

UNIVERSIDAD CATÓLICA SEDES SAPIENTIAE
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS Y AMBIENTALES



Asociación benéfica entre los hongos micorrízicos y las especies
vegetales para el almacenamiento de carbono en cultivos de café en
Moyobamba

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO AMBIENTAL**

AUTORES

Tania Mar Sánchez Apaestegui

Liam Neeson Ruiz Ponce

ASESOR

Geomar Vallejos Torres

Rioja, Perú

2024

METADATOS COMPLEMENTARIOS

Datos de los Autores

Autor 1

Nombres	
Apellidos	
Tipo de documento de identidad	
Número del documento de identidad	
Número de Orcid (opcional)	

Autor 2

Nombres	
Apellidos	
Tipo de documento de identidad	
Número del documento de identidad	
Número de Orcid (opcional)	

Autor 3

Nombres	
Apellidos	
Tipo de documento de identidad	
Número del documento de identidad	
Número de Orcid (opcional)	

Autor 4

Nombres	
Apellidos	
Tipo de documento de identidad	
Número del documento de identidad	
Número de Orcid (opcional)	

Datos de los Asesores

Asesor 1

Nombres	
Apellidos	
Tipo de documento de identidad	
Número del documento de identidad	
Número de Orcid (Obligatorio)	

Asesor 2

Nombres	
Apellidos	
Tipo de documento de identidad	
Número del documento de identidad	
Número de Orcid (Obligatorio)	

Datos del Jurado

Presidente del jurado

Nombres	
Apellidos	
Tipo de documento de identidad	
Número del documento de identidad	

Segundo miembro

Nombres	
Apellidos	
Tipo de documento de identidad	
Número del documento de identidad	

Tercer miembro

Nombres	
Apellidos	
Tipo de documento de identidad	
Número del documento de identidad	

Datos de la Obra

Materia*	
Campo del conocimiento OCDE Consultar el listado:	
Idioma	
Tipo de trabajo de investigación	
País de publicación	
Recurso del cual forma parte (opcional)	
Nombre del grado	
Grado académico o título profesional	
Nombre del programa	
Código del programa Consultar el listado:	

***Ingresar las palabras clave o términos del lenguaje natural (no controladas por un vocabulario o tesauro).**

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

ACTA N° 032 - 2024/UCSS/FCAA/DI

Siendo las 09:00 a.m. del martes 16 de julio de 2024 a través de la plataforma virtual zoom de la Universidad Católica Sedes Sapientiae, el Jurado de Tesis integrado por:

- | | |
|-----------------------------------|-----------------|
| 1. Katerin Manuelita Encina Oliva | presidente |
| 2. Alejandro Ruiz Janje | primer miembro |
| 3. Juan José Monroy Ramos | segundo miembro |
| 4. Geomar Vallejos Torres | asesor(a) |

Se reunieron para la sustentación virtual de la tesis titulada:

Asociación benéfica entre los hongos micorrízicos y los árboles para el almacenamiento de carbono en cultivos de café en Moyobamba

Que presentan los bachilleres en **Ciencias Ambientales**:

Tania Mar Sánchez Apaestegui
Liam Neeson Ruiz Ponce

Cumpliendo así con los requerimientos exigidos por el reglamento para la modalidad de titulación; la presentación y sustentación de un trabajo de investigación original, para obtener el Título Profesional de **Ingeniero Ambiental**.

Terminada la sustentación y luego de deliberar, el jurado acuerda:

APROBAR	X
DESAPROBAR	...

La tesis, con el calificativo de **BUENA** y eleva la presente acta al decanato de la Facultad de Ciencias Agrarias y Ambientales, a fin de que se declare EXPEDITA para conferirle el TÍTULO de INGENIERO AMBIENTAL.

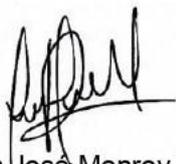
Lima, 16 de julio de 2024.



Katerin Manuelita Encina Oliva
Presidente



Alejandro Ruiz Janje
1° miembro



Juan José Monroy Ramos
2° miembro



Geomar Vallejos Torres
Asesor(a)

Anexo 2

CARTA DE CONFORMIDAD DEL ASESOR(A) DE TESIS / INFORME ACADÉMICO/ TRABAJO DE INVESTIGACIÓN/ TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL CON INFORME DE EVALUACIÓN DEL SOFTWARE ANTIPLAGIO

Nueva Cajamarca, 15 de julio de 2024

Señor(a),
Wilfredo Mendoza Caballero
Jefe del Departamento de Investigación
Facultad de Ciencias Agrarias y Ambientales

Reciba un cordial saludo.

Sirva el presente para informar que **la tesis** / informe académico/ trabajo de investigación/ trabajo de suficiencia profesional, bajo mi asesoría, con **título:** Asociación benéfica entre los hongos micorrízicos y las especies vegetales para el almacenamiento de carbono en cultivos de café en Moyobamba, presentado por la **Bach. Tania Mar Sánchez Apaestegui** (código de estudiante 2014101876 y DNI 73452720) y el **Bach. Liam Neeson Ruiz Ponce** (código de estudiante 2014101874 y DNI 74639568) para optar el **título profesional** de Ingeniero Ambiental ha sido revisado en su totalidad por mi persona y **CONSIDERO** que el mismo se encuentra **APTO** para ser sustentado ante el Jurado Evaluador.

Asimismo, para garantizar la originalidad del documento en mención, se le ha sometido a los mecanismos de control y procedimientos antiplagio previstos en la normativa interna de la Universidad, **cuyo resultado alcanzó un porcentaje de similitud de 3 %**. Por tanto, en mi condición de asesor(a), firmo la presente carta en señal de conformidad y adjunto el informe de similitud del Sistema Antiplagio Turnitin, como evidencia de lo informado.

Sin otro particular, me despido de usted. Atentamente,



Firma

Geomar Vallejos Torres

DNI N°: 01162440

ORCID: 0000-0003-3440-6802

Facultad de Ciencias Agrarias y Ambientales – UCSS

* De conformidad con el artículo 8°, del Capítulo 3 del Reglamento de Control Antiplagio e Integridad Académica para trabajos para optar grados y títulos, aplicación del software antiplagio en la UCSS, se establece lo siguiente:

Artículo 8°. Criterios de evaluación de originalidad de los trabajos y aplicación de filtros

El porcentaje de similitud aceptado en el informe del software antiplagio para trabajos para optar grados académicos y títulos profesionales, será máximo de veinte por ciento (20%) de su contenido, siempre y cuando no implique copia o indicio de copia.

DEDICATORIA

A ti amada madre por aceptarme en tu historia , alentarme siempre con tus ideales y guiarme mis pasos , por darme el impulso constante para ser una persona decente y lo más importante, por tu amor y sacrificio inquebrantables.

A mi hijo y hermanos por ser el motor de mi progreso diario y por su invaluable ayuda en cada nivel de aprendizaje.

Aquellas personas quienes me orientaron y me tendieron la mano para terminar este arduo proceso.

Tania Mar Sánchez Apaestegui

Con todo amor a Dios todo poderoso por brindarme la fortaleza para conseguir mis metas y permitirme llegar hasta este momento, brindándome la sabiduría y la fuerza, de esa forma poder terminar este grandioso trabajo de investigación.

A mi querida tía por haberme apoyado en cada instante, por el impulso diario que me ha permitido formarme en una persona de bien, por sus muestras de perseverancia y templanza que la caracteriza, que hacen que día a día me impulse a progresar en la vida.

A mi asesor, el Dr. Geomar Vallejos Torres por el ánimo constante y ser el faro con sus sapiencias durante todo el transcurso de la investigación que se ha logrado finalizar y sobre todo brindarme la consideración y estima personal.

Liam Neeson Ruiz Ponce

AGRADECIMIENTOS

Gratitud a Dios por darme la vida, mostrarme su amor firme y guiarme a lo largo de toda mi vida.

Gracias madre, hermanos y esposo, sin los cuales no habría tenido la oportunidad de seguir desarrollando mi carrera.

También quiero valorar el acompañamiento del Dr. Geomar Vallejos Torres, el cual fue el colaborador clave para el progreso de dicho estudio. La experiencia y el apoyo científico han sido oportuno lo cual nos ha permitido concluir una importante iniciativa.

Al Mg. Randy Orhiel Ramos Alvarez, y a todos mis amigos, por su guía y aliento, que me han permitido cumplir una de mis metas trazadas.

Tania Mar Sánchez Apaestegui

Ante todo, mis infinitas gracias a Dios por brindarme cada instante de vida, de lo cual me permite desarrollar y cumplir todas mis metas y proyectos, a él todo mi corazón y entrega espiritual.

De la misma manera, a mi abuela, mi tía y mi madre, ya que día a día ellos son el pilar fundamental en mi vida, por su ímpetu carácter y tenacidad que las caracteriza que han logrado en mí llegar a la meta trazada en esta etapa de mi vida.

A mi estimado asesor Dr. Geomar Vallejos Torres por los consejos y las pautas brindadas para seguir adelante y definiendo de manera firme la culminación de todo el proceso del trabajo de investigación.

Liam Neeson Ruiz Ponce

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA	vi
AGRADECIMIENTOS	vii
ÍNDICE GENERAL	viii
ÍNDICE DE TABLAS	x
ÍNDICE DE FIGURAS	xii
ÍNDICE DE APÉNDICES	xiii
RESUMEN	xiv
ABSTRACT	xv
INTRODUCCIÓN	1
OBJETIVOS	3
CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO	4
1.1. Antecedentes	4
1.1.1. Internacionales	4
1.1.2. Nacionales	6
1.1.3. Regionales	9
1.2. Bases teóricas especializadas	11
1.2.1. Origen y dispersión del café	11
1.2.2. Diversidades de café en San Martín	11
1.2.3. “Guaba” <i>Inga</i> sp	12
1.2.4. Distribución geográfica de la “Guaba” <i>Inga</i> sp	12
1.2.5. Hongos micorrízicos arbusculares (HMA)	13
1.2.6. Hongos micorrízicos arbusculares y su efecto en la captura de carbono	13
1.2.7. Colonización y multiplicación de HMA	14
1.2.8. Carbono	14
1.2.9. Almacenamiento de carbono del suelo	15
1.2.10. Almacenamiento de carbono en sistemas agroforestales	15
1.2.11. Sumidero de carbono en ecosistemas de café	15
CAPÍTULO II. MATERIALES Y MÉTODOS	17
2.1. Diseño de la investigación	17
2.2. Lugar y fecha	18
2.3. Población y muestra	20

2.4. Técnicas e instrumentos	20
2.5. Descripción de la investigación	21
2.6. Identificación de variables y su mensuración	26
2.7. Análisis estadístico de datos.....	28
2.8. Materiales y equipos	28
CAPÍTULO III: RESULTADOS	30
3.1. Evaluación de la influencia de los árboles en el almacenamiento de carbono en café de la provincia de Moyobamba	30
3.2. Evaluación de la influencia del diámetro y altura de los árboles en el almacenamiento de carbono en café de la provincia de Moyobamba.....	34
3.3. Determinar la influencia de la micorrización en el almacenamiento de carbono en café de la provincia de Moyobamba	38
CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN.....	43
4.1. Evaluación de la influencia de los árboles en el almacenamiento de carbono en café de la provincia de Moyobamba	43
4.2. Evaluación de la influencia del diámetro y altura de los árboles en el almacenamiento de carbono en café de la provincia de Moyobamba.....	46
4.3. Determinación de la influencia de la micorrización en el almacenamiento de carbono en café de la provincia de Moyobamba.....	49
CAPÍTULO V: CONCLUSIONES	52
CAPÍTULO VI: RECOMENDACIONES	54
REFERENCIAS	55
TERMINOLOGÍA.....	74
APÉNDICES	76

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. <i>Localización geográfica</i>	18
Tabla 2. <i>Localización de los especímenes</i>	19
Tabla 3. <i>Descripción de las parcelas</i>	20
Tabla 4. <i>Operacionalización de las variables de investigación</i>	27
Tabla 5. <i>Prueba de normalidad de las muestras del carbono en la biomasa</i>	30
Tabla 6. <i>ANOVA para las muestras del carbono de la biomasa</i>	31
Tabla 7. <i>Prueba de Tukey para las muestras del carbono de la biomasa</i>	31
Tabla 8. <i>Correlación de la diversidad del Coffea arabica en relación al carbono de la biomasa</i>	32
Tabla 9. <i>Prueba de T de Student del carbono de la biomasa y la diversidad del Coffea arabica</i>	32
Tabla 10. <i>Prueba de normalidad de carbono del suelo</i>	32
Tabla 11. <i>ANOVA en el carbono del suelo</i>	33
Tabla 12. <i>Prueba de Tukey en el carbono del suelo</i>	33
Tabla 13. <i>Correlación de la diversidad del Coffea arabica respecto al carbono del suelo</i>	33
Tabla 14. <i>Prueba de T de Student en el carbono del suelo y la diversidad del Coffea arabica</i>	34
Tabla 15. <i>Prueba de normalidad de la altura de las guabas</i>	34
Tabla 16. <i>ANOVA para la altura vs carbono en la biomasa de la guaba</i>	35
Tabla 17. <i>Prueba de Tukey de las alturas y el carbono en la biomasa de las guabas</i>	35
Tabla 18. <i>Correlación de la altura de las guabas y el carbono de la biomasa</i>	36
Tabla 19. <i>Prueba de T de Student del carbono de la biomasa y la altura de las guabas</i> ...	36
Tabla 20. <i>Prueba de normalidad del diámetro de las guabas</i>	36
Tabla 21. <i>ANOVA del diámetro y el carbono en la biomasa de las guabas</i>	37
Tabla 22. <i>Prueba de Tukey de los diámetros y el carbono en la biomasa de la guaba</i>	37
Tabla 23. <i>Correlación del diámetro de las guabas y el carbono en la biomasa</i>	37
Tabla 24. <i>Prueba de T de Student del carbono en la biomasa y el diámetro de las guabas</i>	38
Tabla 25. <i>Prueba de normalidad de la colonización del Coffea arabica</i>	38
Tabla 26. <i>ANOVA para la colonización y el carbono en el suelo del Coffea arabica</i>	39

Tabla 27. <i>Prueba de Tukey de la colonización y el carbono en el suelo</i>	39
Tabla 28. <i>Correlación de la colonización del Coffea arabica y el carbono en los suelos</i>	40
Tabla 29. <i>Prueba de T de Student del carbono en los suelos y la colonización del Coffea arabica</i>	40
Tabla 30. <i>Prueba de normalidad del conteo de esporas de HMA del Coffea arabica</i>	40
Tabla 31. <i>ANOVA del conteo de esporas de HMA y el carbono en el suelo del Coffea arabica</i>	41
Tabla 32. <i>Prueba de Tukey del conteo de esporas de HMA y el carbono en el suelo</i>	41
Tabla 33. <i>Correlación del conteo de esporas de HMA del Coffea arabica y el carbono en los suelos</i>	41
Tabla 34. <i>Prueba de T de Student del carbono en los y el conteo de esporas de HMA</i>	42

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
<i>Figura 1. Plano de localización de los sistemas del café.....</i>	<i>19</i>
<i>Figura 2. Evaluación de la biomasa aérea y carbón en los árboles.....</i>	<i>22</i>
<i>Figura 3. Muestras de los suelos del Coffea arabica para el análisis de carbono.....</i>	<i>23</i>
<i>Figura 4. Medida de la colonización (%) y el conteo de esporas de HMA del Coffea arabica.....</i>	<i>26</i>

ÍNDICE DE APÉNDICES

	Pág.
Apéndice 1. <i>Matriz de consistencia</i>	76
Apéndice 2. <i>Mapa de localización de las muestras</i>	77
Apéndice 3. <i>Evaluación del carbono del suelo</i>	78
Apéndice 4. <i>Modelo para registrar el diámetro y altura de árboles, biomasa y el carbono</i>	79
Apéndice 5. <i>Parámetros para registrar la comunidad de micorrizas arbusculares en cuatro zonas de la provincia de Moyobamba</i>	80
Apéndice 6. <i>Procedimiento para llevar a cabo la investigación</i>	81
Apéndice 7. <i>Datos recopilados para realizar a cabo la investigación</i>	83

RESUMEN

El “cafeto arábico” *Coffea arabica* es empleado como bebidas, generando un desarrollo económico y social en la zona de San Martín. Se evaluó la asociación benéfica de las especies vegetales y la micorrización en la recolección de carbono del café en la provincia de Moyobamba. Para el estudio, se determinó la cantidad del carbono orgánico en el suelo, biomasa aérea, la colonización y población de esporas de HMA. La captura del carbono en los suelos tuvo una media de 47,97 t C.ha⁻¹, mientras que una biomasa aérea de 3,68 t C.ha⁻¹ a una diversidad entre 0,304 a 0,366; asimismo, una altura media de 10,61 m; un diámetro de 12,16 cm en las guabas; una colonización de 37,53 % y un conjunto de esporas de 131 esporas de HMA, en sistemas de monocultivos y agroforestales en diferentes altitudes. Concluyéndose una vinculación directa de la diversidad de especies y el carbono en la biomasa, el suelo, la altura, el diámetro, carbono en el suelo, la colonización y una relación inversa en la población de esporas de HMA respecto al carbono en el suelo, sugiriéndose un mayor estudio para obtener una ecuación alométrica ideal para el cálculo del carbono.

Palabras clave: Café, esporas de HMA, Moyobamba y rizosfera

ABSTRACT

The “Arabica coffee tree” *Coffea arabica* is used as a beverage, generating economic and social development in the San Martín area. The beneficial association of plant species and mycorrhization in carbon collection of coffee in the province of Moyobamba was evaluated. For the study, the amount of organic carbon in the soil, aerial biomass, colonization and population of AMF spores were determined. Carbon capture in the soil had an average of 47.97 t C.ha⁻¹, while an aerial biomass of 3.68 t C.ha⁻¹ at a diversity between 0.304 to 0.366; also, an average height of 10.61 m; a diameter of 12.16 cm in guabas; a colonization of 37.53 % and a set of spores of 131 AMF spores, in monoculture and agroforestry systems at different altitudes. A direct link was concluded between species diversity and carbon in biomass, soil, height, diameter, soil carbon, colonization and an inverse relationship in the AMF spore population with respect to soil carbon, suggesting further study to obtain an ideal allometric equation for carbon calculation.

Key Words: Coffee, HMA spores, Moyobamba and rhizosphere

INTRODUCCIÓN

La plantación de café es importante para la mejora socio-económica de la zona de San Martín, pero al igual que la mayoría de los cultivos extensivos, presenta problemas en la producción de este cultivo. La más relevante es la genética de las semillas botánicas, lo que puede resultar una pésima productividad y calidad en los granos del café. Asimismo, las técnicas de dispersión vegetal sin el cuidado adecuado y sin tener en cuenta la edad del vegetal, tienen un impacto negativo en las raíces (Vásquez *et al.*, 2018).

Los sistemas agroforestales del café que utilizan árboles de sombra no solo albergan una amplia diversidad de animales y plantaciones, permitiendo incrementar el carbono almacenado al suelo. Esto hace que los sistemas agroforestales del café sean alternativas para mitigar los efectos climáticos (Ramachandran *et al.*, 2009; Aguirre-Cadena *et al.*, 2016).

Farfán (2012) establece la variedad de las familias vegetales, tales como las plantas de sombra, rompevientos, montes defensores, etc. La evaluación del carbono secuestrado del café permiten desarrollar modelos productivos que utilizan el carbono de manera eficiente.

Los sistemas de producción de cafeto arábico en los distritos de Japelacio y Soritor generan un almacenamiento del carbono relevante en las superficies y en la biomasa volátil, de esta manera, la presente investigación permitió conocer la relación de carbono capturado en el suelo y la biomasa aérea de los procedimientos de producción (monocultivos de café y el café asociado con la guaba). En la actualidad, no hay investigaciones relacionadas entre la diversidad de los cafetos arábigos respecto al carbono en la superficie y en la biomasa aérea, asimismo, la altura y el diámetro de la guaba respecto al carbono en la biomasa y por último de la emigración y el conteo de esporas respecto al carbono en la superficie.

La presente investigación se justifica por su aporte en el retención de carbono de la superficie y biomasa volátil en los monocultivos de café y el café asociado con la “guaba” *Inga sp*, los

resultados dieron a conocer las correlaciones entre la diversidad de los árboles de café en relación al carbono del suelo y biomasa aérea, de la misma manera la altura y el diámetro en relación al carbono en la biomasa y por último de la emigración y el conteo de esporas en relación al carbono en el suelo, el estudio fue viable porque se tuvo los recursos económicos, científicos y humanos, necesarias para poder realizar en la investigación presente.

El estudio tuvo como propósito evaluar la atribución de los árboles y la micorrización en el acopio de carbono en café en la provincia de Moyobamba, puesto a que en el presente no existe estudios en el lugar evaluado sobre la influencia de las plantaciones en la micorrización y el carbono en el café. Asimismo, la presente investigación servirá para investigaciones relacionadas a emprender en la captura del carbono y participar en proyectos de reforestación y agrícolas con el fin de contribuir en la disminución del calentamiento global. La exploración ejecutada exhibe la subsiguiente distribución: Capítulo I: Marco teórico, Capítulo II: Materiales y técnicas, Capítulo III: Resultados, Capítulo IV: Discusiones, Capítulo V: Conclusiones y Capítulo VI: Recomendaciones.

OBJETIVOS

Objetivo general

Evaluar la asociación benéfica de las especies vegetales y la micorrización en el almacenamiento de carbono en café en la jurisdicción de Moyobamba.

Objetivos específicos

- Relacionar la influencia de los árboles en el almacenamiento de carbono en café de la provincia de Moyobamba.
- Evaluar la influencia del diámetro y altura de los árboles en el almacenamiento de carbono en café de la provincia de Moyobamba.
- Describir la influencia de la micorrización en el almacenamiento de carbono en café de la provincia de Moyobamba

CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO

1.1. Antecedentes

1.1.1. Internacionales

Soto (2020) en su investigación “Captura de carbono de medios agrarios fructíferos con incidencia en la siembra de café, Pereira-Colombia”, comparó la captura de carbono en la biomasa volátil y subyacente del café. Para el estudio, realizó la recopilación de estudios relacionados al secuestro del carbono de los cafés expuestos y los sistemas agroforestales. Para el procedimiento de los datos utilizó la siguiente prueba estadística: media aritmética, para ello usó el programa Excel 2016. El autor evidenció por medio de la recopilación de información secundaria y bibliográfica encontró de 2,2 a 6,64 t C.ha⁻¹ de carbono en la biomasa en un método de monocultivo de café, también un 78,8 t C.ha⁻¹ en el SAF Café + Guaba. El autor concluyó que los regímenes cafeteros son fuentes importantes captura del carbono, principalmente en la biomasa aéreo, respecto a los SAF de café y monocultivo de café sin sombra tienen un incremento de la cobertura evidenciándose un aumento en la variedad de las especies vegetales.

Ortega (2020) en el estudio “Individualización de la etapa agroecológica en cuatro sistemas agroforestales con café bajo conducción orgánico en la jurisdicción de Boaco-Nicaragua, 2011”, caracterizó cuatro SAF de manejo orgánico en parcelas del cultivo de café. La población estuvo constituida por cuatro SAF pertenecientes a cuatro parcelas de diferentes propietarios. Las muestras estuvieron constituidas por seis muestras colectadas de los SAF del aislamiento de carbono en la biomasa aéreo y suelo. Para el estudio, empleó lo propuesto por NOM-021-RECNAT-2000 (2002), para el carbono acopiado por los árboles, para el carbono guardado por los arbustos empleó lo propuesto por Suárez *et al.* (2004), mientras que para la diversidad empleó lo propuesto por Moreno (2001). El tratamiento de los datos utilizó la siguientes pruebas estadísticas: media, para ello usó los programas PAST v. 4.09

y el Excel 2016. El autor encontró $1,22 \text{ t C.ha}^{-1}$ en un SAF con presencia de arbustos de café, además, registró una diversidad de especies de 2,08 a 2,53 en parcelas de 4,23 ha. Concluyó que la mayor cantidad de carbono perteneció al señor Pascual Espinoza (PE), registrándose las especies vegetales en cada predio en diferentes densidades de plantones en suelos arcillosos.

