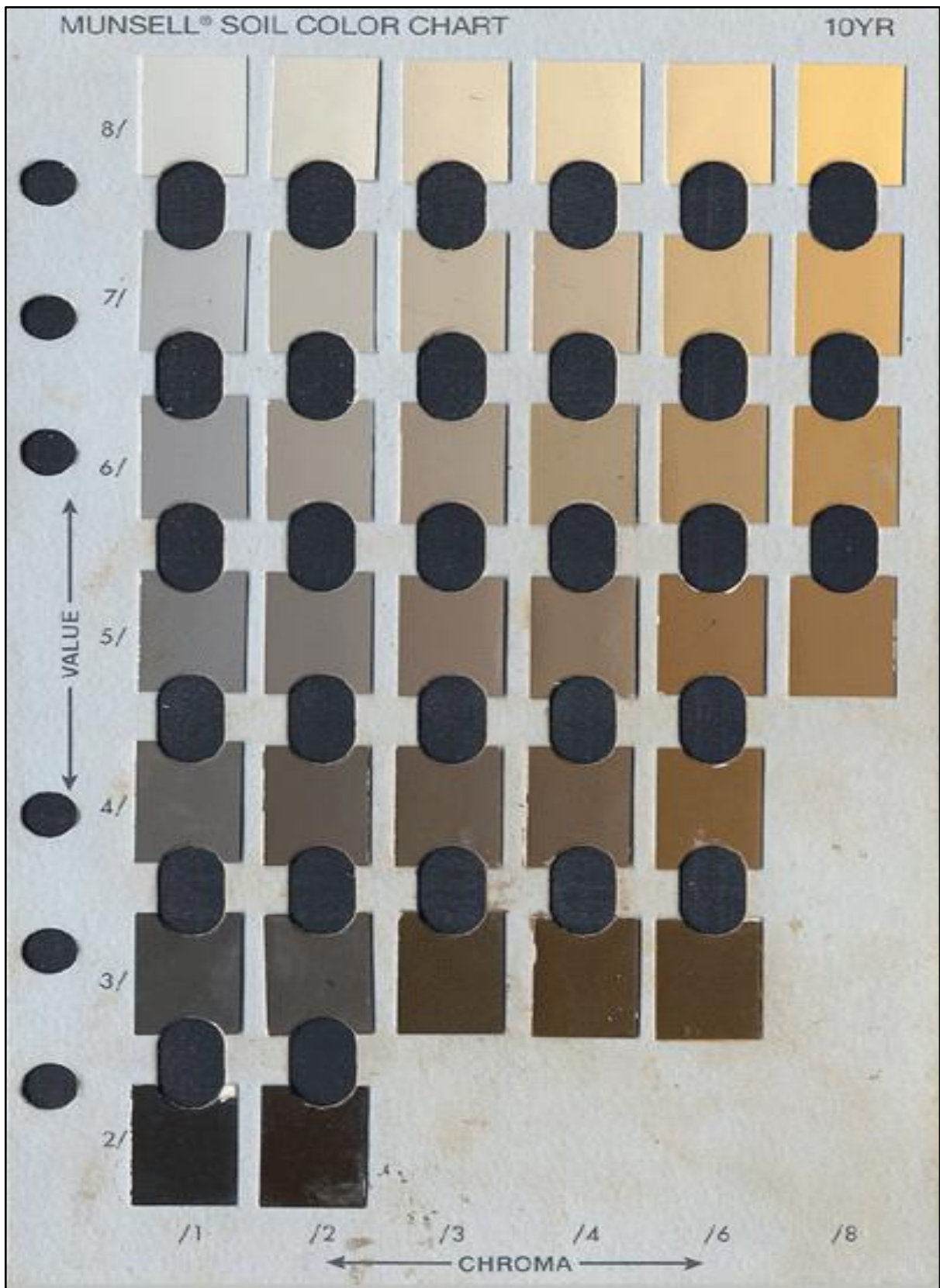



ANÁLISIS DE SUELOS

SOLICITANTE: DR. WILFREDO ZAVALA SOLORZANO					
N°	DATOS			M.O.	N
	CODIGO DEL LAB.	REFERENCIA	PROFUNDIDAD cm	%	%
1	Z1	C1	0 - 10	2,062	0,103
2	Z2	C1	10 - 20.	1,062	0,053
3	Z3	C1	20 - 30	1,000	0,050
4	Z4	C2	0 - 10	1,250	0,062
5	Z5	C2	10 - 20.	0,687	0,034
6	Z6	C2	20 - 30	0,062	0,003
7	Z7	C3	0 - 10	1,500	0,075
8	Z8	C4	10 - 20.	1,187	0,059
9	Z9	C5	20 - 30	0,562	0,028
10	Z10	C6	0 - 10	2,874	0,144
11	Z11	C7	10 - 20.	1,062	0,053
12	Z12	C8	20 - 30	0,812	0,041
13	Z13	C9	0 - 10	1,250	0,062
14	Z14	C10	10 - 20.	0,750	0,037
15	Z15	C11	20 - 30	0,125	0,006
16	Z16	C12	0 - 10	1,625	0,081
17	Z17	C12	10 - 20.	1,062	0,053
18	Z18	C12	20 - 30	0,437	0,022

MUESTREADO POR EL SOLICITANTE
 TRABAJO DE INVESTIGACION
 FECHA: TINGO MARIA 30 DE NOVIEMBRE 2022

Figura 19. Análisis de materia orgánica y nitrógeno en el suelo.



Fuente: http://edafologia.ugr.es/programas_suelos/practclas/abcsol/comun/munsells.htm

Figura 20. Tabla de color de Munsell usado en la descripción de suelo.