Paipa y Triana (2018) en el estudio “Apreciación del carbono acopiado en la biomasa volátil de un monte húmedo tropical en Paimadó, Chocó-Colombia”, estimaron la obtención de carbono de la biomasa en un bosque cálido. La población estuvo constituida por la diversidad florística, edades y abundancia de las especies vegetales. Las muestras estuvieron constituidas por 10 especies que oscilan entre cuatro a 50 m de altura. Emplearon lo propuesto por Campo y Duval (2014), para la evaluación del índice de abundancia, y lo propuesto por IPCC (2011) para la evaluación del carbono en la biomasa. El tratamiento de los datos fue mediante un recuento descriptiva e inferencial, donde aplicaron la media aritmética, intervalos de confianza, prueba de normalidad, correlación de Spearman, regresión lineal, para ello usó el programa R Project v. 3.1.1. Los resultados evidenciaron 10 especies vegetales nativas identificadas, con un IVI de 5,47 a 19,33, viéndose que para la *Inga acrocephala* obtuvo $5,71 \text{ t C.ha}^{-1}$ de carbono en la biomasa. Los autores concluyeron que obtuvieron la valoración de la degradación en la mutabilidad climatológica, asimismo a menor diámetro se reduce el carbono en la biomasa capturado en el ecosistema.

Gómez *et al.* (2018) en el estudio “Derivación del patrimonio de variedades y distribución de la flora en la acumulación de carbono en métodos agroforestales de la Amazonía, Beni y Santacruz-Bolivia”, evaluaron el patrimonio y estructura de las variedades de flora en la captura del carbono en sistemas agroforestales. La población estuvo constituida por 25 SAF y cuatro bosques secundarios. Las muestras estuvieron constituidas por una parcela circular de $1\ 963 \text{ m}^2$ en cada bosque secundario. Para el estudio, empleó lo propuesto por Loreau *et al.* (2001), Flombaum y Sala (2008), Chisholm *et al.* (2013) para el cálculo de la diversidad, la biomasa (%), abundancia (%), DAP, altura, captura de carbono de suelo y la biomasa. El tratamiento de los datos utilizó las siguientes pruebas estadísticas: media y el coeficiente de variación, para ello usó el programa R v. 3.3.2. Los resultados evidenciaron que tuvo una diversidad del café en sombra entre 1,7 a 2,3; asimismo obtuvieron de $30,66$ a $55,53 \text{ Mg.ha}^{-1}$

¹ de carbono en los bosques secundarios. Los autores concluyeron que existió variabilidad entre el carbono en la superficie, asimismo, la captura del carbono se incrementó en relación directa a la estructura y la riqueza vegetal.

Betanco y Garmendia (2016) en el estudio “Identificación de la biodiversidad vegetal y asilamiento de carbono en diversos usos de la superficie, en tres asociaciones. Reserva Natural Tomabú, Estelí-Nicaragua”, caracterizaron de la variedad de seres vivos y secuestro de carbono en el suelo en localidades de Llano Redondo, El Espinal y San Antonio, de la Reserva Natural Cerro Tomabú. La población estuvo constituida por tres parcelas en tres comunidades diferentes. Las muestras estuvieron constituidas tres submuestras en los tres sitios de las parcelas de estudio. Para el estudio, emplearon lo propuesto por Moreno (2001) para la diversidad de especies, evaluaron el índice de Shannon y Simpson, también emplearon lo propuesto por Scott *et al.* (1992) aislamiento de carbono del suelo y la necromasa. El procesamiento estadístico fue mediante la estadística descriptiva e inferencial, donde aplicaron la media aritmética, rango, estadístico de Kruskal Wallis, análisis de varianza (ANOVA), para ello usaron los programas R v. 3.3.0 y Stimate v. 9.1. Los resultados evidenciaron que el sistema de pasto fue el predominante en la mayor captura con 316,8 t C.ha⁻¹ en el carbono del suelo, mientras que el bosque presentó mayor carbono en la biomasa aérea con 323 t C.ha⁻¹. Concluyeron que presentaron discrepancias relevantes en los SAF y la riqueza y variedad de especies, dominancia de Simpson, estructura de Chao 1, abundancia de cobertura ACE y la cobertura en incidencia ICE en los cuatro sistemas.

1.1.2. Nacionales

Burga (2022) en el estudio “Biomasa y stock de carbono en las variedades productivas de un monte de azotea baja de la jurisdicción del Napo, Loreto, 2019”, calculó la biomasa y la captura del carbono en el bosque. La población presentó plantas forestales en el bosque de terraza baja. Las muestras estuvieron constituidas por 17 especies forestales distribuidas en 34 muestras en las parcelas. Para el estudio, empleó lo propuesto por Dauber *et al.* (2008), Zanne *et al.* (2009), Rojas (2018), Rosas y Zúñiga (2010) para evaluar la cuantificación de la biomasa aérea, el stock de carbono en las variedades boscosas comerciales y su interacción entre ellas. El tratamiento de los datos utilizó las siguientes pruebas estadísticas: media, prueba de normalidad y la correlación, para ello usó el programa Excel 2016 y SPSS.

Registraron una biomasa total 19 363,84 kg C.ha⁻¹, stock de carbono de 0,03 a 2,16 t C.ha⁻¹ y 0,67 a 3,09 t C.ha⁻¹ entre las clases diamétricas. El autor concluyó que la biomasa obtenida en la vegetación y la pluralidad de géneros de boscosas evidenciaron más carbono de la biomasa, también existió relación del DAP con la biomasa y el carbono siendo directamente proporcional.

Solis *et al.* (2020) en el estudio “Provisión de carbono y utilidad de especies de flora de sombra en distintos procedimientos de manejo de café en la Amazonía”, evaluaron las reservas de carbono en varios regímenes de manejo de café en el noreste de la Amazonía peruana. La población estuvo constituida por las parcelas cafetaleras. Las muestras estuvieron constituidas por parcelas en cada finca y ésta fue dividida en cuatro subparcelas. Para el estudio, emplearon lo propuesto por Cairns *et al.* (1997) para el carbono en la superficie, el contenido de la humedad y la biomasa de las raíces usando las ecuaciones de regresión, asimismo, usaron modelos alométricos para el cálculo de la biomasa volátil propuesto por Zanne *et al.* (2009). El tratamiento de los datos utilizó las subsiguientes pruebas estadísticas: media, prueba de normalidad, análisis de varianza y la correlación, para ello usaron el programa R v. 3.4.1. Los resultados evidenciaron el sistema de café de sombra de policultivo registraron 189 t C.ha⁻¹, café con sombra Inga 146 t C.ha⁻¹, sistema de café sin sombrear 113 t C.ha⁻¹. Concluyeron que el SAF de café albergó una mayor concentración de carbono a diferencia de los otros sistemas.

Salazar *et al.* (2018) en el estudio “Estimación de la obtención de carbono en superficies de los sistemas agroforestales con *Coffea arabica* L. en las demarcaciones Mariscal Benavides y Longar, jurisdicción de Rodríguez de Mendoza, Amazonas”, evaluaron la dependencia de las edades de los SAF en la obtención de carbono del café. La población estuvo constituida por dos sistemas SAF de tres a cinco años y el SAF de ocho a 10 años. Las muestras estuvieron constituidas por 36 muestras en tres profundidades distintas. Para el estudio, emplearon lo propuesto por Walkley y Black (1934) para evaluar el carbono orgánico de la superficie, asimismo, determinaron el pH, C.E., la densidad aparente del suelo, y los minerales: N, P y K. El tratamiento de los datos utilizaron las siguientes pruebas estadísticas: media, desviación estándar y la varianza, para ello usaron el programa Arcmap v. 10.3 y el MapSource. Los resultados evidenciaron que el SAF de café con guaba de tres a cinco años

almacenó 224,26 t C.ha⁻¹ y en el SAF de café de ocho a 10 años almacenó 198,95 t C.ha⁻¹. Los autores concluyeron que la mayor cantidad de carbono se almacenó a los 15 cm de la superficie y que el SAF de café con guaba almacenó mayor carbono.

Davila (2019) en la indagación referida a “Provisión de carbono en la biomasa volátil y la necromasa (hojarasca) de un bosque acuoso premontano cálido – licencia para preservación Inchatoshi Kametsha – en Junín”, estimó el almacenamiento del carbono de la necromasa y biomasa aérea. La población estuvo compuesta por las especies nativas ascendentes a 10 cm de DAP y el follaje de las 2 242,84 ha del Bosque Húmedo Premontano Cálido. Las muestras estuvieron constituidas por 3 parcelas. Para el estudio, empleó para evaluar los parámetros dasométricos (DAP, altura), contenido de humedad, necromasa y la biomasa aérea lo propuesto por Brown (1997). El tratamiento de los datos fue por la aplicación de las siguientes estadísticas: media, desviación estándar, entre otros, para ello usó el programa Excel 2016. El resultado evidenció 106,68 t C.ha⁻¹ de carbono en la biomasa volátil y 4,17 t C.ha⁻¹ de carbono en la necromasa de las hojarascas. El autor concluyó que la Concesión para Conservación Inchatoshi Kametsha tuvo 248 624,8 C.ha⁻¹.

Odar (2018) en el estudio “Apreciación de acumulación de carbono en medios agroforestales de *Coffea spp*, en el anexo de Vilaya, demarcación de Colcamar, jurisdicción de Iuya, Amazonas, 2017-2018”, valoró la captura del carbono en los SAF de café. Su población fue compuesta por 12 policultivos del cafeto. Las muestras comprendieron a tres parcelas de café, guaba y pashaco. Para el estudio, empleó el método destructivo, seguidamente, evaluó los parámetros dasométricos (DAP y altura de planta), también extrajo malezas y hojarascas del café, por último, analizó el almacenamiento de compuestos orgánicos en profundidades de 0-30 cm. El tratamiento de los datos fue mediante la estadística descriptiva, donde aplicó la media aritmética, frecuencias, intervalos de confianza, desviación estándar, coeficiente de variación, varianza, regresión lineal, para ello empleó los software de SPSS v. 22.0 y Excel 2016. Los resultados evidenciaron que encontró la fórmula del modelo alométrica de ecuación cúbica, siendo: $Y = 4,928 + 5,319x(DAP) + 0,598x(DAP)^2 - 0,019x(DAP)^3$, cuya biomasa y carbono arbóreo en la guaba fue de 14,13 a 29,77 t C.ha⁻¹ y 7,06 a 14,89 t C.ha⁻¹, de igual manera para el carbono en el suelo fue de 2,36 a 2,89 %, y por último que en el carbono vegetal total fue de 11,08 a 29,61 t C.ha⁻¹. Concluyó la existencia de mayor captura

de carbono en el café-guaba-pashaco, mientras la mayor biomasa aérea total encontrada fue en la guaba y por último para el café.

Cabrera *et al.* (2016) en el estudio “Provisión de carbono en medios agroforestales cafetaleros en las jurisdicciones de Jaén y San Ignacio, Cajamarca”, estimaron la cantidad de carbono capturado en los SAF de café. La población evaluada fueron las parcelas de diferentes cultivos. Las muestras estuvieron constituidas por subparcelas de un metro cuadrado. Para el estudio, emplearon ecuaciones alométricas y el método directo, aplicada a los arbustos de cafeto. El tratamiento de los datos fue mediante la estadística inferencial, donde aplicaron la media aritmética y la regresión lineal, para ello usaron el programa Excel 2016. Los resultados evidenciaron la fórmula del modelo alométrica de ecuación cúbica, siendo: $Y = 4,4997 + 0,00 * X + -0,2852 * X^2 + 0,0342 * X^3$, también encontraron un valor máximo de 18,25 t C.ha⁻¹ y un mínimo de 2,03 t C.ha⁻¹ en la biomasa viva en café de variedad de catimor, también un carbono en el suelo máximo de 52,81 t C.ha⁻¹ y un mínimo de 32,69 t C.ha⁻¹. Concluyeron que existe una mayor captura del carbono en los tallos del cafeto, los cafetales con sombra presentaron un alto almacenamiento de carbono, asimismo determinaron una ecuación alométrica.

1.1.3. Regionales

Arévalo *et al.* (2021) en el estudio “Compendio Práctico: Progreso de conocimientos razonables del café con hongos micorrízicos arbusculares”, evaluaron el rejuvenecimiento y la biofertilización en la productividad del café. La población estuvo constituida por parcelas con plantaciones de café. Las muestras de estudio estuvieron constituidas por 96 muestras de plantas de café. Para el estudio, usaron lo dispuesto por Walkley y Black (1934) en la evaluación del carbono del suelo, asimismo, lo propuesto por Vallejos-Torres (2020) para el enraizamiento, propagación del café y la inoculación de HMA. El tratamiento de los datos utilizaron las siguientes pruebas estadísticas: media, correlación, ANOVA y prueba de Tukey, para ello usaron el programa Excel 2016. Los resultados evidenciaron que encontraron un mejor resultado en la colonización micorrízica en el consorcio Huallaga, asimismo, un carbono total del suelo en el SAF-Nacional de 35,2 t C.ha⁻¹ a 10 cm, 10,6 t C.ha⁻¹ entre 10 a 20 cm y 9,7 t C.ha⁻¹ entre 20 a 50 cm de hondura en la superficie. Concluyeron que existe una mayor captura del carbono en la primera capa del SAF.

Arteaga (2019) en el estudio “Tipificación de la variedad y emigración de Hongos Micorrízicos Arbusculares (HMA) oriundos, en la siembra de *Coffea arabica* L., en cuatro localidades en la jurisdicción de San Martín”, identificó la diversidad de especies HMA nativos y su de colonización en áreas cafetaleras. El diseño de investigación fue experimental, presentando una Delineación Completamente al Azar (DCA) simple (12 tratamientos X 5 reproducciones). La población tuvo 60 muestras de 12 parcelas de cafeto. Las muestras estuvieron constituidas por la caracterización de los hongos micorrízicos. Para el estudio, emplearon lo sugerido por Trouvelot *et al.*, (1986), Omar *et al.*, (1979), Phillips y Hayman, (1970) y Walkley y Black (1934), para la evaluación de los parámetros ecológicos (riqueza de las especies, densidad de esporas HMA, taxonomía, colonización radicular de HMA, cuantificación e identificación de las esporas de HMA y el carbono en el suelo. El tratamiento de los datos fue mediante la estadística descriptiva e inferencial, donde aplicó la media aritmética, el análisis de varianza y la prueba de Tukey, para ello usó el programa InfoStat v. 2012. Los resultados evidenciaron un índice de Shannon de 1,11 a 2,16, además, encontró una de colonización de 12,09 a 31,14 %, asimismo, descubrió una densidad de esporas de 19 a 710 esporas de HMA/10 g de suelo rizosférico, evidenció tres órdenes, siete familias, 12 géneros y 31 especies. El autor concluyó que existe una mejor colonización radicular en Palmeras perteneciente a la provincia de Moyobamba.

Díaz *et al.* (2016) en la exploración “Carbono acopiado en cinco cultivos en el territorio de San Martín Perú”, evaluaron en forma cuantitativa el carbono capturado en cinco sistemas de uso de tierra. La población fue compuesta por cinco parcelas. Los especímenes estuvieron comprendidos transectos de 4 m x 25 m. Para el estudio, emplearon lo dispuesto por el Centro Internacional de Exploración en Agroforestería (ICRAF), en la captura del carbono orgánico en diversas tierras, asimismo, evaluaron los parámetros dasométricos (DAP y altura de la planta), además, evaluaron la biomasa boscosa viva, biomasa de las hojarascas muerta, biomasa de hojarascas, peso de la corpulencia del suelo y la consistencia aparente de la superficie. El tratamiento de los datos fue mediante la estadística representativa e inferencial, donde aplicó la media aritmética, análisis de varianza, prueba de rangos múltiples de Tukey y el coeficiente de variación, para ello usaron el software SAS v. 9.2. Las derivaciones indicaron que los bosques primarios y secundarios albergaron 300,27 y 275,73 t C.ha⁻¹ más de carbono en la biomasa volátil. Además, encontraron que el cafeto, el cacao tuvieron un promedio de 2,35 t C.ha⁻¹ de carbono. Concluyeron que los bosques primarios y secundarios

almacenaron mayor cantidad total de carbono en comparación con los métodos de cultivo de tierra y que la conversión disminuiría la captura de carbono.

1.2. Bases teóricas especializadas

1.2.1. Origen y dispersión del café

Se originó en los sotobosques de Etiopía, a una altitud superior a los 1 500 m s.n.m. Ha sido extendido ampliamente por la franja intertropical, los principales países productores se localizan en América Latina y el Caribe (Montes *et al.*, 2017). Las especies de *Coffea arabica* y *C. canephora* son las más utilizadas en el comercio, mientras que *C. liberica* se comercializa en pocas cantidades. La evidencia citogenética sobre el origen del café es escasa, pero sugiere que es un alotetraploide (León, 2000).

Existe la posibilidad de que el café apareció por primera vez en estado silvestre en el altiplano de Abisinia (actual Etiopía), haciéndose popular como bebida en el siglo XIII. Luego ingreso a Persia, Egipto y Turquía. Posteriormente el café llegó a Europa en el siglo XVII formando parte de las importantes bebidas consumidas.

Herrera y Cortina (2013), presentan la categorización taxonómica subsiguiente:

Reino: Plantae (plantas)

División: Magnoliophyta

Clase: Magnoliopsida

Orden: Gentianales

Familia: Rubiaceae

Género: *Coffea*

Especie: *arabica*

1.2.2. Diversidades de café en San Martín

En nuestro país, la mayor producción de granos de café deriva de los cultivares de caturra, pache, catimore y typica (Galindo, 2011), tal como se detalla a continuación:

Variedad Typica. Arbusto con porte promedio de 3,5 m. Presenta un tronco vertical con muchas ramas productoras con hojas de estructura fina y lisa. Presenta frutos y semillas de regular tamaño. Los granos son considerados de buena caracterización física y cualidades sensoriales óptimas.

Variedad Bourbon. Planta con varios troncos y de rápida renovación ante las podas. Sus hojas nuevas son de color verde claro y su rendimiento supera los 20 a 30 % más que otras variedades. Esta variedad se desarrolla bien entre los 1 000 y 2 000 m s.n.m con una muy buena calidad sensorial de los granos.

Variedad Caturra. Es una variedad mutable y sus granos son de excelente calidad física y sensorial con mucha presencia de ramas, haciéndolo un cultivar de alta productividad, capaz de adaptarse a diversas altitudes, pero prefiere altitudes de 2 500 a 3 500 m s.n.m.

Variedad Catimor. Es un híbrido logrado del Timor y caturra, con buena resistencia a la *Hemileia vastatrix* “Roya amarilla” (Berkeley y Broome).

1.2.3. “Guaba” *Inga* sp

La *Inga* sp. alcanza alturas de seis a 18 metros, teniendo un tronco cilíndrico de diámetro entre 15 a 50 cm. La planta es ramificada. Su corteza es simple con un color pardo claro, La corteza exterior es llana, color pardo grisáceo, presenta tejidos circulares abundantes en el tronco. Cuyas hojas son compuestas, colocadas y un peciolo de tres a seis cm de largo. Las flores son hermafroditas, midiendo de 2,5 a cinco centímetros de largo. El fruto es una vaina cilíndrica de 40 y 120 cm de largo y 3,5 a 3,7 cm de diámetro, con surcos longitudinales múltiples (Reynel *et al*, 2003).

1.2.4. Distribución geográfica de la “Guaba” *Inga* sp

La *Inga* sp. se encuentra en la América Tropical. Este género se encuentra en una extensa gama de entornos, a partir de un nivel del mar hasta altitudes de 3 000 metros, abarcando una dispersión topográfica de México a Uruguay (Pennington, 1997). Su aplicación se estima hace más de 2 000 años, cuyos frutos son consumibles, sirviendo también como leña y como sombra para diferentes cultivos agrícolas (Pennington y Fernández, 1998). La *Inga*

sp. es nativa del Caribe y la Amazonía, como también en los boscajes andinos, su producción se realiza a una temperatura entre 15 a 22 °C (Silva *et al.*, 2013).

1.2.5. Hongos micorrízicos arbusculares (HMA)

Particularidades del HMA

Los hongos micorrízicos arbusculares (HMA) son extremadamente relevantes en los ecosistemas agrícolas, ya que instauran una simbiosis con diversas plantas cultivadas. Estos hongos necesitan realizar una sinergia entre las plantaciones para su coexistencia. Esta simbiosis es una recíproca entre los hongos y las plantas (Lohman *et al.*, 2010). Estos hongos tienen estructuras filamentosas que penetran en las raíces de las plantas y forman arbuscúlos y vesículas, mejorando la salud del suelo y permite a las plantas responder mejor a las limitaciones abióticas presentes en su entorno, como los cambios climáticos y el estrés por metales (Lenoir *et al.*, 2016). Además, esta simbiosis también les da una mayor tolerancia a los patógenos (Pozo y Azcon-Aguilar, 2007; Torres *et al.*, 2018; Shi *et al.*, 2018).

Repercusiones del HMA en el café

La repercusión entre el micelio extraradical y el crecimiento del cafeto indica una correlación positiva y favorable (Del Águila *et al.*, 2018). Al-Areqi *et al.* (2014) constataron la incubación de plantas con micorrizas arbusculares, generando un sistema radicular más extenso. Asimismo, se ha planteado que las micorrizas tienen un efecto relevante en la mejora y productividad del café, especialmente cuando se utilizan consorcios con una mayor variedad de especies (Trejo *et al.*, 2011). Los hongos micorrízicos arbusculares (HMA) muestran aún mayor potencialidad si se han adaptado previamente a un suelo donde crecen los cafetos (Vallejos-Torres *et al.*, 2019). La presencia del HMA en el suelo trae consigo la simbiosis del micelio que se realiza alrededor de las raíces de la planta (Helgason y Fitter, 2009).

1.2.6. Hongos micorrízicos arbusculares y su efecto en la captura de carbono

En los SAF la mayoría de los árboles están asociados con hongos de micorrizas (Genre *et al.*, 2020). La resiliencia del ecosistema a perturbaciones tales como el fuego, la sequía y los

patógenos están todos relacionados con el estado de las micorrizas y el tipo de funcionalidad (Hovland *et al.*, 2019). Por lo tanto, las interacciones con hongos simbióticos pueden beneficiar el aislamiento de carbono por las arboledas al mejorar los factores de estrés abióticos asociados con el clima como el cambio climático y otros factores ambientales (Jo *et al.*, 2019). Los árboles micorrizados presentan mayor tolerancia y adaptabilidad al cambio climático futuro y una mitigación a las consecuencias del cambio climático. Yan *et al.* (2022) observaron una vinculación directa y positiva de la riqueza del HMA y la riqueza de las especies de árboles en todos los tipos de almacenamiento de carbono, señalan que un buen manejo de la biodiversidad puede contribuir a aumentar la diversidad de las especies en el amortiguamiento del cambio meteorológico y la mejor captura del carbono en las plantaciones.

1.2.7. Colonización y multiplicación de HMA

Su actividad tiene lugar cuando el hongo y la planta se asocian y atraviesan varias etapas de reconocimiento mutuo, provocando efectos en la forma y constitución del hongo. Existen varias etapas de reconocimiento, pero las tres más relevantes son las siguientes: durante la **fase inicial** la simbiosis hongo-plantación se desarrollada en el suelo, desarrollando mezclas químicas en la raíz para la mejora del micelio hacia la raíz; en la **fase intermedia**, el micelio se acerca gradualmente a las raicillas de la planta, lo que genera una adhesión intercelular entre ambos simbiontes; en la **fase final**, el hongo coloniza las raíces mediante estructuras específicas, lo que lleva la asociamiento entre los simbiontes y el desarrollo enzimático y metabólico. En esta etapa donde se diferencian las micorrizas arbusculares en endomicorrizas y ectomicorrizas, debido a sus diversas estructuras, tejido cortical y celular de las raíces (Thioye *et al.*, 2018).

1.2.8. Carbono

El carbono es esencial en la tierra, forma el 69,8 % del carbono del planeta (Food and Agriculture Organization of the United Nations [FAO], 2001). La agricultura provoca pérdidas de 30 - 50 % del carbono en la superficie (Reicosky, 2002). Es primordial para la calidad, desarrollo y producción de las plantaciones en el suelo, influyendo en las características físicoquímicos y biológicos (Carter, 2002; Wander *et al.*, 2002; Acevedo y Martínez, 2003; Sánchez *et al.*, 2004). Asimismo, es un reflejo de la salud del suelo en las

características físicoquímicos y biológicos, asimismo, influye en la maduración de las plantaciones y la nutrición de los suelos (Eyherabide *et al.*, 2014).

1.2.9. Almacenamiento de carbono del suelo

Timoteo *et al.*, (2016) mencionan que los SAF capturan el 60 % del carbono depositados a los suelos por la planta en sus primeros años. El carbono almacenado está vinculado con la concentración de residuos orgánicos presente, siendo influenciada por elementos como la suministración de residuos, vegetación y los compuestos químicos (Stevenson, 1994). Asimismo, la captura de carbono está entre 20 y 204 t C.ha⁻¹, y que dicho carbono almacenado se encuentra en los suelos, asimismo, se ha reportado que los incrementos anuales en el almacenamiento de carbono varían de 1,8 a 5,2 t C.ha⁻¹ (Ibrahim *et al.*, 2005).

1.2.10. Almacenamiento de carbono en sistemas agroforestales

Los cultivos agrícolas vinculados con plantaciones sombra tienen un relevante aporte en la resiliencia climática. La característica agroforestal, edades, cultivares, etc., influyen en las variaciones de la acumulación del carbono de la biomasa y suelo (Feliciano *et al.*, 2018). En contraste, se pueden obtener ventajas relacionadas con la práctica de agroforestería, las cuales abarcan desde la mitigación de la calentura solar en el corto plazo, hasta la disminución más efectiva de la emisión de CO₂ mediante el incremento del área del terreno forestal (Waheed *et al.*, 2018). Además, el carbono capturado por un SAF influyen en las plantaciones, la estructura y su superficie basal (Nadège *et al.*, 2018). También promueven la agrosilvicultura mitigando emisiones de CO₂ relacionadas con el uso de la tierra (Schroth *et al.*, 2016).

1.2.11. Sumidero de carbono en ecosistemas de café

Hergoulach *et al.* (2012) evidenciaron la relación entre los vapores de efecto invernadero (GEI) y dos sistemas cafetaleros: el monocultivo y el SAF conformado por *Inga densiflora*, descubrieron que las reservas de carbono en el monocultivo de café y el SAF fueron de 9,8 ± 0,4 y 25,2 ± 0,6 Mg C.ha⁻¹ respectivamente. Hager (2012) observó la captura del carbono en fincas de café de SAF de 93 ± 29 Mg C.ha⁻¹. Los cafetales agroforestales sombreados por especies arbóreas introducidas (*Pinus* spp., *Eucalyptus* spp.) funcionan mejor en el secuestro

del carbono tal como la *Inga* (Ehrenbergerová *et al.*, 2016). El café expuesto fue de 148,34 Mg C.ha⁻¹, mientras que con un SAF tuvo 195,6 Mg C.ha⁻¹, la producción promedio de café en SAF fue similar a la del cultivo al aire libre (Zaro *et al.*, 2020).

CAPÍTULO II. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Diseño de la investigación

La indagación fue no experimental, por la razón que las variables estudiadas no fueron maniobradas y se evaluaron en su mismo hábitat, tal como se indica en Ato *et al.* (2013). Además, fue descriptivo-correlacional, porque se manifestaron las actitudes de los objetivos estudiados, tales como el carbono en el suelo, biomasa, diámetro, altura, colonización (%) y conteo de esporas de HMA. Asimismo, observándose la dirección relacional de las variables analizadas, teniendo un enfoque correlacional.

Asimismo, fue cuantitativo, porque ambos sistemas de cultivo de café, capturaron el carbono para posteriormente fue analizado (Hernández *et al.*, 2014).

Además, se tomaron mediciones de la densidad arbórea y se recolectaron valores dasométricos para el carbono aéreo en las guabas, así como muestras de raíces y suelo para evaluar la micorrización y conteo de las esporas de HMA. Estas variables se estudiaron en el laboratorio de suelos de la Universidad Nacional de San Martín (Ato *et al.*, 2013).

2.2. Lugar y fecha

Se desarrolló en diferentes sistemas de producción de cafeto arábico y en dos altitudes que varían (800-900 m s.n.m y 1 000-1 200 m s.n.m.) que se localizan en los distritos de Jepelacio y Soritor, encontrándose en la jurisdicción de Moyobamba (Figura 1), cuyo periodo de evaluación fue de mayo a noviembre del 2022. Las parcelas de estudio tienen edades entre 7 a 12 años, teniendo una destemplanza media de 22.18 °C, precipitación anual de 1 431,6 mm en el distrito de Jepelacio, mientras que en el distrito de Soritor tiene una temperatura media de 22,91 °C, precipitación anual de 2 769,6 mm, asimismo, el suelo en el distrito de Jepelacio y Soritor tienen un suelo inceptisol de taxonomía Humic Dystrudepts. Las coordenadas posicionales de las parcelas se encuentran en la Tabla 1, mientras que las coordenadas de las muestras procesadas se hallan en la Tabla 2.

El presente estudio se ejecutó con un total de 12 áreas muestreadas (dos sistemas, dos altitudes y tres repeticiones), siguiendo la metodología de Prachi *et al.* (2019). Los sistemas de café consideradas como parcelas estuvieron conformadas por café como monocultivo y café asociado con guaba, en dos altitudes siendo estas a niveles (800-900 m s.n.m y 1 100-1 200 m s.n.m.). En las parcelas de estudio se encontraron las variedades tales como: catimore, caturra y pache, estas se pueden apreciar en la Figura 1.

Tabla 1

Localización geográfica

Lugar	Coordenadas		
	Este	Norte	Altitud (m s.n.m.)
Jepelacio	288070	9324480	1 066
Soritor	267363	9320953	887

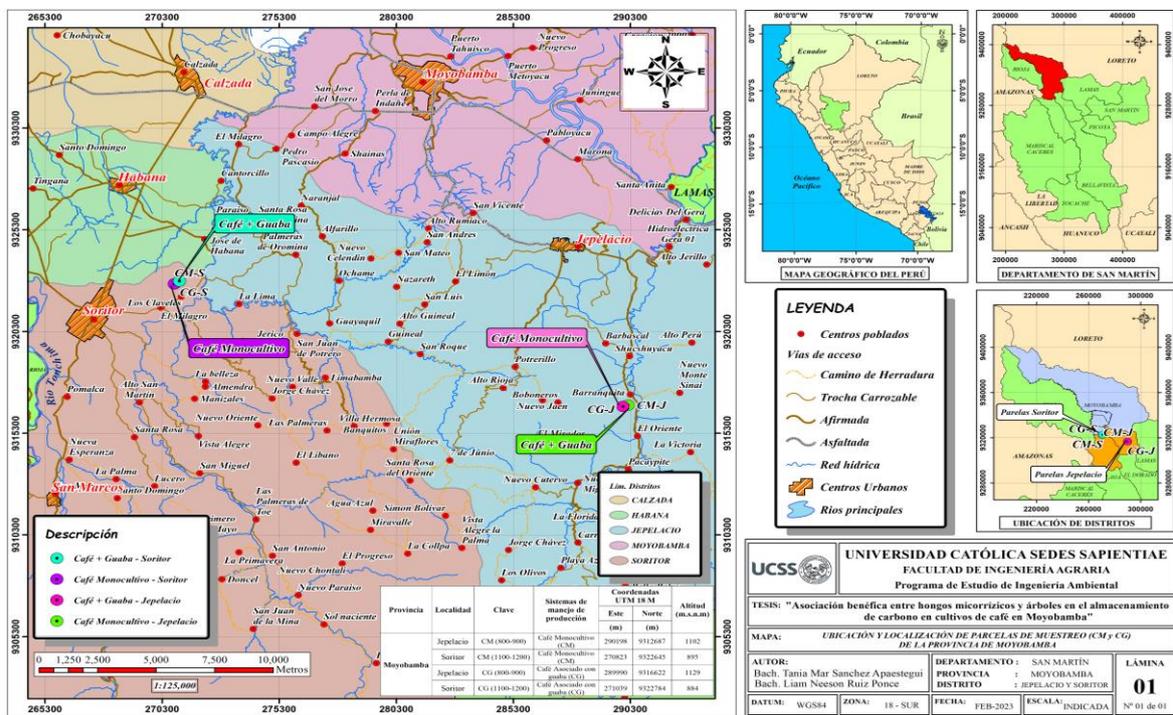
Tabla 2

Localización de los especímenes

Provincia	Localidad	Clave	Sistemas de manejo de producción	Coordenadas		
				Este (18L)	Norte (UTM)	Altitud (m s.n.m.)
Moyobamba	Jepelacio	CM (1100-1200)	Café Monocultivo (CM)	290198	9312687	1 102
	Soritor	CM (800-900)	Café Monocultivo (CM)	270823	9322645	895
	Jepelacio	CG (1100-1200)	Café asociado con guaba (CG)	289990	9316622	1 129
	Soritor	CG (800-900)	Café asociado con guaba (CG)	271039	9322784	884

Figura 1

Plano de localización de los sistemas del café



Nota. El plano señala los sistemas de manejo del cafeto arábico (ver Apéndice 2).

2.3. Población y muestra

Población

Se conformó por cuatro parcelas dentro de la provincia de Moyobamba, albergando densidades de 900 a 1 700 plantas de café en parcelas de 10 000 m², tomando el modelo propuesto por Yan *et al.* (2022).

Muestra

De las 900 a 1700 plantas de café distribuidas en 10 000 m² por cada una de las 12 subparcelas, estas se pueden apreciar en la Tabla 3; seguidamente se evaluaron entre 9 a 17 árboles de café abarcando un área de 100 m² (25 m de largo x 4 m de ancho), que fueron distribuidas en los distritos de Jepelacio y Soritor (ver Apéndice 2).

Tabla 3

Descripción de las parcelas

Parcelas	Sistema de manejo	Nivel altitudinal (m s.n.m.)	Localidad	Número de muestras	Número de submuestras
1	Café monocultivo	800-900	Soritor	1	3
2		1100-1200	Jepelacio	1	3
3	Café asociado con guaba	800-900	Soritor	1	3
4		1100-1200	Jepelacio	1	3
				4	12

2.4. Técnicas e instrumentos

Para la recopilación se empleó la técnica observacional no participativa, donde no se participó ni hubo interacción investigador-sujeto de forma directa ante la situación a estudiar (Hurtado, 2000).

Asimismo, se empleó como instrumento de Ficha de observación no participante (Ficha de análisis de laboratorio y cuaderno de campo), donde se detalló las acciones y se reportó los datos de campo, que se obtuvieron de las parcelas de estudio (Arias, 2020).

2.5. Descripción de la investigación

Etapas de campo

Determinación y elección de las parcelas del café

- Se registró los sistemas de monocultivo y el café asociado con guaba.
- Las cuatro parcelas fueron ubicadas en la provincia de Moyobamba con un área total de 10 000 m². Las plantaciones de café y la guaba fueron reconocidas y geolocalizadas.

Evaluación de la biomasa y carbono en árboles

Se utilizó un diseño de parcelas anidadas. Las parcelas se ubicaron a 50 m del borde de cada finca cafetalera. Para la estimación de la biomasa volátil se utilizaron las subparcelas de 100 m² sugerido por Solis *et al.* (2020) y para facilitar el análisis se utilizó el resultado total por parcela de estudio. En estas parcelas se midieron los parámetros dasométricos tales como: la altura y el diámetro a la elevación del pecho (DAP) con la asistencia de una cinta métrica y las alturas de las plantaciones se midieron con el clinómetro de Suunto, véase la Figura 2. La biomasa aérea fue determinada por los modelos alométricos propuesto por Suarez (2003) y Castellanos *et al.* (2010). Seguidamente la biomasa fue multiplicada por el coeficiente de conversión (0,5) para estimar el carbono en el café (ver Apéndice 4 y 6) (Intergovernmental Panel on Climate Change [IPCC], 2003).

Figura 2

Evaluación de la biomasa aérea y carbón en los árboles



Nota. A) Medición de la altura de la guaba; B) Medición del diámetro de la guaba.

A continuación, se adjuntó las fórmulas empleadas para la evaluación del carbono en la biomasa:

Coffea arabica:

$$\text{LNB} = 2,39287 + 0,95285 \times \text{Ln} (D) + 1,2693 \times \text{LN} (H)$$

Donde el Ln, es el logaritmo de la biomasa; B, es la biomasa aéreo; D, es el DAP y el H, es la altura de la plantación (Suarez, 2003).

Especies de inga:

$$\text{AGB} = 0,01513 \times \text{DBH}^{3,0054}$$

Donde el AGB, es la biomasa aéreo; DBH, es el DAP (Castellanos *et al.*, 2010)

Valoración del carbono en suelos

Los suelos fueron muestreados a partir de calicatas realizados en el centro de cada subparcela de 4 x 25 m, con tres repeticiones. Seguidamente se recogieron las muestras de suelo de 1 kg a una profundidad de 20 cm usando una palana, que se obtuvieron al final un total de 12 muestras de suelo, se puede ver en la Figura 3. Luego se estimó el carbono orgánico del suelo (COS) usando el método propuesto por (Walkley (1947), Arrieche y Pacheco (1998), Soil Survey (2002) e Instituto Geográfico Agustín Codazzi [IGAC], 2003) en el laboratorio de suelos de la Universidad Nacional de San Martín (ver Apéndice 3 y 6).

$$\% \text{ C.O.S} = \frac{(B-M) \times N \times 0,003 \times (100 + pW)}{W_m}$$

Donde, M, es el volumen del compuesto titulante (mL); B, es el volumen del titulante blanco (mL); N, es la normalidad del sulfato ferroso; pW, es la humedad de la muestra seca; 0,003, es el factor químico y el W_m, es el peso de la muestra (g)

Figura 3

Muestras de los suelos del Coffea arabica para el análisis de carbono



Nota. C) Demarcación y extracción de los suelos de estudio; D) Ejemplares recolectados del suelo estudiado.

Biomasa e índice de diversidad de árboles

Dentro de las 12 subparcelas, se determinó el área basal, DAP y alturas de las plantaciones de monocultivo de café y el café asociado con guaba, de ello se realizó la sumatoria para cada parcela, asimismo, se evaluó la cantidad de los elementos de las parcelas asimiladas (Araujo-Murakami *et al.*, 2021). La pluralidad de especies se obtuvo ponderando el número de individuos encontrados para cada zona, donde luego se realizó el índice de diversidad, aplicando el índice de Shannon-Wiener (Shannon y Weaver, 1964). La pluralidad de variedades se evaluó empleándose el índice de variedad de Shannon-Weiner (ver Apéndice 5).

$$H' = - \sum_{i=1}^S p_i \cdot \log_{10} p_i$$

Donde S, es el número de categorías presentes en el biotopo; p_i , es la exuberancia de las especies e i , son las parcelas.

Evaluación de la micorrización

Se recolectaron 500 g de suelo, escogiéndose las raíces secundarias y terciarias, posteriormente, se bañaron en agua ionizada y conteniéndose en tubos de ensayo con OH al 70 %, a una refrigeración del 4 °C. Las raíces se colorearon según lo propuesto por Phillips y Hayman (1970), colocándose envases de vidrio de borosilicato con KOH al 10 % por 24 h. Luego, las raíces pusieron al baño maría a 90 °C por 30 min, lavándose en peróxido de hidrógeno (H₂O₂) por 90 min a temperatura ambiente. Por consiguiente, se bañaron tres veces con vinagre blanco, y aplicando solución Parker al 0,25 %, calentándose en baño maría a 90 °C por 60 min. Finalmente, se bañaron muchas veces para la eliminación de la tinta excedente.

Seguidamente, se preservó en vinagre blanco, luego se evaluó la colonización por HMA, donde se seleccionaron 30 raicillas de 1 cm de largo, colocándose en portaobjetos de

microscopio. Después, se aplicó una gota de lactoglicerol en las raíces, envolvieron con los cubreobjetos (ver Apéndice 5).

Se aplicó lo dispuesto por Brundrett *et al.* (1996) evaluándose la colonización micorrícica. Que tiño las raicillas de 1 cm de largo, colocándose verticalmente en tres lugares observables (superior, intermedia e inferior) con un microscopio a un aumento de 10X. Examinándose y registrándose la manifestación de las micorriza. Esta etapa fue llevado a 30 raicillas envueltas en láminas de portaobjetos.

Luego se empleó la consecutivo ecuación donde se calcularon el porcentaje de colonización micorrícica de HMA en las raíces:

$$\% \text{ CM} = (n/N) \times 100$$

Donde, %CM, son el porcentaje de colonización micorrícica; N, fue el total de segmentos evaluados y n, fue el total de zonas detectadas de estructuras micorrícicas.

Aislamiento y cuantificación de esporas

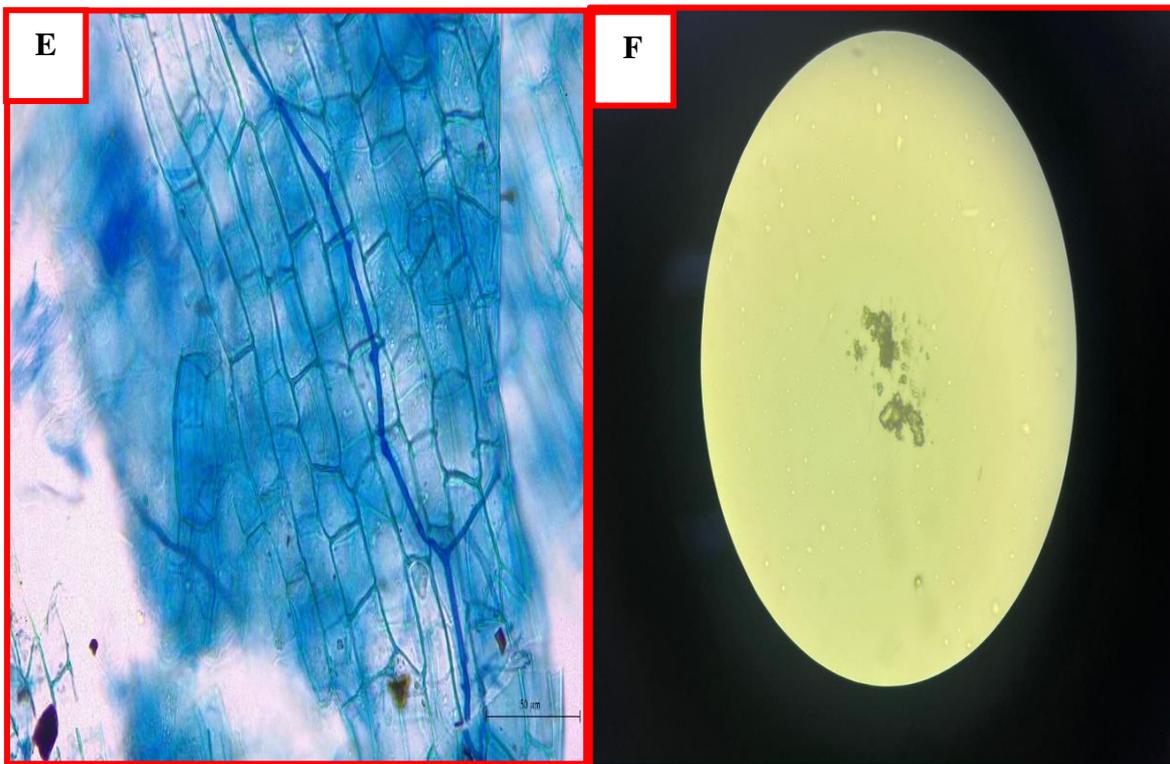
Se tamizó en húmedo y decantó para la adquisición de esporas micorrícicas, que se basa en las técnicas de Gerdemann y Nicolson (1963) y la solución de León (2006), donde se inició en preparar soluciones al 20 y 60 %, respectivamente, y luego enfriarlas en el refrigerador durante aproximadamente una hora permitiendo existencia de dos fases mezclado en los Tubos Falcon, seguidamente se tamizó y decantaron las esporas.

Se empleó una técnica que implicó el uso de una placa Petri, en la que se depositaron 20 g de suelo y se humedeció en agua para suavizarla, tras lo cual se puso a descansar por 2 min. A continuación, la muestra se vertió en un recipiente de 5 L lleno hasta el 80 % en agua y agitándose por 30 seg con una baqueta de madera. Posteriormente, se dejó reposar durante 30 segundos y se filtró cuidadosamente el sobrenadante a través de tamices de 250 y 38 μm , realizando el proceso en 5 ocasiones. Finalmente, se retiró el residuo que quedó en el

recipiente. Después se tamizó y separó las partículas de suelo de las esporas, estas últimas se colocaron en Tubos Falcon con soluciones azucaradas al 20 y 60 %, donde se refrigeraron hasta procesar todas las muestras. Después, se procedió a centrifugar las esporas y el líquido sobrenadante se filtró utilizando un tamiz de 38 μm , seguido de un lavado con agua para prescindir el azúcar remanente. Después, las esporas se trasladaron a una placa Petri y se utilizó un microscopio estereoscópico con una ampliación de 2X para identificar y contar los diferentes tipos de morfotipos presentes, estas se consiguen visualizar en la Figura 4.

Figura 4

Medida de la colonización (%) y el conteo de esporas de HMA del Coffea arabica



Nota. E) Colonización del *Coffea arabica*; F) Conteo de esporas de HMA del *Coffea arabica*.

2.6. Identificación de variables y su mensuración

La presente investigación se emplearon las siguientes variables, se observa en la Tabla 4.

Tabla 4*Operacionalización de las variables de investigación*

VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DIMENSIONES	INDICADORES	UNIDAD DE MEDIDA	INSTRUMENTO
V.1 hongos micorrízicos	Los hongos micorrízicos arbusculares son reinos de flora de jerarquía agraria, que puede reducir por impregnación los metales pesados (Aguirre <i>et al.</i> , 2011). Se encuentran entre el 80-90 % en simbiosis con las especies vegetales, siendo un organismo simbiótico (Pérez, 2001).	Población de esporas HM Colonización micorrícica	Conteo de esporas Colonización	HMA/50 g de suelo rizosférico %	Cuaderno de campo
V.2 árboles para el almacenamiento de carbono	La biomasa aérea y subterránea de cualquier sistema, se evalúa por el tamaño y diámetro de los árboles con ello se emplean funciones matemáticas evaluadas en ecuaciones alométricas (Alegre <i>et al.</i> , 2001).	Parámetros dasométricos	Altura Diámetro	m cm	
V.3 cultivos de café y la guaba	El café se cultiva en climas cálidos y tiene una importancia económica, en el Perú se tiene la ventaja agroclimática para el desarrollo de calidad, en consecuencia teniéndose una diversidad de variedades del café (Castro <i>et al.</i> , 2004).	Dos sistemas de manejo x dos altitudes	Sistema del café monocultivo (CM) variedades de café variedades de la guaba Sistema del café asociado con guaba (CG)	t C.ha ⁻¹ de carbono en la superficie. t C.ha ⁻¹ de carbono en la biomasa	Ficha de análisis de laboratorio

2.7. Análisis estadístico de datos

Los valores se resolvieron en el programa Microsoft Excel 2019, lugar donde se obtuvieron las tablas de la presente investigación. Asimismo, se realizaron las siguientes pruebas estadísticas: prueba de Shapiro-Wilks, análisis de varianza (ANOVA), prueba de Tukey, la correlación de Pearson y la prueba de T de Student para muestras independientes y dependientes, donde se evaluó la vinculación y correlación de la diversidad vegetal respecto al carbono en los suelos, biomasa aérea; de igual manera la correspondencia de la altura y diámetro de la guaba respecto al carbono de la biomasa; y asimismo la densidad de esporas y la micorrización respecto al carbono del suelo, para ello se emplearon los programas: SPSS v. 25, Infostat v.1.0 y el Microsoft Excel Office 365.

2.8. Materiales y equipos

Materiales

- Botas de jebe
- sombrero
- Machete y palana
- Costales
- Bolsas Ziploc
- plumón indeleble
- Etiquetas de rotulación
- Cuaderno de campo
- Paja rafia
- Libreta
- Lapicero
- Bandejas
- Tamiz de 38 micras y 250 micras
- Placas petri
- Tinta Parker
- Papel toalla
- Tubo de ensayo
- Láminas portaobjetos y cubreobjetos
- Piseta y micropiseta

- Cronómetro digital
- Microscopio óptico

Equipos

- GPS
- Clinómetro
- Laptop
- Centrifuga de 5000 rev
- Microscopio óptico

Reactivos e insumos

- Agua destilada
- Alcohol al 70 %
- Lactoglicerol

CAPÍTULO III: RESULTADOS

3.1. Evaluación de la influencia de los árboles en el almacenamiento de carbono en café de la provincia de Moyobamba

Los resultados de la evaluación de la diversidad de los árboles de “cafeto arábigo” *Coffea arabica* en relación con el acopio de carbono en la superficie y en la biomasa del *Coffea arabica*, se encuentran en las Tabla 35, Tabla 36 y Tabla 37 (ver Apéndice 7), las cuales se realizaron en dos sistemas: Monocultivo y Café con Guaba, en dos altitudes diferentes 800-900 m s.n.m y 1 100-1 200 m s.n.m., de variedades tales como: catimore, caturra y pache en parcelas de cafeto arábigo con edades entre 7 y 12 años, teniendo una precipitación anual de 1 431,6 – 2 769,6 mm con una temperatura media entre 22,18 – 22,91 °C, y un suelo inceptisol de taxonomía Humic Dystrudepts. Posteriormente, se procesó la diversidad en gabinete y se analizaron los especímenes de suelo del cafeto en el laboratorio de suelos de la Universidad Nacional de San Martín (ver Apéndice 7).

En la Tabla 5, se analiza la prueba de normalidad de Shapiro-Wilks, evidenciándose que la biomasa del *Coffea arabica* presentó una distribución de normalidad.

Tabla 5

Prueba de normalidad de las muestras del carbono en la biomasa

Sistema de manejo	n	Media	D.E	W*	p (Unilateral D)
CM-800-900	3	2,23	0,22	0,95	0,5661
CM-1100-1200	3	2,68	0,32	0,84	0,2014
CG-800-900	3	5,13	0,59	0,81	0,1497
CG-1100-1200	3	4,43	0,57	0,83	0,1841
Total	12	3,62	1,31	0,87	0,1107

En la Tabla 6 y Tabla 7, se evidenció una divergencia relevante en el análisis de varianza (ANOVA) y en la prueba de Tukey, entre la diversidad de especies respecto al acopio de carbono en la biomasa del cultivo de café arábico.

Tabla 6

ANOVA para las muestras del carbono de la biomasa

F.V.	SC	G.L	C.M	Fc	p-valor
Tratamientos	17,16	3	5,72	28,09	0,0001
Error	1,63	8	0,2		
Total	18,79	11			

Nota. Desviación estándar (S) = 1,306, Media (\bar{x}) = 3,62, Coeficiente de Variación (CV) = 12,47.

Tabla 7

Prueba de Tukey para las muestras del carbono de la biomasa

Sistema de manejo de producción	Medias	N	E.E.	Significación
CM (1100-1200)	5,13	3	0,26	A
CM (800-900)	4,43	3	0,26	A
CG (800-900)	2,68	3	0,26	B
CG (1100-1200)	2,23	3	0,26	B

Posteriormente, se presentó la correlación de Pearson (Tabla 8), observándose que $p \neq 0$, siendo el $p < 0,05$; por lo tanto, coexiste correspondencia relevante entre la pluralidad de las especies de flora respecto al almacenamiento del carbono en la biomasa en dos altitudes diferentes, cuya relación fue directa, teniendo una relación fuertemente positiva de valor ($0,777 \cong 77,7\%$) y la prueba de T de Student del carbono en la biomasa (Tabla 9), evidenció que existió una discrepancia relevante, asimismo, aprobándose la hipótesis alterna en la vinculación del aislamiento de carbono en la biomasa respecto a la diversidad del *Coffea arabica*, habiendo una vinculación directa con una significancia de $2,92 \times 10^{-6}$.

Tabla 8*Correlación de la diversidad del Coffea arabica en relación al carbono de la biomasa*

		Carbono en la biomasa (t C.ha ⁻¹)	Diversidad de especies vegetales
Diversidad de especies vegetales	Correlación de Pearson	0,777	1
	Sig. (bilateral)	0,003	
	N	12	12

Nota. Existió una correlación directa fuertemente positiva entre la diversidad de las especies vegetales y el carbono en la biomasa del *Coffea arabica*.

Tabla 9*Prueba de T de Student del carbono de la biomasa y la diversidad del Coffea arabica*

Parámetros de comparación	Coef. Correlación de Pearson	Media de la diversidad del <i>Coffea arabica</i>	Media del Carbono en la biomasa (t C.ha ⁻¹)	t	GL	Sig. (bilateral)
Diversidad del <i>Coffea arabica</i> vs el carbono en biomasa (t ha ⁻¹) de dos sistemas de manejo del <i>Coffea arabica</i>	0,777	0,335	3,62	-8,698	11	2,92x10 ⁻⁶

Nota. Existió una diferencia significativa entre las especies vegetales y a la biomasa del *Coffea arabica*.

En la Tabla 10, se observa la prueba de normalidad de Shapiro-Wilks, evidenciándose que las muestras de los suelos del *Coffea arabica* presentaron una distribución de normalidad.

Tabla 10*Prueba de normalidad de carbono del suelo*

Sistema de manejo	n	Media	D.E	W*	p (Unilateral D)
CM-800-900	3	41,12	1,48	1	0,9499
CM-1100-1200	3	45,86	2	0,95	0,5842
CG-800-900	3	51,34	1,29	0,98	0,7498
CG-1100-1200	3	54,8	2,84	0,95	0,5617
Total	12	48,28	5,71	0,94	0,6326

En la Tabla 11 y Tabla 12, se evidenció una divergencia relevante en el ANOVA y en la prueba de Tukey, entre la diversidad de especies respecto al carbono del suelo en el café arábico.

Tabla 11

ANOVA en el carbono del suelo

F.V.	SC	G.L	C.M	Fc	p-valor
Tratamientos	326,7	3	108,9	27,32	0,0001
Error	31,88	8	3,99		
Total	358,58	11			

Nota. Desviación estándar (S) = 5,709, Media (\bar{x}) = 48,278, Coeficiente de Variación (CV) = 4,14.

Tabla 12

Prueba de Tukey en el carbono del suelo

Sistema de manejo de producción	Medias	n	E.E.	Significación
CG (1100-1200)	54,8	3	1,15	A
CG (800-900)	51,34	3	1,15	A
CM (1100-1200)	45,86	3	1,15	B
CM (800-900)	41,12	3	1,15	B

Posteriormente, se presentó la correlación de Pearson (Tabla 13), observándose que $p \neq 0$, siendo el $p < 0,05$, por lo tanto, coexiste correspondencia relevante de la variedad de las especies de flora respecto al almacenamiento del carbono en el suelo en dos altitudes diferentes, cuya relación fue inversa, además, tuvo una correspondencia moderadamente negativa de valor $(-0,593 \cong -59,3 \%)$ y la prueba de T de Student del almacenamiento del carbono en el suelo (Tabla 14) evidenció que concurrió una diferencia demostrativa, aprobándose la hipótesis alterna de la vinculación del asilamiento del carbono en el suelo y a la diversidad del *Coffea arabica*, existiendo una vinculación inversa con una significancia de $9,312 \times 10^{-12}$.

Tabla 13

Correlación de la diversidad del Coffea arabica respecto al carbono del suelo

		Carbono en el suelo (t C.ha ⁻¹)	Diversidad de las especies vegetales
	Correlación de Pearson	-0,593	1
Diversidad de las especies vegetales	Sig. (bilateral)	0,042	
	N	12	12

Nota. Existió una correlación inversa moderadamente negativa entre la diversidad de las especies vegetales respecto al carbono en el suelo del cultivo de *Coffea arabica*.

Tabla 14*Prueba de T de Student en el carbono del suelo y la diversidad del Coffea arabica*

Parámetros de comparación	Coef. Correlación de Pearson	Media de la diversidad del <i>Coffea arabica</i>	Media del carbono en el suelo (t C.ha ⁻¹)	t	GL	Sig. (bilateral)
Diversidad del <i>Coffea arabica</i> vs el carbono en el suelo (t C.ha ⁻¹) de dos sistemas de manejo del <i>Coffea arabica</i>	-0,593	0,34	48,28	-29,088	11	9,327x10 ⁻¹²

Nota. Existió una divergencia relevante de la diversidad de las especies vegetales respecto al carbono del suelo.

3.2. Evaluación de la influencia del diámetro y altura de los árboles en el almacenamiento de carbono en café de la provincia de Moyobamba

Los resultados de la estimación del diámetro y la altura de la *Inga* sp. en relación con el carbono de la biomasa de la *Inga* sp., se encuentran en la Tabla 38 y Tabla 39 (ver Apéndice 7), el cual se realizó en el SAF del café con guaba en dos altitudes diferentes 800-900 m s.n.m y 1 100-1 200 m s.n.m., en parcelas de cafeto arábico con edades entre 7 y 12 años, teniendo una precipitación anual de 1 431,6 – 2 769,6 mm con una temperatura media entre 22,18 – 22,91 °C, y un suelo inceptisol de taxonomía Humic Dystrudepts. Posteriormente, se procesó el diámetro y altura de la *Inga* sp. en gabinete.

En la Tabla 15, se observa la prueba de normalidad de Shapiro-Wilks, evidenciándose que la altura de la *Inga* sp. presentaron una distribución de normalidad.

Tabla 15*Prueba de normalidad de la altura de las guabas*

Sistema de manejo	n	Media	D.E	W*	p (Unilateral D)
CM-800-900	0	0	0	0	0
CM-1100-1200	0	0	0	0	0
CG-800-900	3	11,68	0,44	0,98	0,7079
CG-1100-1200	3	9,54	1,15	0,97	0,6792
Total	6	10,61	1,41	0,93	0,6378

En la Tabla 16 y Tabla 17, no se evidenció una divergencia relevante en ANOVA, a diferencia en el ensayo de Tukey que, si se observó una discrepancia demostrativa entre la altura de la *Inga* sp. respecto al acopio de carbono de la biomasa de la *Inga* sp., donde se aceptó la H_0 y se rechazó la H_a , encontrándose que la comparación de ambas variables presentó varianzas iguales o similares.

Tabla 16

ANOVA para la altura vs carbono en la biomasa de la guaba

F.V.	SC	GL	CM	F	p-valor
Altura de guabas	81,36	1	81,36	3,8	0,09
Carbono en biomasa	70,14	1	70,14	3,27	0,11
Altura guaba (m) * Carbono de biomasa (t C.ha ⁻¹)	0,62	1	0,62	0,3	0,87
Error	171,48	8	21,43		
Total	323,6	11			

Tabla 17

Prueba de Tukey de las alturas y el carbono en la biomasa de las guabas

Sistema de manejo de producción	Medias	n	E.E.	Significación
CG (1100-1200)	28,72	2	0,34	A
CG (800-900)	23,45	2	0,34	B

Seguidamente, se presenta la correlación de Pearson (Tabla 18), observándose que $p \neq 0$, siendo el $p > 0,05$, por lo tanto, no existe relación significativa entre la altura de la *Inga* sp. en relación con el carbono de la biomasa en dos altitudes diferentes, cuya relación fue directa, tuvo una relación fuertemente positiva de valor ($0,76 \cong 76\%$) y la prueba de T de Student de la altura de la *Inga* sp. y el carbono de la biomasa (Tabla 19) evidenció que existió una discrepancia relevante, aprobándose la hipótesis alterna, existiendo una vinculación directa con una significancia de $7,89 \times 10^{-8}$.

Tabla 18*Correlación de la altura de las guabas y el carbono de la biomasa*

		Carbono en la biomasa (t C.ha ⁻¹)	Altura de la guaba (m)
Altura (m) de la guaba	Correlación de Pearson	0,76	1
	Sig. (bilateral)	0,813	
	N	6	6

Nota. Existió una correlación directa fuertemente positiva entre la altura de las guabas en relación con el carbono en la biomasa.

Tabla 19*Prueba de T de Student del carbono de la biomasa y la altura de las guabas*

Parámetros de comparación	Coef. Correlación de Pearson	Media de la altura de las guabas	Media del Carbono en la biomasa (t ha ⁻¹)	t	GL	Sig. (bilateral)
Altura de las guabas (m) vs el carbono en la biomasa (t C.ha ⁻¹) del sistema de manejo de café asociado con guaba	0,76	10,61	2,46	13,778	6	7,89x10 ⁻⁸

Nota. Existió una discrepancia relevante entre la altura de las guabas y el carbono en la biomasa.

En la Tabla 20, se observó la prueba de normalidad de Shapiro-Wilks, evidenciándose que el diámetro de la *Inga* sp. presentaron una distribución de normalidad.

Tabla 20*Prueba de normalidad del diámetro de las guabas*

Sistema de manejo	n	Media	D.E	W*	P (Unilateral D)
CM (800-900)	0	0	0	0	0
CM (1100-1200)	0	0	0	0	0
CG (800-900)	3	13,11	0,66	0,96	0,6328
CG (1100-1200)	3	11,21	1,97	0,94	0,5082
Total	6	12,16	1,68	0,86	0,2398

En la Tabla 21, no se evidenció una diferencia significativa en la observación de varianzas (ANOVA), mientras que en la Tabla 22 si existió diferencia en la prueba de Tukey, se observó una divergencia relevante entre el diámetro de la *Inga* sp. respecto al acaparamiento de carbono de la biomasa de la *Inga* sp, donde se aceptó la Ho y se refutó la Ha, encontrándose que la comparación de ambas variables presentó varianzas iguales o similares.

Tabla 21*ANOVA del diámetro y el carbono en la biomasa de las guabas*

F.V.	SC	GL	CM	F	p-valor
Diámetro de las guabas	80,98	1	80,98	2,84	0,13
Carbono en biomasa	68,97	1	68,97	2,42	0,16
Diámetro de las guabas (cm) *	0,59	1	0,59	0,02	0,89
Carbono de biomasa (t C.ha ⁻¹)					
Error	228,21	8	28,53		
Total	378,75	11			

Tabla 22*Prueba de Tukey de los diámetros y el carbono en la biomasa de la guaba*

Sistema de manejo de producción	Medias	n	E.E.	Significación
CG (1100-1200)	32,22	2	0,3	A
CG (800-900)	27,56	2	0,3	B

Seguidamente, se presenta la correlación de Pearson (Tabla 23), observándose que $p \neq 0$, siendo el $p < 0,05$, por lo tanto, existe relación significativa entre el diámetro de la *Inga* sp. en relación con el acopio de carbono en la biomasa en dos altitudes diferentes, cuya relación fue inversa, además, tuvo una relación perfectamente negativa de valor ($-0,921 \cong 92,1 \%$) y la prueba de T de Student del diámetro de la *Inga* sp. respecto a la provisión de carbono en la biomasa (Tabla 24) evidenció que existió una diferencia demostrativa por ende, se aprobó la hipótesis, observándose una influencia inversa con una significancia de $7,41 \times 10^{-8}$.

Tabla 23*Correlación del diámetro de las guabas y el carbono en la biomasa*

		Carbono en la biomasa (t C.ha ⁻¹)	Diámetro de las guabas (cm)
Diámetro de las guabas (cm)	Correlación de Pearson	-0,921	1
	Sig. (bilateral)	2.18×10^{-5}	
	N	6	6

Nota. Existió una correlación inversa perfectamente negativa entre el diámetro de las guabas y el carbono en la biomasa.

Tabla 24*Prueba de T de Student del carbono en la biomasa y el diámetro de las guabas*

Parámetros de comparación	Coef. Correlación de Pearson	Media del diámetro de las guabas	Media del Carbono en la biomasa (t C.ha ⁻¹)	t	GL	Sig. (bilateral)
Diámetro de las guabas (cm) vs el carbono en la biomasa (t ha ⁻¹) del sistema de manejo de café asociado con guaba	-0,921	12,16	2,46	13,87	11	7,41x10 ⁻⁸

Nota. Existió una divergencia relevante entre el diámetro de las guabas y el carbono en la biomasa.

3.3. Determinar la influencia de la micorrización en el almacenamiento de carbono en café de la provincia de Moyobamba

Los resultados de la evaluación de la colonización (%) y el conteo de esporas de HMA del cafeto arábico, se encuentran en la Tabla 37, Tabla 40 y Tabla 41 (ver Apéndice 7), se realizó en dos sistemas: monocultivo y café con Guaba en dos altitudes diferentes 800 - 900 m s.n.m y 1 100-1 200 m s.n.m., en parcelas de cafeto arábico con edades entre 7 y 12 años, teniendo una precipitación anual de 1 431,6 – 2 769,6 mm con una temperatura media entre 22,18 – 22,91 °C, y un suelo inceptisol de taxonomía Humic Dystrudepts. Posteriormente, se procesó la emigración (%) y el conteo de esporas de HMA en gabinete.

En la Tabla 25 y la Figura 13, se evidenció la prueba de normalidad de Shapiro-Wilks, observándose que la colonización del *Coffea arabica* presentó una distribución de normalidad.

Tabla 25*Prueba de normalidad de la colonización del Coffea arabica*

Sistema de manejo	n	Media	D.E	W*	p (Unilateral D)
CM (800-900)	3	29,33	3,39	0,97	0,6875
CM (1100-1200)	3	30,17	3,8	0,83	0,1758
CG (800-900)	3	45,73	5,51	0,98	0,7062
CG (1100-1200)	3	39,33	3,94	0,95	0,5894
Total	12	36,14	7,96	0,93	0,4964

En la Tabla 26, no se evidenció una diferencia significativa en el ANOVA, mientras que en la Tabla 27 existió discrepancia relevante en la prueba de Tukey, evidenciándose una discrepancia relevante entre la colonización respecto al almacenamiento de carbono del suelo *del Coffea arabica*, concluyéndose que se aceptó H_0 y rechazó la H_a , encontrándose que la comparación de ambas variables presentó varianzas iguales o similares.

Tabla 26

ANOVA para la colonización y el carbono en el suelo del Coffea arabica

F.V.	SC	GL	CM	F	p-valor
Colonización (%)	5251456,34	3	1750485,45	39,26	$7,78 \times 10^{-11}$
Carbono en suelos (t C.ha ⁻¹)	1689985,11	3	563328,37	12,63	$1,29 \times 10^{-5}$
Colonización (%) * carbono en los Suelos (t C.ha ⁻¹)	63152,15	9	7016,91	0,16	0,996
Error	1426751,34	32	44585,98		
Total	8431344,96	47			

Tabla 27

Prueba de Tukey de la colonización y el carbono en el suelo

Sistema de manejo de producción	Medias	n	E.E.	Significación
CG (800-900)	2207,93	4	23,61	A
CG (1100-1200)	1898,95	4	23,61	B
CM (1100-1200)	1456,4	4	23,61	C
CM (800-900)	1416,16	4	23,61	C

Seguidamente, se presentó la correlación de Pearson (Tabla 28), observándose que $p \neq 0$, siendo el $p < 0,05$, por lo tanto, existe relación significativa entre la colonización (%) en relación con el aislamiento de carbono en la superficie en dos altitudes desiguales, cuya relación fue directa, además, tuvo una relación fuertemente positiva de valor ($0,608 \cong 60,8$ %) y la prueba de T de Student de la colonización respecto al secuestro del carbono en el suelo (Tabla 29) evidenció que existió discrepancia relevante aprobándose la hipótesis alterna, observándose una vinculación directa con una significancia de 0,000295.

Tabla 28*Correlación de la colonización del Coffea arabica y el carbono en los suelos*

		Carbono en los suelos (t C.ha ⁻¹)	Colonización (%)
	Correlación de Pearson	0,608	1
Colonización (%)	Sig. (bilateral)	0,036	
	N	12	12

Nota. Existió una correlación directa fuertemente positiva entre la colonización (%) y el carbono en el suelo.

Tabla 29*Prueba de T de Student del carbono en los suelos y la colonización del Coffea arabica*

Parámetros de comparación	Coef. Correlación de Pearson	Media de la colonización (%)	Media del Carbono en los suelos (t C.ha ⁻¹)	t	GL	Sig. (bilateral)
Colonización (%) vs el almacenamiento de carbono en los suelos (t C.ha ⁻¹) en dos sistema de manejo del <i>Coffea arabica</i>	0,608	36,14	48,28	-4,293	11	0,000295

Nota. Existió una divergencia relevante entre la colonización (%) y el carbono en el suelo.

En la Tabla 30, se visualizó la prueba de normalidad de Shapiro-Wilks, en donde se evidenció que el conteo de esporas de HMA del *Coffea arabica* presentó una distribución de normalidad.

Tabla 30*Prueba de normalidad del conteo de esporas de HMA del Coffea arabica*

Sistema de manejo	N	Media	D.E	W*	p (Unilateral D)
CM (800-900)	3	165	4,36	0,84	0,219
CM (1100-1200)	3	97	7,64	0,96	0,639
CG (800-900)	3	116	8,14	0,85	0,233
CG (1100-1200)	3	133	13,05	0,99	0,830
Total	12	128	27,1	0,91	0,324

En la Tabla 31, no se evidenció una diferencia significativa en el análisis de varianza (ANOVA), mientras que en la Tabla 32 existió diferencia significativa en el ensayo de Tukey, se visualizó una diferencia significativa, entre el conteo de esporas de HMA y el carbono del suelo, donde se admitió la Ho y se contradujo la Ha, encontrándose que la comparación de ambas variables presentó varianzas iguales o similares.

Tabla 31*ANOVA del conteo de esporas de HMA y el carbono en el suelo del Coffea arabica*

F.V.	SC	GL	CM	F	p-valor
Conteo de esporas de HMA	5251456,34	3	1750485,45	39,26	7,78x10 ⁻¹¹
Carbono en Suelos (t C.ha ⁻¹)	1689985,11	3	563328,37	12,63	1,29x10 ⁻⁵
Conteo de esporas de HMA *	63152,15	9	7016,91	0,16	0,996
Carbono en los Suelos (t C.ha ⁻¹)					
Error	1426751,34	32	44585,98		
Total	8431344,96	47			

Tabla 32*Prueba de Tukey del conteo de esporas de HMA y el carbono en el suelo*

Sistema de manejo de producción	Medias	n	E.E.	Significación
CM (800-900)	7965,92	4	86,66	A
CM (1100-1200)	6404,92	4	86,66	B
CG (800-900)	5584,19	4	86,66	C
CG (1100-1200)	4699,09	4	86,66	D

Seguidamente, se evidenció la correlación de Pearson (Tabla 33), observándose que $p \neq 0$, siendo el $p > 0,05$, por lo tanto, no existe relación significativa entre el conteo de esporas de HMA en relación con el secuestro del carbono en el suelo en dos altitudes diferentes, cuya relación fue inversa, además, tuvo una relación moderadamente negativa de valor $(-0,383 \cong -38,3 \%)$ y la prueba de T de Student del conteo de esporas de HMA respecto al acaparamiento de carbono en la superficie (Tabla 34), se evidenció que existió una discrepancia relevante aprobándose la hipótesis alterna, existiendo una vinculación inversa de $1,37 \times 10^{-9}$.

Tabla 33*Correlación del conteo de esporas de HMA del Coffea arabica y el carbono en los suelos*

		Carbono en el suelo (t C.ha ⁻¹)	Conteo de esporas de HMA
Conteo de esporas de HMA	Correlación de Pearson	-0,383	1
	Sig. (bilateral)	0,219	
	N	12	12

Nota. Existió una correlación inversa moderadamente negativa entre el conteo de esporas de HMA y el carbono en el suelo.

Tabla 34*Prueba de T de Student del carbono en los y el conteo de esporas de HMA*

Parámetros de comparación	Coef. Correlación de Pearson	Media del conteo de esporas de HMA	Media del Carbono en los suelos (t C.ha ⁻¹)	t	GL	Sig. (bilateral)
Conteo de esporas de HMA vs el almacenamiento de carbono en los suelos (t C.ha ⁻¹) en dos sistema de manejo del <i>Coffea arabica</i>	-0,383	128	48,28	9,931	11	1,37x10 ⁻⁹

Nota. Existió una divergencia relevante entre el conteo de esporas de HMA y el carbono del suelo.

CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN

4.1. Evaluación de la influencia de los árboles en el almacenamiento de carbono en café de la provincia de Moyobamba

Se evidenció una concentración media del carbono en la biomasa para el sistema de monocultivo (CM) en altitudes de 800 - 900 m s.n.m. siendo de 4,43 t C.ha⁻¹ y en altitudes de 1 100 - 1 200 m s.n.m. fue 5,13 t C.ha⁻¹ con una diversidad de especies vegetales de 0,366, de igual manera, para el sistema del café asociado con guaba (CG) en altitudes de 800 - 900 m s.n.m. fue 2,68 t C.ha⁻¹ y en altitudes de 1 100 - 1 200 m s.n.m. fue 2,23 t C.ha⁻¹ con un índice de variedad de las familias de flora de 0,304, dichos resultados se encontraron en condiciones de poca diversidad de especies vegetales para el monocultivo y café asociado con guaba en la producción de café de variedades de catimor, caturra y pache y que oscilan edades de 7 - 12 años, teniendo una precipitación anual de 1 431,6 – 2 769,6 mm con una temperatura media entre 22,18 – 22,91 °C, y un suelo inceptisol de taxonomía Humic Dystrudepts. Se evidenciaron valores similares a lo reportado por Soto (2020) quien obtuvo de 2,2 a 6,64 t C.ha⁻¹ de carbono en la biomasa en un SAF de café, estos valores son equivalentes a lo encontrado en el actual trabajo debido a que evidenció poco carbono en la biomasa por la escasa diversidad de las especies vegetales y por la falta de residuos orgánicos depositado a la superficie, como también encontraron en los sistemas agroforestales con café y monocultivo de café a plena exhibición al sol. De igual manera, es corroborado por Cabrera *et al.* (2016) quienes encontraron de 2,03 - 18,25 t C.ha⁻¹ en la biomasa en un SM de café, estos valores son equivalentes a lo encontrado en el presente trabajo debido a que extrajeron de sistemas cafetaleros con sombra diversificada con una densidad arbórea de 9 059 plantas.ha⁻¹, cuyas edades oscilaron desde los 3 a 20 años en altitudes de 1 008 - 1 850 m s.n.m. en el SAF de café tuvo un alto potencial de fijación y almacenamiento de carbono. Asimismo, se observó resultados diferentes presentado por Ortega (2020) quien obtuvo 11,91 t C.ha⁻¹ de carbono en la biomasa en sistema de café asociado con guaba a una diversidad media de especies de 2,29, encontrándose diversos resultados porque se extrajo de cuatro SAF de diferentes familias y las variedades de café de caturra, bourbon y catuaí, a

una altitud de 890 m s.n.m. en suelos inceptisoles con un pH ligeramente ácida, presentando un drenaje regular con un relieve ondulado con presencia de cenizas volcánicas con una densidad arbórea de 3 266 arb.ha⁻¹ con edades de 10 años. Asimismo, se obtuvieron resultados contrastantes a los encontrados por Betanco y Garmendia (2016) quienes obtuvieron de 41,25 - 122,95 t C.ha⁻¹ de carbono en la biomasa del *Coffea arabica* con una diversidad de especies de 2,13, se discrepan porque presentaron diferentes tipos de suelos de pastos, forestal y café, asimismo, almacenó mayor carbono en parcelas de sistema forestal, incrementando su concentración del aislamiento de carbono en tratamientos silvícolas y de conservación de las especies vegetales, teniendo una alta riqueza arbórea a una altitud de 1 170 m s.n.m. en fincas de café de edades de 25 años. De igual manera, se obtuvieron resultados contrastantes a los encontrados por Díaz *et al.* (2016) quienes localizaron de 2,35 - 17,88 t C.ha⁻¹ de carbono en la biomasa del café, estos valores son diferentes a lo encontrado en el presente trabajo debido a que el cambio de sistemas boscosos a un monocultivo disminuye la cabida de capturar carbono, además porque presentó una densidad arbórea de 5 000 plantas.ha⁻¹ en cinco sistemas de uso de la tierra, cuya zona de vida fue Bosque Húmedo Premontano Tropical en parcelas con edades de siete años a una altitud de 928 m.s.n.m. Asimismo, esto podría atribuirse a lo señalado por Cabrera *et al.* (2016) quienes señalan que el acopio de carbono en la biomasa del café es influenciado la diversidad ecológica de los ecosistemas y por las diversas condiciones agroecológicas. Por otro lado, para Beer *et al.* (2003) presentan mayores depósitos de carbono en la biomasa por la existencia de una buena fertilidad y preservación de la biodiversidad de las especies vegetales evidenciadas. En tanto, Schlegel (2001) manifiesta que el carbono de la biomasa del café es mayor por el tipo de manejo agrícola no tradicional. Por último, Becker (1995) señala que las comunidades vegetales están asociadas según su manejo y sostenibilidad de producción agrícola.

Se encontró una concentración media del carbono en la superficie el sistema de monocultivo (CM) en altitudes de 800 - 900 m s.n.m. siendo de 41,12 t C.ha⁻¹ y en altitudes de 1 100 - 1 200 m s.n.m. fue 45,86 t C.ha⁻¹ con una diversidad de las especies vegetales de 0,366, de igual manera, para el sistema del café asociado con guaba (CG) en altitudes de 800 - 900 m s.n.m. fue 51,34 t C.ha⁻¹ y en altitudes de 1 100 - 1 200 m s.n.m. fue 54,80 t C.ha⁻¹ con una diversidad de las especies vegetales de 0,304, dichos resultados se encontraron en condiciones de poca diversidad de especies vegetales para el monocultivo y café asociado

con guaba en la producción de café de variedades de catimor, caturra y pache y que oscilan edades de 7 - 12 años, teniendo una precipitación anual de 1 431,6 – 2 769,6 mm con una temperatura media entre 22,18 – 22,91 °C, y un suelo inceptisol de taxonomía Humic Dystrudepts. Siendo valores discrepante a lo obtenido por Gómez et al. (2018) quienes adquirieron 3,066 - 5,553 t C.ha-1 de carbono en la superficie en el monocultivo de café, asimismo, el carbono en la superficie aumenta con la variación estructural y la riqueza de especies, desarrollándose en medios agroforestales y en bosques secundarios cuyas parcelas tienen edades de 7-10 años, 12-18 años, 20-28 años y > 30 años con una precipitación anual de 1 800 a 2 800 mm y una temperatura promedio de 25 °C. Asimismo, se evidenció resultados diferentes presentados por Soto (2020) quien obtuvo 11,91 t C.ha-1 de carbono en la superficie en sistema del café asociado con guaba con una diversidad de especies de 2,34, se discrepan porque hubo poco carbono en el suelo por la escasa diversidad vegetal y por la falta de la residuos orgánicos depositado a la superficie, siendo encontrado en los SAF y monocultivo de café, también presentó una densidad arbórea de 3 266 árboles con edades de 10 años en el cultivo del café con variedades de café tales como: caturra, bourbon y catuaí, a una altitud de 890 m s.n.m. De igual manera, es refutado por Odar (2018) quien obtuvo 10,97 t C.ha-1 de carbono en la superficie y con una diversidad de especies de 0,693, estos valores son diferentes a lo encontrado en el presente trabajo debido a que encontró en un sistema de manejo del café asociado con guaba en altitudes de 1 103 - 1 192 m s.n.m., además, el sistema de manejo del café asociado con guaba estuvo compuesto (café-guaba y café-guaba-pashaco). Por último, es diferido a lo encontrado por Hergoualc'h et al. (2012) quienes registraron de 111,29 t C.ha-1 de carbono en el suelo, se discrepan porque encontraron un sistema de manejo del café con la Inga densiflora con edades de 7 años con un suelo de tipo estructurado, permeable, de topografía uniforme, con una pendiente suave, además una densidad arbórea media de 4 861 planta.ha-1 en una altitud de 1 180 m s.n.m. y una precipitación anual de 2 300 mm. Asimismo, esto podría atribuirse a lo señalado por Gómez et al. (2018) quienes mencionan que el carbono en el suelo aumenta con la variación estructural y la riqueza de especies; mientras que para Odar (2018) justificó que la importancia de la integración de los árboles en los SAF de café mejora el potencial de secuestro de carbono del suelo; de igual manera, Balaba y Byakagaba (2015) observaron que en fincas de sistemas de monocultivo de café almacenan poco carbono en el suelo a comparación de los sistemas agroforestales; en tanto que Paige et al., (2010) manifiestan que el sistema agroforestal tiene la capacidad de una mayor captura del carbono a comparación

del sistema de monocultivo de café. Por último, para Schimel (1994) evidenció que el acopio de carbono en la superficie en un sistema agroforestal varía según el manejo agronómico, densidad vegetal, distribución de los vegetales, producción de compost, manejo de abono, etc.

4.2. Evaluación de la influencia del diámetro y altura de los árboles en el almacenamiento de carbono en café de la provincia de Moyobamba

En la presente investigación se encontró una concentración media del carbono en la biomasa para el cultivo del café asociado con guaba (CG) en altitudes de 800 - 900 m s.n.m. siendo de 5,13 t C.ha⁻¹ para una altura promedio de 9,54 m y en altitudes de 1 100 - 1 200 m s.n.m. fue 4,43 t C.ha⁻¹ para una altura promedio de 11,68 m, dichos resultados se encontraron en parcelas en la producción de café con especies de catimor, caturra y pache, cuyas edades oscilan de 7 - 12 años, teniendo una precipitación anual de 1 431,6 – 2 769,6 mm con una temperatura media entre 22,18 – 22,91 °C, y un suelo inceptisol de taxonomía Humic Dystrudepts. Estas derivaciones son semejantes lo reportado por Davila (2019) quien obtuvo 5,48 t C.ha⁻¹ de carbono en la biomasa de la *Inga chartacea* en una altura promedio de 10,4 m, asimismo, reportó 3,57 t C.ha⁻¹ de carbono en la biomasa de la *Inga sp* en una altura promedio de 9,5 m, estos valores son similares a lo encontrado debido a que se dio en una conseción de conservación de reserva de carbono compuesta por especies forestales desarrollado en la zona de vida de bosque húmedo premontano tropical con una densidad arbórea de 356 - 445 árboles.ha⁻¹ de un DAP > 10 cm en un terreno empinado de relieve ondulado con una temperatura media de 18 °C en altitudes de 1 292 - 2 297 m s.n.m. De igual manera, es corroborado por Paipa y Triana (2018) quienes reportaron 5,71 t C.ha⁻¹ en la biomasa de la *Inga acrocephala* en una altura promedio de 15,1 m, estos valores son similares a lo encontrado debido a que se desarrolló en un bosque húmedo tropical de zonobioma húmedo tropical Pacífico, dividido en 11 clases diamétricas con una temperatura media de 25 °C a una precipitación anual de 6 750 mm y a una altitud de 1 286 m s.n.m. Por último, es afirmado por López (2014) quien reportó reportaron 5,71 t C.ha⁻¹ en un sistema de café asociado con guaba con una altura media de 6,84 m en altitudes de 836 a 843 m s.n.m., asimismo, reportó 0,51 t C.ha⁻¹ de carbono en la biomasa de la *Inga sp* para una altura media de 6,53 m en altitudes de 1 102 a 1 161 m s.n.m., estos valores son similares a lo encontrado debido a que se desarrolló en suelos con potencial forestal presentando una

calidad agrícola baja, presentando una densidad arbórea media de 5 000 planta.ha⁻¹ y reportando una producción anual de café de 10 a 23 q.año⁻¹. Asimismo, se evidenció resultados diferentes presentados por Burga (2022) quien encontró 10,31 t C.ha⁻¹ de carbono en la biomasa de la *Inga acrocephala* con una altura promedio de 19 m, estos valores son diferentes a lo encontrado debido a que se presentó en un bosque de terraza baja para el manejo forestal intermedio para el beneficio forestal cuya DAP fue \geq a 30 cm con presencia de especies forestales comerciales teniendo seis clases diamétricas, encontrándose además una influencia de la diversidad de especies vegetales en el acopio del carbono en la biomasa generando una reducción en el calentamiento global. Asimismo, esto podría atribuirse a lo señalado por López (2014) quien señala que los sistemas agroforestales asociados con la guaba son un depósito relevante de carbono en la biomasa de café debido a que a mayor altura acumulan mayor carbono en la biomasa del café asociado con la guaba; mientras que para Burga (2022) quien observó que a mayor altura habrá mayor carbono en la biomasa aérea de un manejo agroforestal; de igual manera, para Paipa y Triana (2018) quienes evidenciaron que a mayor altura de las especies vegetales en un sistema agroforestal habrá mayor estructura, composición y acopio de carbono en la biomasa volátil. Por último, para Acosta *et al.* (2002) descubrieron que el carbono en un SAF es variable a su diversidad florística, abundancia y progreso del mismo.

Se encontró una concentración media del carbono en la biomasa para el sistema del café asociado con guaba (CG) en altitudes de 800 - 900 m s.n.m. siendo de 5,13 t C.ha⁻¹ para un diámetro promedio de 11,21 cm y en altitudes de 1 100 - 1 200 m s.n.m. fue 4,43 t C.ha⁻¹ para un diámetro promedio de 13,11 cm, dichos resultados se encontraron en parcelas en la producción de café con variedades catimor, caturra y pache, cuyas edades oscilaban de 7 - 12 años, teniendo una precipitación anual de 1 431,6 – 2 769,6 mm con una temperatura media entre 22,18 – 22,91 °C, y un suelo inceptisol de taxonomía Humic Dystrudepts. Son resultados idénticos a lo encontrado por López (2014) quien encontró 0,57 t C.ha⁻¹ de carbono en la biomasa para el sistema del café asociado con guaba para un diámetro promedio de 44,01 cm, asimismo, encontró 0,51 t C.ha⁻¹ de carbono en la biomasa de la guaba con un diámetro promedio de 41,37 cm en la biomasa de la guaba, estos valores son similares a lo encontrado debido a que se desarrolló en suelos con potencial forestal presentando una calidad agrícola baja, teniendo una densidad arbórea media de 5 000 planta.ha⁻¹ y reportando una producción anual de café de 10 - 23 q.año⁻¹, observándose en

un terreno empinado de relieve ondulado con una temperatura media de 18 °C para parcelas con edades de 4 a 7 años en altitudes de 836 - 1 161 m s.n.m. Asimismo, se evidenció resultados diferentes presentados por Burga (2022) quien encontró 10,31 t C.ha⁻¹ de carbono en la biomasa de la *Inga acrocephala* con un diámetro promedio de 80 cm, estos valores son diferentes a lo encontrado debido a que se presentó en un bosque de terraza baja para la administración forestal intermedio para el beneficio forestal cuya DAP fue \geq a 30 cm con presencia de especies forestales comerciales teniendo seis clases diamétricas, además con una densidad arbórea de 445 árboles.ha⁻¹ a una altitud de 1 146 m s.n.m., encontrándose además una influencia de la diversidad de especies vegetales del carbono en la biomasa generando una reducción en el calentamiento global. De igual manera, es refutado por Davila (2019) quien encontró 5,48 t C.ha⁻¹ de carbono en la biomasa de la *Inga chartacea* con un diámetro promedio de 16,93 cm, asimismo, encontró 3,57 t C.ha⁻¹ de carbono en la biomasa de la guaba con un diámetro promedio de 17,15 cm en la biomasa de la guaba, estos valores son diferentes a lo encontrado debido a que se dio en una concesión de conservación de reserva de carbono compuesta por especies forestales desarrollado en la zona de vida de bosque húmedo premontano tropical con una densidad arbórea de 356 - 445 árboles.ha⁻¹ de un DAP > 10 cm en un terreno empinado de relieve ondulado con una calentura media de 18 °C en altitudes de 1 292 - 2 297 m s.n.m. Por último, es diferido a lo reportado por Paipa y Triana (2018) quienes encontraron 5,72 t C.ha⁻¹ de carbono en la biomasa de la *Inga acrocephala* con un diámetro promedio de 60 cm, estos valores son diferentes a lo encontrado debido a que se desarrolló en un bosque húmedo tropical de zonobioma húmedo tropical con un registro de 250 especies por hectárea cuya DAP fue mayor a 10 cm, presentando 11 clases diamétricas con una temperatura media de 25 °C y una precipitación anual de 6 750 mm a una altitud de 1 286 m s.n.m. Asimismo, esto podría atribuirse a lo señalado por López (2014) quien señala que los sistemas agroforestales asociado con la guaba son un depósito relevante de carbono en la biomasa de café, debido a que a mayor diámetro acumula mayor carbono en la biomasa del café asociado con la guaba; mientras que para Burga (2022) quien encontró que a mayor diámetro habrá mayor carbono en la biomasa volátil; para Paipa y Triana (2018) quienes descubrieron que a mayor variabilidad diametral evidencia que existirá mayor abundancia de especies y de la captura del carbono en la biomasa aérea. Por último, para Schlegel (2001) quien menciona que el carbono en la biomasa es variable en función al ecosistema, la composición florística, la abundancia de la población y el estado del progreso del mismo.

4.3. Determinación de la influencia de la micorrización en el almacenamiento de carbono en café de la provincia de Moyobamba

Se encontró una concentración media del carbono en la superficie para el sistema de monocultivo (CM) en altitudes de 800 - 900 m s.n.m. siendo de 41,12 t C.ha⁻¹ con una colonización de 29,33 % y en altitudes de 1 100 - 1 200 m s.n.m. fue 45,86 t C.ha⁻¹ con una colonización de 30,17 %, para el sistema del café asociado con guaba (CG) en altitudes de 800 - 900 m s.n.m. fue 51,34 t C.ha⁻¹ con una colonización de 45,73 % y en altitudes de 1 100 - 1 200 m s.n.m. fue 54,80 t C.ha⁻¹ con una colonización de 39,33 %; dichos resultados se encontraron en parcelas en la producción de café con familias de catimor, caturra y pache, cuyas edades oscilan de 7 - 12 años, teniendo una precipitación anual de 1431.6 - 2769.6 mm con una temperatura media entre 22.18 – 22,91 °C, y un suelo inceptisol de taxonomía Humic Dystrudepts. Son resultados identificas lo encontrado por Arteaga (2019) quien encontró 41,12 t C.ha⁻¹ de carbono en el suelo con una colonización entre 15,72 a 31,14 %, asimismo, encontró 54,8 t C.ha⁻¹ de carbono en el suelo con una colonización entre 15,84 a 16,35 %, estos valores son similares a lo encontrado debido a que desarrollaron en un sistema de monocultivo del *Coffea arabica* con una densidad arbórea de 4 444 a 8 333 plantas.ha⁻¹ con presencia vegetal de purma, maíz y frijol, en suelos de clases texturales de franco arcillo arenoso, franco arcilloso y arcillo arenoso, cuyas edad fueron de 4 años. De igual manera, es afirmado por Carbonel (2009) quien encontró 46,4 t C.ha⁻¹ de carbono en el suelo con una colonización de 53,8 %, asimismo, encontró 44,4 t C.ha⁻¹ de carbono en el suelo con una colonización de 48,42 %, estos valores son similares a lo encontrado debido a que se desarrollaron en un sistema de monocultivo del *Coffea arabica* y en un SAF del café asociado con guaba en suelos aluviales, además una zona de vida de bosque muy húmedo premontano cálido, presentando una densidad arbórea de 10 a 11 600 árboles.ha⁻¹ con suelos ligeramente ácidos con una calentura media de 23,1 °C, una precipitación anual de 2 010,4 mm y una humedad relativa de 78,2 % a altitudes que oscilan de 800 a 2 200 m s.n.m. Por último, es diferido a lo reportado por Arévalo *et al.* (2021) quienes encontraron de 12,8 a 35,2 t C.ha⁻¹ de carbono en el suelo en un SAF del *Coffea arabica* con la *Inga* sp. con una colonización entre 38 a 65 %, estos valores son diferentes a lo encontrado debido a que se desarrolló en un sistema agroforestal cuyas variedades de café fueron la caturra, pache y nacional, con una densidad arbórea de 384 plantas.ha⁻¹, que evidenciaron una producción de granos uniformes de buena calidad con tolerancia a la roya amarilla con un clima medio de

23,20 °C, una precipitación anual de 4,8 a 88,1 mm a una altitud de 1 050 m s.n.m. Asimismo, esto podría atribuirse a lo señalado por Smith y Smith (2012) quienes señalan que el cultivo de plántulas de café en un medio de monocultivo presenta un proceso lento en la colonización natural; mientras que para Sánchez *et al.* (2005) quienes mencionan que los minerales vegetales en un SAF se vinculan por la atracción de las hifas extra radiculares, pudiendo capturar el carbono en la biomasa y los nutrientes en la superficie. Por último, para Cardoso *et al.* (2003) quienes descubrieron que existe mayor presencia de micorrizas en profundidades de 10 - 30 cm del suelo con cantidades entre 60 al 80 % de micorrización, formando un resultado auténtico en la captura de carbono almacenado en las plantas de café.

Se encontró una concentración media del carbono en la superficie para el sistema de monocultivo (CM) en altitudes de 800 - 900 m s.n.m. siendo de 41,12 t C.ha⁻¹ con una densidad de 165 esporas de HMA/50 g de suelo rizosférico y en altitudes de 1 100 - 1 200 m s.n.m. fue 45,86 t C.ha⁻¹ con una consistencia de 97 esporas de HMA/50 g de suelo rizosférico, de igual manera, para el sistema del café asociado con guaba (CG) fue 51,34 t C.ha⁻¹ en altitudes de 800 - 900 m s.n.m. con una consistencia de 116 esporas de HMA/50 g de suelo rizosférico y en altitudes de 1 100 - 1 200 m s.n.m. fue 54,80 t C.ha⁻¹ con una consistencia de 133 esporas de HMA/50 g de suelo rizosférico, dichos resultados se encontraron en parcelas en un cultivo de café con familias de catimor, caturra y pache, cuyas edades oscilan de 7 - 12 años, teniendo una precipitación anual de 1 431,6 - 2 769,6 mm con un clima medio entre 22,18 - 22,91 °C, y un suelo inceptisol de taxonomía Humic Dystrudepts. Son resultados idénticos lo encontrado por Arteaga (2019) quien encontró 41,12 t C.ha⁻¹ de carbono en el suelo con una consistencia de 19 a 91 esporas de HMA/50 g de suelo rizosférico en altitudes de 851 - 860 m s.n.m., asimismo, encontró 54,8 t C.ha⁻¹ de carbono en el suelo con una consistencia de 57 - 106 esporas de HMA/50 g de suelo rizosférico en altitudes de 1 054 - 1 088 m s.n.m, estos valores son similares a lo encontrado debido a que se desarrolló en un SM del *Coffea arabica* con una consistencia arbórea de 4 444 - 8 333 plantas.ha⁻¹ con presencia vegetal de purma, maíz y frijol, en parcelas presentaron una clase textural de franco arcillo arenoso, franco arcilloso y arcillo arenoso, cuyas parcelas tuvieron edades de 4 años. De igual manera, es afirmado por Arias *et al.* (2012) quienes encontraron 30,01 t C.ha⁻¹ de carbono en el suelo con una consistencia de 213 esporas de HMA/50 g de suelo rizosférico a una altitud de 824 m s.n.m., asimismo, encontraron 17,92 t C.ha⁻¹ de carbono en el suelo con una consistencia de 186 esporas de HMA/50 g de suelo rizosférico a una altitud de 873 m s.n.m, estos valores son similares a lo

encontrado debido a que se desarrolló en un sistema de monocultivo del *Coffea arabica* con una densidad arbórea de 1 554 - 2 500 plantas.ha⁻¹ con la variedad de catimor, además con las especies *Inga jinicuil* y *Inga vera*, en parcelas de sistemas de monocultivo y sistemas boscosos, en suelos acrisol ándico y andosol úmbrico, registrándose una temperatura media de 12,5 °C y una altitud de 300 - 2 000 m s.n.m. Por último, es refutado por Carbonel (2009) quien encontró 46,4 t C.ha⁻¹ de carbono en el suelo de carbono en la superficie con una consistencia de 50 esporas de HMA/50 g de suelo rizosférico en un sistema de monocultivo de *Coffea arabica*, asimismo, encontró 44,4 t C.ha⁻¹ de carbono en la superficie con una consistencia de 85 esporas de HMA/50 g de suelo rizosférico en un sistema agroforestal del café agrupado con guaba, estos valores son diferentes a lo encontrado debido a que se desarrolló en un sistema de monocultivo del *Coffea arabica* y en un sistema agroforestal en suelos aluviales teniendo una zona de vida bosque muy húmedo premontano tropical con una diversidad arbórea de 10 - 11 600 árboles.ha⁻¹, registrándose una temperatura media de 23,1 °C, una precipitación anual de 2 010,4 mm a una altitud de 800 - 2 200 m s.n.m. Asimismo, esto podría atribuirse a lo señalado por Del Águila (2016) quien menciona que la densidad de esporas de HMA sobre la nutrición y captura del carbono en las plantas de café fue relevante debido a la riqueza biológica asociada a mayor altitud del lugar de muestreo; mientras que Trejo *et al.* (2011) observaron que el incremento de la cohesión de las esporas de HMA generó un rápido crecimiento y mayor captura del carbono en las plántulas de café. Por último, para Cardoso *et al.* (2003) quienes descubrieron que la adjudicación de las esporas de HMA en los SAF evidenciaron muchas esporas en las capas de la superficie de 10 - 30 cm de hondura, que en un sistema de monocultivo de café.

CAPÍTULO V: CONCLUSIONES

- Se evidenció una correspondencia inmediata y fuertemente positiva entre la diversidad del *C. arabica* y el almacenamiento del carbono en la biomasa, encontrándose que a mayor altitud existirá una mayor diversidad de las variedades del café y la guaba ocasionando un incremento en el carbono en la biomasa en los sistemas (monocultivo (CM) y el café asociado con guaba (CG)), mientras que se observó una relación inversa y prudentemente negativa entre la diversidad del *C. arabica* y el almacenamiento del carbono en el suelo, encontrándose que a mayor altitud existirá una menor diversidad de las variedades del café y la guaba ocasionando un incremento en el carbono en la superficie en los sistemas (monocultivo (CM) y el café asociado con guaba (CG)), debido a las edades de los cultivos de 7 - 12 años en un suelo inceptisol a una temperatura media entre 22,18 - 22,91 °C y una precipitación anual de 1 431,6 - 2 769,6 mm.
- Se evidenció una correspondencia directa y fuertemente positiva entre la altura de la guaba y el almacenamiento del carbono en la biomasa, encontrándose que a mayor altitud existirá una mayor altura generando un incremento en el carbono en la biomasa en la práctica del café asociado con guaba (CG), mientras que se evidenció una relación inversa y perfectamente negativa entre el diámetro de la guaba y el almacenamiento del carbono en la biomasa, encontrándose que a mayor altitud existirá un mayor diámetro de la guaba pero una disminución significativa del carbono en la biomasa por las edades de los cultivos de 7 - 12 años en un suelo inceptisol a una temperatura media entre 22,18 - 22,91 °C y una precipitación anual de 1 431,6 - 2 769,6 mm.

- Se evidenció una analogía directa y fuertemente positiva relación entre la colonización (%) y el almacenamiento del carbono en el suelo, encontrándose que a mayor altitud existirá una mayor colonización (%) genera un incremento en el carbono en el suelo en los sistemas CM y CG, mientras que se evidenció una relación inversa y moderadamente negativa entre el conteo de esporas de HMA y el almacenamiento del carbono en la superficie, encontrándose que a mayor altitud existirá un menor conteo de esporas de HMA ocasionando un moderado incremento del carbono en el suelo en los sistemas CM y CG, ello debido a los cultivos de 7 - 12 años en un suelo inceptisol a una temperatura media entre 22,18 - 22,91 °C y una precipitación anual de 1 431,6 - 2 769,6 mm.

CAPÍTULO VI: RECOMENDACIONES

1. Se recomienda realizar estudios completos relacionados al cambio climático, estudiando las variables climáticas en la afectación de los rendimientos y productividad de los cafetos.
2. Se sugiere realizar estudios con otros índices de diversidad alfa, asimismo las edades de las guabas, para observar el comportamiento en relación con el almacenamiento del carbono en el suelo y en la biomasa.
3. Se recomienda hacer mayores investigaciones en mayores altitudes a los realizados, con el propósito de saber la relación entre las variables estudiadas y así poder conocer en qué altitudes, densidades, parámetros dasométricos entre otros, se pueden almacenar mayor cantidad de carbono, también una buena producción y productividad en el cultivo del cafeto arábico.
4. Se recomienda identificar las especies de micorrizas arbusculares y su potencial en el almacenamiento del carbono en suelos de café de diferentes niveles altitudinales en la amazonia peruana.

REFERENCIAS

- Abada, M. M., Zekeng, J. C., Mala, W. A., Fobane, J. L., Djomo, C. C., Ngavounsia, T., Nyako, C. M., Florent, E. y Tamanjong, Y. V. (2016). The role of cocoa agroforestry systems in conserving forest tree diversity in the Central region of Cameroon [El papel de los sistemas agroforestales de cacao en la conservación de la diversidad de árboles forestales en la región central de Camerún]. *Agroforestry Systems*, 90, 577-590. <https://doi.org/10.1007/s10457-016-9945-8>
- Acevedo, E. y Martínez, E. (2003). Sistema de Labranza y Productividad de los Suelos. Serie *Ciencias Agronómicas*, 8, 13-27. https://www.researchgate.net/publication/242377598_Sistema_de_Labranza_y_Productividad_de_los_Suelos
- Acosta, M., Vargas, J., Velázquez, A. y Etchevers, J. (2002). Estimación de la biomasa aérea mediante el uso de relaciones alométricas en seis especies arbóreas en Oaxaca, México. *Agrociencia*, 36(6), 725-736. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7116639&orden=0&info=link>
- Aguirre-Cadena, J. F., Cadena-Iñiguez, J., Ramírez-Valverde, B., Trejo-Téllez, B. I., Juárez Sánchez, J. P. y Morales-Flores, F. J. (2016). Diversificación de cultivos en fincas cafetaleras como estrategia de desarrollo. Caso de Amatlán. *Acta Universitaria*, 26(1), 30-38. <https://doi.org/10.15174/au.2016.833>
- Ahmed, S., Griffin, T., Kraner, D., Schaffner, M., Sharma, D., Hazel, M., Leitch, A., Orians, C., Han, W., Stepp, J., Robbat, A., Matyas, C., Long, C., Xue, D., Houser, R. y Cash, S. (2019). Environmental factors variably impact tea secondary metabolites in the context of climate change [Los factores ambientales afectan de forma variable los metabolitos secundarios del té en el contexto del cambio climático]. *Frontiers Plant Science*, 10. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00939>
- Al-Areqi, A. H., Chliyeh, M., Ouazzani, A., Benkirane, R. y Douira, A. (2014). Effect of a composite endomycorrhizal inoculum on the growth of *Coffea arabica* seedlings [Efecto de un inóculo endomicorrízico compuesto sobre el crecimiento de plántulas de *Coffea arabica*]. *International journal of plant, animal and environmental sciences*, 4(1), 185-194. https://www.researchgate.net/publication/286013232_EFFECT_OF_A_COMPOSITE_ENDOMYCORRHIZAL_INOCULUM_ON_THE_GROWTH_OF_COFFEA_ARABICA_SEEDLINGS
- Araujo-Murakami, A., Milliken, W., Klitgaard, B., Carrion-Cuellar, A. M., Vargas-Lucindo, S., Parada-Arias, R., Alvez de Oliveira, P. y Vasquez-Colomo, G. (2021). Diversidad, estructura y composición florística de los bosques de tierra firme y várzea

en el oeste de Pando, Bolivia. *Ecología en Bolivia*, 56(2), 78-90.
http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1605-25282021000200003

Arévalo, L., Alegre, J. y Palm, C. (2003). Manual de determinación de las reservas de carbono en los diferentes sistemas de uso de la tierra en Perú. Instituto Nacional de Investigación Agraria. <https://catalogobiam.minam.gob.pe/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=2332>

Arévalo, L., Vallejos, G. y Gonzales, R. (2021). Manual práctico: desarrollo de tecnologías sostenible del café con hongos micorrízicos arbusculares. Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana. <https://repositorio.iiap.gob.pe/handle/20.500.12921/623>

Arias, R., Heredia-Abarca, G., Sosa, Vinicio. y Fuentes-Ramírez, L. (2012). Diversity and abundance of arbuscular mycorrhizal fungi spores under different coffee production systems and in a tropical montane cloud forest patch in Veracruz, Mexico [Diversidad y abundancia de esporas de hongos micorrízicos arbusculares bajo diferentes sistemas de producción de café y en un parche de bosque nublado montano tropical en Veracruz, México]. *Agroforestry Systems – Springer*, 85, 179–193.
<https://doi.org/10.1007/s10457-011-9414-3>

Arias, J. 2020. Técnicas e instrumentos de investigación científica. Enfoques Consulting.
https://www.researchgate.net/profile/Jose-Arias-Gonzales-3/publication/350072286_TECNICAS_E_INSTRUMENTOS_DE_INVESTIGACION_CIENTIFIICA/links/604f8431458515e8344a4467/TECNICAS-E-INSTRUMENTOS-DE-INVESTIGACION-CIENTIFIICA.pdf

Arrieche, I. y Pacheco, Y. (1998). Determination of Organic Carbon In Soil Samples Using Two Analytical Methods [Determinación de carbono orgánico en muestras de suelo mediante dos métodos analíticos]. *Fondo Nacional de Investigaciones Agropecuarias del Estado Yaracuy*, 6(12), 9-13.

Arteaga, E. (2019). Identificación de la diversidad y colonización de Hongos Micorrízicos Arbusculares (HMA) nativos, en el cultivo de café (*Coffea arabica* L.), en cuatro provincias (El Dorado, Lamas, San Martín y Moyobamba) en la región San Martín [Trabajo de pregrado, Universidad Nacional de San Martín]. Repositorio Institucional UNSM. <https://repositorio.unsm.edu.pe/handle/11458/3529>

Ato, M., López, J. y Benavente, A. (2013). Un sistema de clasificación de los diseños de investigación en psicología. *Anales de Psicología*, 29(3), 1038-1059. <https://dx.doi.org/10.6018/analesps.29.3.178511>

- Balaba, S. y Byakagaba, P. (2015). Soil organic carbon stocks under coffee agroforestry systems and coffee monoculture in Uganda [Reservas de carbono orgánico del suelo en sistemas agroforestales de café y monocultivos de café en Uganda]. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 216, 188–193. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2015.09.037>
- Bastin, J. F., Finegold, Y., Garcia, C., Mollicone, D., Rezende, M., Routh, D., Zohner, C. M. y Crowther, T. W. (2019). The global tree restoration potential [El potencial global de restauración de árboles]. *Science*, 5, 76-79. doi: 10.1126/science.aax0848
- Becker, B. (1995). Indicator plants for sustainability assessment of tropical production system [Plantas indicadoras para la evaluación de la sostenibilidad del sistema de producción tropical]. *Journal of Applied Botany*, 69(3-4), 145-151.
- Beer, J., Harvey, C. A., Ibrahim, M., Harmand, J., Somarriba, E. y Jiménez, F. (2003). Servicios ambientales de los sistemas agroforestales. *Agroforestería en las Américas*, 10(37-38), 80-87. <https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/6806>
- Betanco, E. y Garmendia, M. (2016). Caracterización de la biodiversidad arbórea y secuestro de carbono en diferentes usos de suelo, en tres comunidades. Reserva Natural Tomabú, Estelí [Trabajo de pregrado, Universidad Católica del Trópico Seco]. Repositorio Institucional. <http://repositorio.unflep.edu.ni/54/>
- Bonfante, P. y Genre, A. (2010). Mechanisms underlying beneficial plant-fungus interactions in mycorrhizal symbiosis [Mecanismos subyacentes a las interacciones beneficiosas entre plantas y hongos en la simbiosis micorrízica]. *Nature Communications*, 48(1). <https://doi.org/10.1038/ncomms1046>
- Brown, S. (1997). Estimating Biomass and Biomass Change of Tropical Forests: A Primer. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). <https://www.fao.org/3/w4095e/w4095e00.htm>
- Brundett, M., Bougher, N., Dell, B., Grove, T. y Malajczuk, N. (1996). Working with mycorrhizas in forestry and agriculture. Australian Centre for International Agricultural Research. Doi: 10.13140/2.1.4880.5444
- Burga, M. F. (2022). Biomasa y stock de carbono en las especies comerciales de un bosque de terraza baja del distrito del Napo, Loreto, 2019 [Tesis de pregrado, Universidad Científica del Perú]. Repositorio Institucional UCP. <http://repositorio.ucp.edu.pe/handle/UCP/1822>

- Caballero, L. (2021). Perfil de mercado de café. Ministerio de Relaciones exteriores. <https://www.cien.adexperu.org.pe/wp-content/uploads/2021/06/Perfil-del-Mercado-de-Caf%C3%A9-en-Grano-verde-a-Suiza.pdf>
- Cabrera, M., Vaca, S., Aguirre, F. y Aguirre, H. (2016). Almacenamiento de carbono en sistemas agroforestales cafetaleros en las provincias de Jaén y San Ignacio, Cajamarca. *Revista Multidisciplinaria Pakamuros*, 4(1), 43-54. <https://doi.org/10.37787/pakamuros-unj.v4i1.42>
- Cairns, M.A, Brown, S., Helmer, F.H. y Baumgardner, G. A. (1997). Root biomass allocation in the world's upland forests [Asignación de biomasa de raíces en los bosques de tierras altas del mundo]. *Oecologia*, 111, 1–11. <https://doi.org/10.1007/s004420050201>
- Campo, A. M. y Duval, V. S. (2014). Diversidad y valor de importancia para la conservación de la vegetación natural. Parque Nacional Lihué Calel (Argentina). *Anales de Geografía*, 34(2), 25-42. http://dx.doi.org/10.5209/rev_AGUC.2014.v34.n2.47071
- Carbonel, D. (2009). Diagnóstico de micorrizas en 5 sistemas de uso del suelo en el valle de Chanchamayo [Trabajo de pregrado, Universidad Nacional Agraria La Molina]. Repositorio Institucional UNALM. <https://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/20.500.12996/1682>
- Cardoso, I. M., Boddington, C., Janssen, B. H., Oenema, O. y Kuyper, T. W. (2003). Distribution of mycorrhizal fungal spores in soils under agroforestry and monocultural coffee systems in Brazil [Distribución de esporas de hongos micorrízicos en suelos bajo sistemas agroforestales y monocultivos de café en Brasil]. *Agroforestry Systems*, 58(1), 33-43. <https://doi.org/10.1023/A:1025479017393>
- Carter, M. R. (2002). Soil quality for sustainable land management: organic matter and aggregation interactions that maintain soil functions [Calidad del suelo para el manejo sostenible de la tierra: materia orgánica e interacciones de agregación que mantienen las funciones del suelo]. *Agronomy Journal*, 94(1), 38-47. <https://doi.org/10.2134/agronj2002.3800>
- Castellanos, E., Quilo, A. y Pons, D. (2010). Estudio de línea base de carbono en cafetales. Centro de Estudios Ambientales y de Biodiversidad. Universidad del Valle de Guatemala. Guatemala.
- Chisholm, R. A., Muller-Landau, H. C., Abdul, K., Bebber, D. P., Bin, Y., Bohlman, S. A., Bourg, N. A., Brinks, J., Bunyavejchewin, S., Butt, N., Cao, H., Cao, M., Cárdenas,

- D., Chang, L., Chiang, J., Chuyong, G., Condit, R., Dattaraja, H. S., Davies, S., Duque, A., Fletcher, C., Gunatilleke, N., Gunatilleke, S., Hao, Z., Harrison, R. D., Howe, R., Hsieh, C., Hubbell, S., Itoh, A., Kenfack, D., Kiratiprayoon, S., Larson, A., Lian, J., Lin, D., Liu, H., Lutz, J., Ma, K., Malhi, Y., McMahon, S., McShea, W., Meegaskumbura, M., Mohd, S., Morecroft, M. D., Nytch, C. J., Oliveira, A., Parker, G. G., Pulla, S., Puchi-Manage, R., Romero-Saltos, H., Sang, W., Schurman, J., Su, S., Sukumar, R., Sun, I., Suresh, H. S., Tan, S., Thomas, D., Thomas, S., Thompson, J., Valencia, R., Wolf, A., Yap, S., Ye, W., Yuan, Z. y Zimmerman, J. K. (2013). Scale-dependent relationships between tree species richness and ecosystem function in forests [Relaciones dependientes de la escala entre la riqueza de especies de árboles y la función del ecosistema en los bosques]. *Journal of Ecology*, 101(5), 1214-1224. <https://doi.org/10.1111/1365-2745.12132>
- Clark, R. B y Zeto S. K. (2000). Mineral acquisition by arbuscular mycorrhizal plants [Adquisición de minerales por plantas micorrízicas arbusculares]. *Journal of Plant Nutrition*, 23(7), 867-902. <https://doi.org/10.1080/01904160009382068>
- Comerio, M., Verdin, A. C., Brites, J. F., Volpi, P. S., Andrade, S., Gava, R., Gava, M., Almeida, A., Ferreira, R., Tomaz, M., Colodetti, T., Nunes, W., Armani, E., Fornaciari, G., Santos, M., Pereira, K. y Zanoni, G. (octubre 8-11, 2019). Análise comparativa de cafés conilon e arábica em sistema agroflorestal e em monocultivo. X Simposio de Pesquisa dos Cafés do Brasil. [Simposio]. Instituto Capixaba de Investigación, Asistencia Técnica y Extensión Rural – INCAPER, Vitória, Brasil. <https://biblioteca.incaper.es.gov.br/digital/handle/123456789/3861>
- Convención Marco de las Naciones Unidas para el Cambio Climático - CMNUCC. (1999). Convención marco de las naciones unidas sobre el cambio climático. <http://unfccc.int/resource/docs/convkp/convsp.pdf>
- Davila, F. K. (2019). Reserva de carbono en la biomasa aérea y la necromasa (hojarasca) del bosque húmedo premontano tropical – concesión para conservación Inchatoshi Kametsha - Pampa Hermosa - Satipo - Junín [Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Centro del Perú]. Repositorio Institucional UNCP. <https://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/5589>
- Dauber, E., Terán, J. y Guzmán, R. (2008). Estimaciones de biomasa y carbono en bosques naturales de Bolivia. *Revista Forestal Iberoamericana*, 1(1),1-10. <http://www.forest.ula.ve/rforibam/archivos/DOC2.pdf>
- Delvaux, J. C., Arcanjo, R., Fonseca, D. y De Araujo, H. (2021). Efeito rizosférico sobre a atividade microbiana e disponibilidade de nitrogênio em florestas de *Eucalyptus urograndis*/ rhyphospheric effect on microbial activity and availability of nitrogen in forests of eucalyptus urograndis [Efecto rifosférico sobre la actividad microbiana y

disponibilidad de nitrógeno en bosques de *Eucalyptus urograndis*]. *Brazilian Journal of Development*, 7(1), 6434-6452. doi: 10.34117/bjdv7n1-435

De Sousa, K., Van Zonneveld, M., Holmgren, M., Kindt, R. y Ordoñez, J. (2021). El futuro de la agrosilvicultura de café y cacao en una Mesoamérica más cálida. Informe científico, *Scientific Reports*, 9. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-45491-7>

De Stefano, A. y Jacobson, M.G. (2018). Soil carbon sequestration in agroforestry systems: a meta-analysis [Secuestro de carbono en el suelo en sistemas agroforestales: un metaanálisis]. *Agroforestry Systems-Springer*, 92(2), 285-299. <https://doi.org/10.1007/s10457-017-0147-9>

Del Águila, K. M., Vallejos-Torres, G., Arévalo, L. A. y Becerra, A. G. (2018). Inoculación de Consorcios Micorrícicos Arbusculares en *Coffea arabica*, Variedad Caturra en la Región San Martín. *Información tecnológica*, 29(1), 137-146. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642018000100137>

Díaz, A. L. (2020). Estimación de la captura de carbono en dos sistemas agroforestales de café en la provincia de Rioja, San Martín-Perú. [Tesis de pregrado, Universidad Católica Sedes Sapientiae]. <https://repositorio.ucss.edu.pe/handle/20.500.14095/746>

Díaz, P., Fachin, G., Tello, C. y Arévalo, L. (2016). Carbono almacenado en cinco sistemas de uso de tierra, en la región San Martín Perú. *Revista Internacional de Desarrollo Regional Sustentable*, 1 (2), 57-67. <http://rinderesu.com/index.php/rinderesu/article/view/22>

Dollinger, J. y Jose, S. (2018). Agroforestry for soil health [Agroforestería para la salud del suelo]. *Agroforestry Systems*, 92, 213-219. <https://doi.org/10.1007/s10457-018-0223-9>

Dossa, E. L., Fernandes, E. C., Reid, W. S. y Ezui, K. (2008). Above and belowground biomass, nutrient and carbon stocks contrasting an open-grown and a shaded coffee plantation [Reservas de biomasa, nutrientes y carbono por encima y por debajo del suelo que contrastan con una plantación de café al aire libre y una plantación de café con sombra]. *Agroforestry Systems*, 72,103-115. <https://doi.org/10.1007/s10457-007-9075-4>

Ehrenbergerová, L., Cienciala, E., Kučera, Ludivino, Ch. y Habrová, H. (2016). Stock de carbono en cafetales agroforestales con diferentes árboles de sombra en Villa Rica, Perú. *Sistema Agroforestal*, 90, 433-445. <https://doi.org/10.1007/s10457-015-9865-z>

- Farfán, F. (2012). Árboles con potencial para ser incorporados en sistemas agroforestales con café. Centro Nacional de Investigaciones de Café - Cenicafe. <https://biblioteca.cenicafe.org/handle/10778/746>
- Feliciano, D., Ledo, A., Hillier, J. y Nayak, D.R. (2018). Which agroforestry options give the greatest soil and above ground carbon benefits in different world regions? [¿Qué opciones agroforestales brindan los mayores beneficios de carbono en el suelo y en la superficie en diferentes regiones del mundo?]. *Agriculture, Ecosystems y Environment*, 254, 117–129. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2017.11.032>
- Fernández, R., De Guglielmo, Z. y Menéndez, A. (2010). Cultivo de tejidos y transformación genética de café Cultivo de tejidos y transformación genética de café. *Revista de Investigación*, 34(71), 57-84. https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1010-29142010000300004
- Flombaum, P. y Sala, O. E. (2008). Higher effect of plant species diversity on productivity in natural than artificial ecosystems [Mayor efecto de la diversidad de especies de plantas sobre la productividad en los ecosistemas naturales que en los artificiales]. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America (PNAS)*, 105(16), 6087-6090. <https://doi.org/10.1073/pnas.0704801105>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations [FAO]. (2001). Soil carbon sequestration for improved land management. World soil reports 96. <https://www.fao.org/3/bl001e/bl001e.pdf>
- Galindo, X. (2011). Producción e Industrialización de Café Soluble Caso: Solubles instantáneos [Tesis de pregrado, Universidad de Guayaquil]. Repositorio institucional. <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/1775>
- García-Gil, P., Soler-Rovira, P. y Polo, A. (2000). Long-term effects of municipal solid waste compost application on soil enzyme activities and microbial biomass [Efectos a largo plazo de la aplicación de compost de residuos sólidos municipales sobre las actividades enzimáticas del suelo y la biomasa microbiana]. *Soil Biology and Biochemistry*, 32, 1907-1913. [https://doi.org/10.1016/S0038-0717\(00\)00165-6](https://doi.org/10.1016/S0038-0717(00)00165-6)
- Garrett, H. (2009). North American agroforestry: An integrated science and practice [Agroforestería de América del Norte: una ciencia y una práctica integradas]. American Society of Agronomy. <https://acess.onlinelibrary.wiley.com/doi/book/10.2134/2009.northamericanagroforestry.2ed>

- Garrity, D. P., Akinnifesi, F. K., Ajayi, O. C., Weldesemayat, S. G., Mowo, J. G., Kalinganire, A., Larwanou, M. y Bayala, J. (2010). Evergreen Agriculture: a robust approach to sustainable food security in Africa [Agricultura siempre verde: un enfoque sólido para la seguridad alimentaria sostenible en África]. *Food Security*, 2, 197-214. <https://doi.org/10.1007/s12571-010-0070-7>
- Genre, A., Lanfranco, L., Perotto, S. y Bonfante, P. (2020). Unique and common traits in mycorrhizal symbioses [Rasgos únicos y comunes en las simbiosis micorrícicas]. *Nature Reviews Microbiology*, 18, 649-660. <https://doi.org/10.1038/s41579-020-0402-3>
- Gerdemann, J. y Nicholson, T. (1963). Spores of mycorrhizal Endogone extracted from soil by wet sieving and decanting [Esporas de micorriza Endogone extraídas del suelo mediante tamizado húmedo y decantación]. *Transactions of the British Mycological Society*, 46(2), 235-244. [https://doi.org/10.1016/S0007-1536\(63\)80079-0](https://doi.org/10.1016/S0007-1536(63)80079-0).
- Gómez, E., Guillaume, X., Celentano, D., Fariñas, H. y Gehring, C. (2018). Efecto de la riqueza de especies y estructura de la vegetación en el almacenamiento de carbono en sistemas agroforestales de la Amazonía, Bolivia. *Revista de Biología Tropical*, 66(4), 1481-1495. <https://dx.doi.org/10.15517/rbt.v66i4.32489>
- Goncalves, N., Andrade, D., Batista, A., Cullen, L., Souza, A., Gomes, H. y Uezu, A. (2021). Impacto económico potencial del secuestro de carbono en los sistemas agroforestales de café. *Agroforestry Systems*, 95, 419-430. <https://doi.org/10.1007/s10457-020-00569-4>
- Hager, A. (2012). The effects of management and plant diversity on carbon storage in coffee agroforestry systems in Costa Rica [Los efectos del manejo y la diversidad vegetal en el almacenamiento de carbono en sistemas agroforestales cafetaleros en Costa Rica]. *Agroforestry Systems*, 86, 159-174. <https://doi.org/10.1007/s10457-012-9545-1>
- Heinrich, V., Dalagnol, R., Cassol, H., Rosan, T., de Almeida, C., Junior, C., Campanharo, W., House, J., Sitch, S., Hales, T., Adami, M., Anderson, L. y Aragão, L. (2021). Large carbon sink potential of secondary forests in the Brazilian Amazon to mitigate climate change [Gran potencial de sumidero de carbono de los bosques secundarios de la Amazonia brasileña para mitigar el cambio climático]. *Nature Communications*, 12(1), 1-11. <https://doi.org/10.1038/s41467-021-22050-1>
- Helgason, T. y Fitter, A. (2009). Natural selection and the evolutionary ecology of the arbuscular mycorrhizal fungi (*Phylum Glomeromycota*) [Selección natural y ecología evolutiva de los hongos micorrízicos arbusculares (*Phylum*

Glomeromycota)]. *Journal of Experimental Botany*, 60(9), 2465-2480.
<https://doi.org/10.1093/jxb/erp144>

Hergoualc'h, K., Blancart, E., Skiba, U., Hénault, C. y Harmand, J. (2012). Changes in carbon stock and greenhouse gas balance in a coffee (*Coffea arabica*) monoculture versus an agroforestry system with *Inga densiflora*, in Costa Rica [Cambios en las reservas de carbono y el balance de gases de efecto invernadero en un monocultivo de café (*Coffea arabica*) versus un sistema agroforestal con *Inga densiflora*, en Costa Rica]. *Revista Agriculture, Ecosystems y Environment*, 148 (1), 102-110.
<https://doi.org/10.1016/j.agee.2011.11.018>

Hernández, R., Fernández, C. y Baptista, P. (2014). Metodología de la investigación.
<https://www.uca.ac.cr/wp-content/uploads/2017/10/Investigacion.pdf>

Herrera, J. C. y Cortina, H. A. (2013). Taxonomía y clasificación del café. Repositorio digital del Centro Nacional de Investigaciones del Café - CENICAFE.
<https://biblioteca.cenicafe.org/handle/10778/4320>

Hovland, M., Mata-González, R., Schreiner, R.P. y Rodhouse, T. J. (2019). Editor's Choice from Rangel and Ecology and Management [Elección del editor de Ecología y gestión de pastizales]. *Rangelands*, 41(4), 195-197.
<https://doi.org/10.1016/j.rala.2019.06.005>

Hurtado, J. (2000). Metodología de la Investigación Holística. Fundación Sygal.

Ibrahim, M., Chacón, M., Mora, J., Zamora, S., Gobbi, J., Llanderal, T., Harvey, C., Murgueito, E., Casasola, F., Villanueva, C. y Ramírez, E. (2005). Opportunities for carbon sequestration and conservation of water resources on landscapes dominated by cattle production in Central America. Turrialba. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza - CATIE.
https://www.researchgate.net/publication/258341313_Integrated_Management_of_Environmental_Services_in_Human-Dominated_Tropical_Landscapes_Opportunities_for_carbon_sequestration_and_conservation_of_water_resources_on_landscapes_dominated_by_cattle_prod

Instituto Geográfico Agustín Codazzi [IGAC]. (2003). Estudio general de suelos y zonificación de tierras. Departamento de Amazonas.
https://biblioteca.accefyn.org.co/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=6014&shelfbrowse_itemnumber=4612

Intergovernmental Panel on Climate Change - IPCC. (2011). Special report on renewable energy sources and climate change mitigation. Intergovernmental Panel on Climate

Change (IPCC).
https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/SRREN_FD_SPM_final-1.pdf

Intergovernmental Panel on Climate Change [IPCC]. (2003). Good practice guidance for land use, land-use change and forestry. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) - National Greenhouse Gas Inventories Program, Institute for Global Environmental Strategies (IGES). https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gpplulucf/gpplulucf_files/GPG_LULUCF_FULL.pdf

Jackson, M. L. 1964. Análisis químico de suelos. Ediciones Omega S. A.

Jaramillo, J. (1996). El café en Venezuela. Universidad Central de Venezuela, Ediciones de la Biblioteca. <https://sib.ucab.edu.ve/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=192891>

Jo, I., Fei, S., Oswalt, C.M., Domke, G.M. y Phillips, R.P. (2019). Shifts in dominant tree mycorrhizal associations in response to anthropogenic impacts [Cambios en las asociaciones de micorrizas de árboles dominantes en respuesta a impactos antropogénicos]. *Science Advances*, 5(4). <https://www.science.org/doi/10.1126/sciadv.aav6358>

Kozjek, K., Kundel, D., Kushwaha, S., Olsson, P., Ahrén, D., Fliessbach, A., Birkhofer, K. y Hedlund, K. (2021). Long-term agricultural management impacts arbuscular mycorrhizal fungi more than short-term experimental drought [El manejo agrícola a largo plazo afecta más a los hongos micorrízicos arbusculares que la sequía experimental a corto plazo]. *Applied Soil Ecology*, 168, 104-140. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2021.104140>

Lavelle, P. y Spain, A. (2001). Soil ecology. Kluwer Academic Publishers.

Lenoir, I., Fontaine, J. y Sahraoui, A. (2016). Arbuscular mycorrhizal fungal responses to abiotic stresses: a review [Respuestas de los hongos micorrízicos arbusculares al estrés abiótico: una revisión]. *Phytochemistry* 123, 4-15. <https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2016.01.002>

León, J. (2000). Botánica de los cultivos tropicales. Instituto Interamericano de Cooperación para la agricultura.

León, V. D. (2006). Evaluación y caracterización de micorrizas arbusculares asociadas a yuca (*Manihot esculenta* sp) en dos regiones de la Amazonía colombiana [Trabajo

de pregrado, Pontificia Universidad Javeriana]. Repositorio Institucional PUJ. <https://repository.javeriana.edu.co/handle/10554/8323>

- Li, Y., Bao, W., Bongers, F., Chen, B., Chen, G., Guo, K., Jiang, M., Lai, J., Lin, D., Liu, C., Liu, X., Liu, L., Mi, X., Tian, X., Wang, X., Xu, W., Yan, J., Yang, B., Zheng, Y. y Ma, K. (2019). Drivers of tree carbon storage in subtropical forests [Impulsores del almacenamiento de carbono de árboles en bosques subtropicales]. *Science of The Total Environment*, 654, 684-693. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.11.024>
- Lohman, M., Ziegler-Ulsh, C. y Douds, D. (08 de diciembre de 2010). Cómo inocular hongos micorrízicos arbusculares en la granja, parte 1. Rodale Institute. <https://rodaleinstitute.org/es/ciencia/art%C3%ADculos-y-publicaciones/c%C3%B3mo-inocular-hongos-micorr%C3%ADzicos-arbusculares-en-la-granja-parte-1/>
- López, K. (2014). Determinación de la disponibilidad de carbono según la tipificación de los sistemas agroforestales de café en las sub cuencas del río Yuracyacu y Yanayacu-2014 [Trabajo de pregrado, Universidad Nacional de San Martín]. Repositorio Institucional UNSM. <https://tesis.unsm.edu.pe/bitstream/11458/163/1/6051114.pdf>
- Loreau, M., Naeem, S., Inchausti, P., Bengtsson, J., Grime, J. P., Hector, A., Hooper, D., Houston, M., Raffaelli, D., Schmid, B., Tilman, D. y Wardle, D. (2001). Biodiversity and ecosystem functioning: current knowledge and future challenges [Biodiversidad y funcionamiento de los ecosistemas: conocimientos actuales y desafíos futuros]. *Science*, 294(5543), 804-808. doi:10.1126/science.1064088
- Manzanilla, G., Treviño, E., Aguirre, O., Alanís, E., Yerena, J. y Mata, J. (2023). Dinámica del crecimiento en bosques templados del sur de Nuevo León, México. *Madera y bosques*, 28(1). <https://doi.org/10.21829/myb.2022.2812324>
- Marschner, H. (1995). Mineral nutrition of Higher Plants. Horst Marschner. <https://www.elsevier.com/books/mineral-nutrition-of-higher-plants/marschner/978-0-08-057187-4>
- Ministerio del Ambiente [MINAM]. (2015). Estrategia Nacional ante el Cambio Climático. <https://sinia.minam.gob.pe/documentos/estrategia-nacional-ante-cambio-climatico-2015>
- Montes, K., Salas, C. y Rogel, G. (2017). Modelos predictivos de dispersión de *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Curculionidae) en cafetales con diferentes usos de suelo adyacente en Turrialba Costa Rica. *Bosque (Valdivia)*, 38(3), 575-586. <https://dx.doi.org/10.4067/S0717-92002017000300015>

- Moreno, C. (2001). Métodos para medir la biodiversidad. M&T – Manuales y Tesis SEA. <http://entomologia.rediris.es/sea/manytes/metodos.pdf>
- Nadège, M. T., Louis, Z., Cédric, C. D., Louis-Paul, K. B., Funwi, F. P., Ingrid, T. T. y Julliete M. N. (2018). Carbon storage potential of cacao agroforestry systems of different age and management intensity [Potencial de almacenamiento de carbono de sistemas agroforestales de cacao de diferente edad e intensidad de manejo]. *Climate and Development*, 7, 1-12. <https://doi.org/10.1080/17565529.2018.1456895>
- Noda, Y. (2009). Las Micorrizas: Una alternativa de fertilización ecológica en los pastos. *Pastos y Forrajes*, 32(2). http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0864-03942009000200001&lng=es&tlng=es.
- NOM-021-RECNAT-2000. (2002). Norma oficial Mexicana. Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudios, muestreo y análisis. <http://www.ordenjuridico.gob.mx/Documentos/Federal/wo69255.pdf>
- Novoa, O. (1992). Crecimiento inicial de guaba caite *Inga densiflora Benth*, guaba chilillo *Inga edulis Mart* y guaba machete *Inga spectabilis Vahl Will* en dos sitios de Costa Rica [Tesis de maestría, CATIE]. Repositorio institucional <https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/1022>
- Nunes, L. A., Dias, L. E., Barros, N. F. y Jucksch, I. (2010). Atributos físicos do solo em área de monocultivo de cafeeiro na zona da mata de Minas Gerais. *Bioscience Journal*, 26(1), 71–78. <https://seer.ufu.br/index.php/biosciencejournal/article/view/7040>
- Odar, E. (2018). Evaluación de almacenamiento de carbono en sistemas agroforestales de café (*Coffea spp.*) en el anexo de Vilaya, distrito de Colcamar, provincia de Luya, Amazonas, 2017-2018 [Trabajo de pregrado, Universidad Católica Sedes Sapientiae]. Repositorio Institucional <https://repositorio.ucss.edu.pe/handle/20.500.14095/746>
- Omar, M. B., Bollan, L. y Heather, W. A. (1979). A permanent mounting medium for fungi [Un medio de montaje permanente para hongos]. *Bulletin of the British Mycological Society*, 13(1), 31–32.
- Ortega, E. (2020). Caracterización del estado agroecológico de cuatro sistemas agroforestales con café bajo manejo orgánico en el departamento de Boaco, 2011

[Trabajo de postgrado, Universidad Nacional Agraria]. Repositorio Institucional.
<https://repositorio.una.edu.ni/4249/>

Paige, A., Antonowicz, N., Brandt, R., Chesterman, S., Dontenville, A., Elis, D., Helgeson, J.F., Kovič, M., McManus, K., Sarwar, N. y Tonkonojenkova, O. (2010). Post-Copenhagen Report: Copenhagen De-briefing An Analysis of COP15 for Long-term Cooperation. India Environment Portal.
<http://www.indiaenvironmentportal.org.in/content/303605/post-copenhagen-a-focus-on-2010/>

Paipa, N. y Triana, M. (2018). Estimación del carbono almacenado en la biomasa aérea de un bosque húmedo tropical en Paimadó, Chocó. *Ingenierías USBMed*, 9(1), 18-29.
<https://doi.org/10.21500/20275846.3180>

Parniske, M. (2008). Arbuscular mycorrhiza: the mother of plant root endosymbioses [Micorriza arbuscular: la madre de las endosimbiosis radiculares de las plantas]. *Nature Reviews Microbiology*, 6, 763-775.

Pennington, T. D. (1997). The Genus Inga: Botany. The Royal Botanic Gardens, Kew.

Pennington, T. D. y Fernández, E. C. (1998). The Genus Inga: Utilization. The Royal Botanic Gardens.

Peña-Venegas, C. P., Cardona, G. I., Mazorra, A., Arguellez, J. H. y Arcos, A. L. (2006). Micorrizas arbusculares de la Amazonia colombiana. Catálogo ilustrado. Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas – SINCHI.
https://www.sinchi.org.co/files/publicaciones/publicaciones/pdf/catalogo_micorrizas%20para%20web.pdf

Phillips, J. M. y Hayman, D. S. (1970). Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection [Procedimientos mejorados para limpiar raíces y teñir hongos micorrízicos parásitos y vesiculares-arbusculares para una evaluación rápida de la infección]. *Transactions of the British Mycological Society*, 55(1), 158-161. [https://doi.org/10.1016/S0007-1536\(70\)80110-3](https://doi.org/10.1016/S0007-1536(70)80110-3)

Pozo, M. J. y Azcon-Aguilar, C. (2007). Unraveling mycorrhiza-induced resistance [Desentrañando la resistencia inducida por las micorrizas]. *Current Opinion in Plant Biology*, 10(4), 393-398. <https://doi.org/10.1016/j.pbi.2007.05.004>

- Prachi, N., Richa, R., Deepshikha, P., Kusum, A. y Ayyanadar A. (2019). Role of glomalin in soil carbon storage and its variation across land uses in temperate Himalayan regime [Papel de la glomalina en el almacenamiento de carbono del suelo y su variación entre usos de la tierra en el régimen templado del Himalaya]. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 21, 1-5. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2019.101311>
- Ramachandran, P., Mohan, B. y Nair, V. (2009). Agroforestry as a strategy for carbon sequestration [La agroforestería como estrategia para el secuestro de carbono]. *Journal of plant nutrition and soil science*, 172(1), 10-23. <https://doi.org/10.1002/jpln.200800030>
- Reicosky, D. C. (2002). Long-term effect of moldboard plowing on tillage-induced CO₂ loss. CRC Press. https://www.researchgate.net/publication/327250173_Long-term_effect_of_moldboard_plowing_on_tillage-induced_CO2_loss
- Reynel, C., Pennington, T., Pennington, R., Flores, C. y Daza, A. (2003). Árboles útiles de la amazonía peruana y sus usos. Un manual con apuntes de identificación, ecología y propagación de especies. Tarea Gráfica Educativa.
- Rojas, F. (2018). Valor económico del volumen maderable y valor económico del secuestro de CO₂ en dos tipos de bosque del distrito de Pastaza, Datem del Marañón, Loreto. 2016 [Trabajo de pregrado, Universidad Nacional de la Amazonía Peruana]. Repositorio Institucional UNAP. <https://repositorio.unapiquitos.edu.pe/handle/20.500.12737/5633>
- Rosas, A. y Zúñiga, J. (2010). Estadística descriptiva e inferencial I. Correlación y regresión lineal. Colegio de bachilleres. https://repositorio.cbachilleres.edu.mx/wp-content/material/compendios/quinto/edi_1.pdf
- Rügnitz, M., Chacón, M. y Porro R. (2009). Guía para la Determinación de Carbono en Pequeñas Propiedades Rurales. World Agroforestry Centre (ICRAF).
- Salazar, A., Saucedo, J. y Méndez, L. (2018). Evaluación de la captura de carbono en suelos de sistemas agroforestales con café (*Coffea arabica* L.) en los distritos Mariscal Benavides y Longar, provincia Rodríguez de Mendoza, departamento de Amazonas. *Revista de Investigación Científica UNTRM: Ciencias Naturales e Ingeniería*, 1(1), 20-26. <http://dx.doi.org/10.25127/ucni.v1i1.261>
- Salgado-Mora, M. G., Ibarra-Núñez, G., Macías-Sámamo, J. E. y López-Báez, O. (2007). Diversidad arbórea en cacaotales del Soconusco, Chiapas, México. *Interciencia*, 32(11), 763-768. https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0378-18442007001100009

- Sanchez, C., Montilla, E., Rivera, R. y Cupull, R. (2005). Comportamiento de 15 cepas de hongos micorrizogenos (HMA) sobre el desarrollo de posturas de cafeto en un suelo pardo gleyoso. *Revista Forestal Latinoamericana*, 38, 83–95. <https://biblat.unam.mx/es/revista/revista-forestal-latinoamericana/articulo/comportamiento-de-15-cepas-de-hongos-micorrizogenos-hma-sobre-el-desarrollo-de-posturas-de-cafeto-en-un-suelo-pardo-gleyoso>
- Sánchez, J. E., Harwood, R. R., Willson, T. C., Kizilkaya, K., Smeenk, J., Parker, E., Paul, E. A., Knezek, B. D. y Robertson, G. P. (2004). Managing soil carbon and nitrogen for productivity and environmental quality [Gestión del carbono y el nitrógeno del suelo para la productividad y la calidad ambiental]. *Agronomy Journal*, 96(3), 769-775. <https://doi.org/10.2134/agronj2004.0769>
- Schimel, D. S., Braswell, B. H., Holland, E. A., McKeown, R., Ojima, D. S., Painter, T. H., Parton, W. J. y Townsend, A. R. (1994). Climatic, edaphic, and biotic controls over storage and turnover of carbon in soils [Controles climáticos, edáficos y bióticos sobre el almacenamiento y la rotación de carbono en los suelos]. *Global Biogeochemical Cycles*, 8(3), 279-294. <https://doi.org/10.1029/94GB00993>
- Schlegel, B. (2001). (octubre 8-20, 2001). Estimación de la biomasa y carbono de bosque de tipo forestal siempreverde. XIII Simposio Internacional Medición y Monitoreo de la Captura de Carbono en Ecosistemas Forestales. [Simposio]. International Union of Forest Research Organizations - IUFRO, Valdivia, Chile. <https://ptimaderero.cl/wp-content/uploads/2022/09/Estimacion-de-biomasa-y-carbono-bosques-siempreverde.pdf>
- Schroth, G., Garciam E., Griscom, B. W., Teixeira, W. G. y Barros, L. P. (2016). Commodity production as restoration driver in the Brazilian Amazon? Pasture re-agro-forestation with cocoa (*Theobroma cacao*) in southern Pará [¿La producción de materias primas como motor de la restauración en la Amazonía brasileña? Reagroforestación de pastos con cacao (*Theobroma cacao*) en el sur de Pará]. *Sustainability Science*, 11, 277-293. <https://doi.org/10.1007/s11625-015-0330-8>
- Scott, D., Proctor, J. y Thomason, J. (1992). Ecological studies on a lowland evergreen rain forest on Maracá Island, Romaira, Brazil. II. Brazil. Litter and Nutrient Cycling [Estudios ecológicos en un bosque lluvioso siempreverde de tierras bajas en la isla de Maracá, Romaira, Brasil. II. Brasil. Ciclo de basura y nutrientes]. *Journal of Ecology*, 80(4), 705-717. <https://doi.org/10.2307/2260861>
- Shannon, C. E. y W. Weaver. (1964). The mathematical theory of communication. University of Illinois Press, Illinois. https://pure.mpg.de/rest/items/item_2383164/component/file_2383163/content

- Shi, W., Zhang, Y., Chen, S., Polle, A., Rennenberg, H. y Luo, Z. B. (2018). Physiological and molecular mechanisms of heavy metals accumulation in nonmycorrhizal versus mycorrhizal plants [Mecanismos fisiológicos y moleculares de la acumulación de metales pesados en plantas no micorrizadas versus plantas micorrizadas]. *Plant, Cell y Environment*, 42(4), 1087-1103. <https://doi.org/10.1111/pce.13471>
- Smith, S. E. y Smith, F. A. (2012). Fresh perspectives on the roles of arbuscular mycorrhizal fungi in plant nutrition and growth [Nuevas perspectivas sobre el papel de los hongos micorrízicos arbusculares en la nutrición y el crecimiento de las plantas]. *Mycologia*, 104(1), 1-13. <https://doi.org/10.3852/11-229>
- Silva, E. M., Rogez, H., Da Silva, I. Q. y Larondelle, Y. (2013). Improving the Desorption of Inga Edulis Flavonoids from Macroporous Resin: Towards a New Model to Concentrate Bioactive Compounds [Mejora de la desorción de flavonoides de Inga Edulis a partir de resina macroporosa: hacia un nuevo modelo para concentrar compuestos bioactivos]. *Food and Bioproducts Processing*, 91(4), 558-564. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2012.11.005>
- Sobanski, N. y Marques, M. (2014). Effects of Soil Characteristics and Exotic Grass Cover on the Forest Restoration of the Atlantic Forest Region [Efectos de las características del suelo y la cubierta de pastos exóticos en la restauración forestal de la región del Bosque Atlántico]. *Journal for Nature Conservation*, 22(3), 217-222. <https://doi.org/10.1016/j.jnc.2014.01.001>
- Soil Survey Laboratory Methods Manual. (2002). Methods for the determination of total organic carbon (TOC) in soil and sediments. U.S.Environmental Protection Agency. Exposure Research Laboratory. https://cfpub.epa.gov/si/si_public_record_report.cfm?Lab=NERL&dirEntryId=63371
- Solis, R., Vallejos-Torres, G., Arévalo, L., Marín-Díaz, J., Ñique-Álvarez, M., Engedal, T. y Bruun, T.B. (2020). Carbon stocks and the use of shade trees in different coffee growing systems in the Peruvian Amazon [Reservas de carbono y uso de árboles de sombra en diferentes sistemas cafetaleros en la Amazonía peruana]. *The Journal of Agricultural Science*, 158(6), 450-460. <https://doi.org/10.1017/S002185962000074X>
- Soto, P. (2020). Captura de carbono de sistemas agrícolas productivos con predominancia de cultivo de café [Trabajo de postgrado, Universidad Tecnológica de Pereira]. Repositorio Institucional. <https://repositorio.utp.edu.co/items/c20f5a20-d700-4d36-8aa2-63f76aa31a38>

- Stevenson, F. (1994). *Humus chemistry: Genesis, composition, reactions*. John Wiley & Sons. <https://www.wiley.com/en-ca/Humus+Chemistry:+Genesis,+Composition,+Reactions,+2nd+Edition-p-9780471594741>
- Suarez, D. (2003). Cuantificación y valoración económica del servicio ambiental almacenamiento de carbono en sistemas agroforestales de café en la Comarca Yasica Sur, Matagalpa, Nicaragua [Tesis de maestría, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza]. Repositorio institucional CATIE. <https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/3735>
- Suárez, D. Segura, M. y Kanninen, M. (2004). Estimación de la biomasa aérea total en árboles de sombra y plantas de café en sistemas agroforestales en Matagalpa, Nicaragua, usando modelos alométricos. *Agroforestería en las Américas*. 41–42, 112-119. https://repositorio.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/6233/Estimacion_de_la_biomasa_aerea.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Thioye, B., Kane, A., Faria S., Fall, D., Sanogo D., Ndiaye, C., Sanon, K., Soule, A., Duponnois, R., Sylla, S. y Bâ, A. (2018). Growth Response of Different Species and Provenances of Jujube Seedlings to Inoculation with Arbuscular Mycorrhizal Fungi [Respuesta de crecimiento de diferentes especies y procedencias de plántulas de azufaifa a la inoculación con hongos micorrízicos arbusculares]. *Root Biology*, 52(21), 501-519. https://doi.org/10.1007/978-3-319-75910-4_21
- Tian, H. Q., Liu, M., Zhang, C., Ren, W., Xu, X., Chen, G., Lu, C. y Tao, B. (2010). The dynamic land ecosystem model (DLEM) for simulating terrestrial processes and interactions in the context of multifactor global change [El modelo dinámico de ecosistema terrestre (DLOM) para simular procesos e interacciones terrestres en el contexto de un cambio global multifactorial]. *Acta Geographica Sinica*, 65 (9), 1027-1047. <http://www.geog.com.cn/EN/10.11821/xb201009001>
- Timoteo, K., Remuzgo, J., Valdivia, L., Sales, F., Diego, G. y Abanto, C. (2016). Estimación del carbono almacenado en tres sistemas agroforestales durante el primer año de instalación en el departamento de Huánuco. *Folia amazónica*, 25(1), 45–54. <https://doi.org/10.24841/fa.v25i1.382>
- Torres, N., Antolín, M. C. y Goicoechea, N. (2018). Arbuscular Mycorrhizal Symbiosis as a Promising Resource for Improving Berry Quality in Grapevines Under Changing Environments [La simbiosis de micorrizas arbusculares como recurso prometedor para mejorar la calidad de las bayas en vides en entornos cambiantes]. *Frontiers in plant Science*, 9. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.00897>

- Trejo, D., Ferrera-Cerrato, R., García, R., Varela, L., Lara, L. y Alarcón, A. (2011). Efectividad de siete consorcios nativos de hongos micorrízicos arbusculares en plantas de café en condiciones de invernadero y campo. *Revista chilena de historia natural*, 84(1), 23-31. <https://dx.doi.org/10.4067/S0716-078X2011000100002>
- Trouvelot, A., Kough, J. y Gianinazzi-Pearson, V. (1986): Estimation of VA mycorrhizal infection levels. Research for methods having a functional significance. *Physiological and Genetical Aspects of Mycorrhizae*. <https://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=FR8703627>
- Vallejos-Torres, G., Arévalo, L., Iliquin, I. y Solis, R. (2019). Respuesta en Campo de Clones de Café a la Inoculación con Consorcios de Hongos Micorrízicos Arbusculares en la Región Amazonas, Perú. *Información tecnológica*, 30(6), 73-84. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642019000600073>
- Vallejos-Torres, G., Arévalo, L. A., Ríos, O., Cerna, A. y Marín, C. (2020). Propagation of Rust-Tolerant *Coffea arabica* L. Plants by Sprout Rooting in Microtunnels [Propagación de plantas de *Coffea arabica* L. tolerantes a la roya mediante enraizamiento de brotes en microtúneles]. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 20, 933-940. <https://doi.org/10.1007/s42729-020-00180-7>
- Vásquez, L., Ayala, D., Vallejos, G., Arévalo, L., Bustamante, C., Calixto, E. y Ramos, E. (2018). Edad del material vegetativo y su efecto en el enraizamiento de brotes de café (*Coffea arabica*) variedad caturra. *Investigación Valdizana*, 12(4), 215–226. <https://doi.org/10.33554/riv.12.4.157>
- Větrovský, T., Kohout, P., Kopecký, M. Machac, A., Man, M., Bahnmann, B., Brabcová, V., Choi, J., Meszárošová, L., Human, Z., Lepinay, C., Lladó, S., López-Mondéjar, R. y Baidrian, P. (2019). A meta-analysis of global fungal distribution reveals climate-driven patterns [Un metanálisis de la distribución global de hongos revela patrones impulsados por el clima]. *Nature Communications*, 10. <https://doi.org/10.1038/s41467-019-13164-8>
- Waheed, R., Chang, D., Sarwar, S. y Chen, W. (2018). Forest, agriculture, renewable energy, and CO₂ emission [Bosques, agricultura, energías renovables y emisiones de CO₂]. *Journal of Cleaner Production*, 172, 4231-4238. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.10.287>
- Walkley, A. 1947. A critical examination of a rapid method for determining organic carbon in soils-effect of variations in digestion conditions and of inorganic soil constituents [Un examen crítico de un método rápido para determinar el carbono orgánico en los suelos: efecto de las variaciones en las condiciones de digestión y de los componentes

inorgánicos del suelo]. *Soil Science*, 63(4), 251-263.
<https://doi.org/10.1097/00010694-194704000-00001>

Walkley, A. y Black, I. A. (1934). An Examination of the Degtjareff Method for Determining Soil Organic Matter and a Proposed Modification of the Chromic Acid Titration Method [Un examen del método Degtjareff para determinar la materia orgánica del suelo y una modificación propuesta del método de valoración del ácido crómico]. *Soil Science*, 37, 29-38.
<http://dx.doi.org/10.1097/00010694-193401000-00003>

Wander, M. M., Walter, G. L., Nissen T. M., Bollero, G.A., Andrews, S. S. y Cavanaugh-Grant D. A. (2002). Soil quality: Science and process [Calidad del suelo: ciencia y proceso]. *Agronomy Journal*, 94, 23-32. <https://doi.org/10.2134/agronj2002.2300>

Yan, G., Wang, Q., Han, S., Guo, Z., Yu, J., Wang, W., Fan, C., Cao, W., Wang, L., Xing, Y. y Zhang, Z. (2022). Beneficial effects of warming on temperate tree carbon storage depend on precipitation and mycorrhizal types [Los efectos beneficiosos del calentamiento sobre el almacenamiento de carbono de los árboles en zonas templadas dependen de las precipitaciones y los tipos de micorrizas]. *Science of The Total Environment*, 819. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.153086>

Zanne, A. E., Lopez-Gonzalez, G., Coomes, D. A., Ilic, J., Jansen, S., Lewis, S. L., Miller, R. B., Swenson, N. G., Wiemann, M. C. y Chave, J. (2009). Global Wood Density Database. Dryad Identifier.
<https://datadryad.org/stash/dataset/doi:10.5061/dryad.234>

Zaro, G. C., Caramori, P. H., Yada, G. M., Sanquetta, C., Filho, A. A., Nunes, A., Prete, C. y Voroney, P. (2020). Secuestro de carbono en un sistema agroforestal de café con árboles de caucho en comparación con café a cielo abierto en el sur de Brasil. *Agroforestry Systems*, 94, 799-809. <https://doi.org/10.1007/s10457-019-00450-z>

TERMINOLOGÍA

Agroforestal (SAF). Se trata de una técnica de manejo de tierras en la cual las plantas perennes interactúan biológicamente con los cultivos (Garrett, 2009).

Árboles de sombra. Los árboles de sombra son componentes fundamentales de los sistemas agroforestales asociados a cultivos anuales y perennes (Salgado-Mora *et al.*, 2007).

Cafeto. Es un cultivo perenne y sus granos son de exquisita calidad sensorial como bebida, existen diferentes cultivares con características distintas de acuerdo con las altitudes, variedades y componente agroforestal en que se desarrolla (García-Gil *et al.*, 2000).

Cambio climático. Se define como una modificación del clima ya sea por estado natural o intervención del hombre (Convención Marco de las Naciones Unidas para el Cambio Climático [CMNUCC], 1999).

Captura de carbono. Es un procedimiento donde el carbono es capturado de la tropósfera y se convierte en energía a través de la fotosíntesis, también se almacena en los suelos, océanos, a través de la fisiología vegetal (Díaz, 2020).

Carbono en la biomasa. Es la evaluación del carbono en un medio natural, calculado por el método directo, tales como la fórmula citométrica y la dispersión de la biomasa, y el método indirecto con la aplicación de coeficientes de dispersión (Rügnitz *et al.*, 2009).

Especie nativa. Es una especie considerada nativa cuando su población silvestre se encuentra distribuida naturalmente en una zona geográfica específica, estas especies nativas también son esenciales para los ecosistemas (MINAGRI, 2015).

Micorrización. La micorrización es una técnica biológica comúnmente utilizada en diversos tipos de cultivos (Noda, 2009). La micorrización tiene un efecto positivo que favorece la absorción de nutrientes a través de las raíces (Marschner, 1995).

Parámetros dasométricos. Son medidas para describir la estructura de los vegetales tales como el diámetro a la altura del pecho (DAP), la altura, la densidad arbórea (DA), entre otros, también empleado para planificar el manejo forestal (Manzanilla, 2023).

Simbiosis micorrízica arbuscular. Es el proceso de intercambio de nutrientes entre la planta y el hongo, donde los HMA actúan como simbiosiontes que contribuyen a la nutrición de las plantas, en particular, en la absorción del P (Bonfante y Genre, 2010; Parniske, 2008).

Sistema de monocultivo. Es un sistema de producción de café en el que el café es cultivado sin otras especies vegetales, produciendo impactos negativos aumentando la susceptibilidad de la erosión en el suelo (Comerio *et al.*, 2019; Nunes *et al.*, 2010).

Suelo rizosférico. Es el suelo que rodea las raíces, que presenta reacciones biogeoquímicas que pueden influir en los procesos a nivel de ecosistema, por la actividad de las raíces y los microorganismos que viven en ella (Delvaux *et al.*, 2021).

APÉNDICES

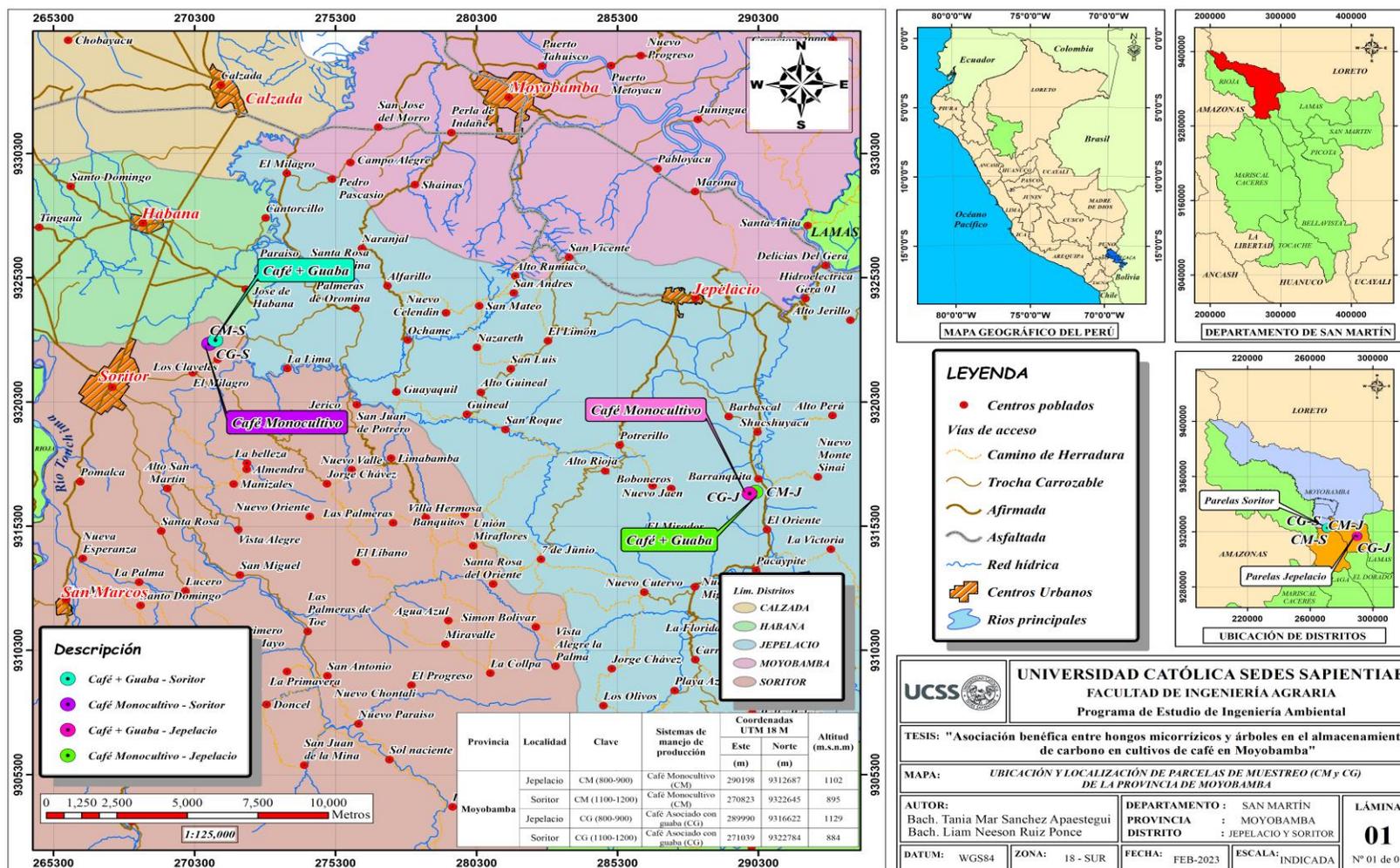
Apéndice 1.

Matriz de consistencia

PROBLEMA	OBJETIVO	HIPOTESIS	VARIABLES	DIMENSIONES	METODOLOGÍA	POBLACIÓN Y MUESTRA
<p>Problema General</p> <p>- ¿Existe influencia de los árboles y la micorrización en el almacenamiento de carbono en café en la provincia de Moyobamba?</p>	<p>Objetivo general</p> <p>- Evaluar la asociación benéfica entre los hongos micorrízicos y los árboles para el almacenamiento de carbono en cultivos de café en la provincia de Moyobamba.</p>	<p>Hipótesis general</p> <p>- Los árboles de sombra y la micorrización influyen en el almacenamiento de carbono en café en la provincia de Moyobamba.</p>	V.1 hongos micorrízicos	-Población de esporas HM -Colonización micorrízica	<p>- Densidad poblacional de esporas - Peña-Venegas <i>et al.</i> (2006).</p> <p>- Porcentaje de colonización - Trouvelot <i>et al.</i> (1986)</p>	<p>Población:</p> <p>La población está conformada por cuatro parcelas de 10 000 m² dentro de la provincia de Moyobamba.</p>
<p>Problemas Específicos</p> <p>- ¿Cuál es la influencia de los árboles en el almacenamiento de carbono en café en la provincia de Moyobamba?</p> <p>- ¿Cuál es la influencia del diámetro y altura de los árboles en el almacenamiento de carbono en café en la provincia de Moyobamba?</p> <p>- ¿Cuál es la influencia de la micorrización en el almacenamiento de carbono en café en la provincia de Moyobamba?</p>	<p>Objetivos específicos</p> <p>- Relacionar la influencia de los árboles en el almacenamiento de carbono en café de la provincia de Moyobamba.</p> <p>- Evaluar la influencia del diámetro y altura de los árboles en el almacenamiento de carbono en café de la provincia de Moyobamba.</p> <p>- Describir la influencia de la micorrización en el almacenamiento de carbono en café de la provincia de Moyobamba.</p>	<p>Hipótesis específicas</p> <p>- Existe influencia de los árboles en el almacenamiento de carbono en café de la provincia de Moyobamba.</p> <p>- Existe influencia del diámetro y altura de los árboles en el almacenamiento de carbono en café de la provincia de Moyobamba.</p> <p>- Existe influencia de la micorrización en el almacenamiento de carbono en café de provincia de Moyobamba.</p>	V.2 árboles para el almacenamiento de carbono	- Parámetros dasométricos	<p>- Altura de los árboles - Modelos alométricos Suarez (2003).</p> <p>- Diámetro de los árboles - Castellanos <i>et al.</i> (2010)</p> <p>- Carbono en el suelo - Walkley y Black, (1934)</p> <p>- Carbono en la biomasa - Modelos alométricos Solis <i>et al.</i> (2020).</p>	<p>Muestra:</p> <p>La muestra está conformada por 12 subparcelas de 100 m².</p> <p>Técnica:</p> <p>Técnica de observación no participativa.</p> <p>Instrumentos:</p> <p>Ficha de observación (Ficha de análisis de laboratorio y Cuaderno de campo).</p>
			V.3 cultivos de café	Dos sistemas de manejo x dos altitudes		

Apéndice 2.

Mapa de localización de las muestras



Apéndice 3.

Evaluación del carbono del suelo



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN - TARAPOTO
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
LABORATORIO DE ANÁLISIS DE SUELOS, AGUAS Y FOLIARES



SOLICITANTE : TANIA MAR SÁNCHEZ APASTEGUI
PROVINCIA: RIOJA
DISTRITO: NUEVA CAJAMARCA

FECHA DE MUESTREO:
FECHA DE REPORTE: 14/10/2022

DETERMINACIÓN DE CARBONO EN SUELOS

MUESTRAS	% M.O.	% N	% C
C + A1	3.212	0.1606	1.863
C + A1	3.332	0.1666	1.933
C + A1	3.102	0.1551	1.799
C + A2	3.836	0.1918	2.225
C + A2	3.62	0.181	2.100
C + A2	3.524	0.1762	2.044
Guaba + C + A1	4.312	0.2156	2.501
Guaba + C + A1	4.102	0.2051	2.379
Guaba + C + A1	4.231	0.2116	2.454
Guaba + C + A2	4.592	0.2296	2.664
Guaba + C + A2	4.284	0.2142	2.485
Guaba + C + A2	4.153	0.2077	2.409


Ing. Carlos Verde Girbau
Lab. de Análisis de Suelos y Aguas
UNSM - TARAPOTO
Facultad de Ciencias Agrarias

Jr. Amorarca cdra 3
Distrito de Morales
Ciudad Universitaria

Email: cverde@unsm.edu.pe
Telf: 985800927

Apéndice 4.

Modelo para registrar el diámetro y altura de árboles, biomasa y el carbono

Parcelas de café	Altitudes (msnm)	Diámetro de Guabas (cm)	Diámetro del Cafeto (cm)	Altura de Guabas (m)	Altura de Cafetos (m)	Carbono en Biomasa Guaba (t.ha ⁻¹)	
Café Monocultivo (CM)	800-900	0	1,45	0	1,11	5,08	
		0	2,05	0	1,48	4,16	
	1 100 – 1 200	0	2,40	0	1,7	4,05	
		0	2,35	0	1,63	5,80	
	Café, Guaba (CG)	800-900	0	2,04	0	1,46	4,83
			0	1,83	0	1,4	4,74
1 100 – 1 200		11,79	2,35	10,56	1,63	3,05	
		9,01	2,04	8,3	1,48	2,54	
Café, Guaba (CG)	1 100 – 1 200	12,83	1,83	9,76	1,41	2,47	
		13,83	1,45	12,08	1,11	2,47	
	12,96	2,05	11,76	1,48	2,18		
		12,53	2,40	11,21	1,61	2,05	

Apéndice 5.

Parámetros para registrar la comunidad de micorrizas arbusculares en cuatro zonas de la provincia de Moyobamba

Parcelas de café	Altitudes (m s.n.m)	Conteo de esporas de HMA	Colonización (%)
Café Monocultivo (CM)	800-900	170	26,3
		163	28,7
	1 100 – 1 200	162	33
		99	25,8
		89	32
		104	32,7
Café, Guaba (CG)	800-900	110	50,7
		112	46,7
		125	39,8
	1 100 – 1 200	119	35
		145	42,7
		134	40,3

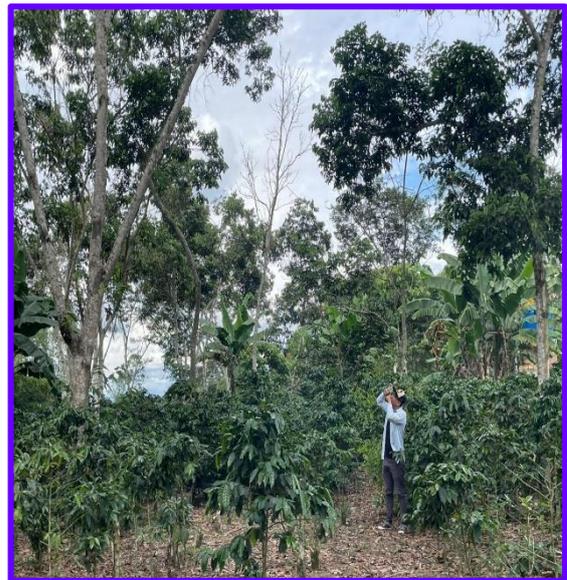
Apéndice 6.

Procedimiento para llevar a cabo la investigación



1.- Circunscripción y conteo de la diversidad de la presente investigación.

2.- Recolección de las muestras de los suelos de los sistemas de manejo del café

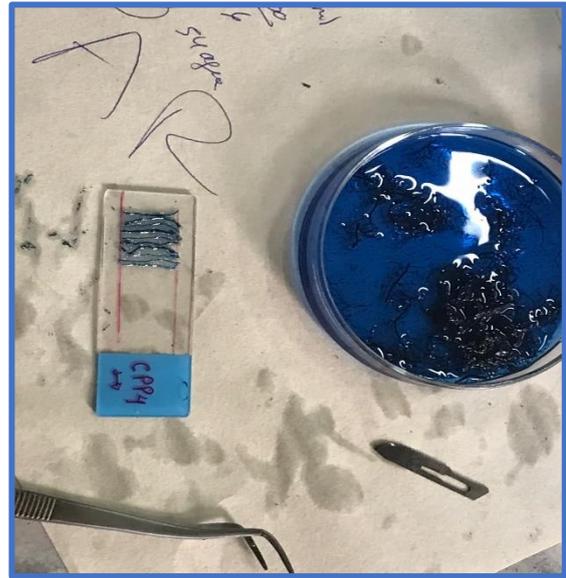


3.- Medición de las diámetros de los sistemas de manejo del café.

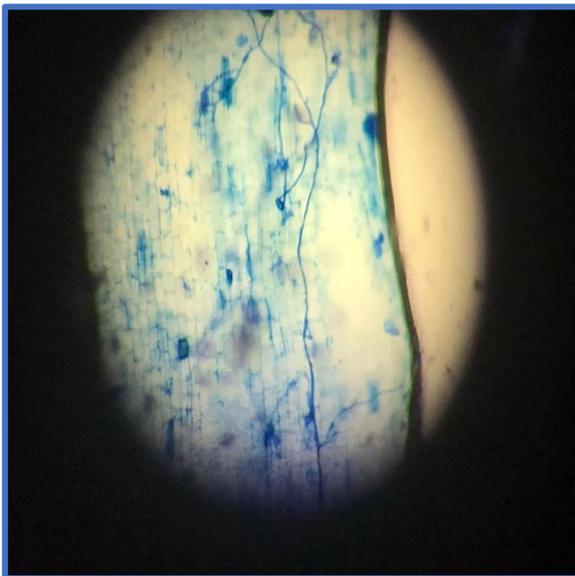
4.- Medición de los alturas de los sistemas de manejo del café.



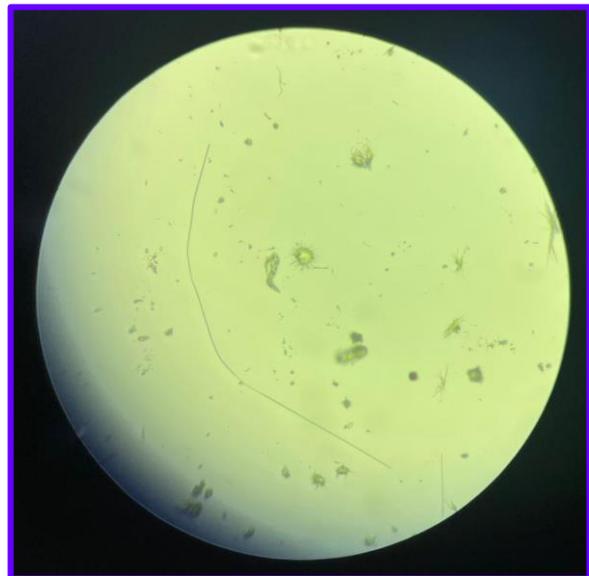
5.- Recolección de las muestras de las raíces para la determinación de la colonización.



6.- Tinción de las muestras para ser observadas en el microscopio a 40X.



7.- Evaluación de la colonización por medio del microscopio a 40X.



8.- conteo de las esporas del HMA por medio del microscopio a 40X.

Apéndice 7.

Datos recopilados para realizar a cabo la investigación

Repeticiones	Diversidad de los árboles de dos sistemas de manejo del <i>Coffea arabica</i>			
	CM (800-900)	CM (1100-1200)	CG (800-900)	CG (1100-1200)
I	0,366	0,366	0,304	0,304
II	0,366	0,366	0,304	0,304
III	0,366	0,366	0,304	0,304
Promedio	0,366	0,366	0,304	0,304

Repeticiones	Sistema de manejo del <i>Coffea arabica</i> en el almacenamiento de carbono de la biomasa (t C ha ⁻¹)			
	CM (800-900)	CM (1100-1200)	CG (800-900)	CG (1100-1200)
I	5,08	5,8	3,05	2,47
II	4,16	4,83	2,54	2,18
III	4,05	4,74	2,47	2,05
Promedio	4,43	5,12	2,69	2,23

Repeticiones	Sistema de manejo de <i>Coffea arabica</i> en el almacenamiento de carbono en la biomasa (t C ha ⁻¹)			
	CM (800-900)	CM (1100-1200)	CG (800-900)	CG (1100-1200)
I	41,08	48,06	52,52	57,94
II	42,62	45,36	49,96	54,05
III	39,67	44,15	51,53	52,40
Promedio	41,12	45,86	51,34	54,80

Repeticiones	Alturas (m) en el sistema del café asociado con guaba			
	CM (800-900)	CM (1100-1200)	CG (800-900)	CG (1100-1200)
I	0,00	0,00	10,56	12,08
II	0,00	0,00	8,30	11,76
III	0,00	0,00	9,76	11,21
Promedio	0,00	0,00	9,54	11,68

Repeticiones	Diámetros (cm) en el sistema del café asociado con guaba			
	CM (800-900)	CM (1100-1200)	CG (800-900)	CG (1100-1200)
I	0,00	0,00	11,79	13,83
II	0,00	0,00	9,01	12,96
III	0,00	0,00	12,83	12,53
Promedio	0,00	0,00	11,21	13,11

Repeticiones	Colonización (%) del cafeto en dos sistemas de manejo del <i>Coffea arabica</i>			
	CM (800-900)	CM (1100-1200)	CG (800-900)	CG (1100-1200)
I	26,30	25,80	50,70	35
II	28,70	32,00	46,70	42,7
III	33,00	32,70	39,80	40,3
Promedio	29,33	30,17	45,73	39,33

Repeticiones	Conteo de esporas de HMA del cafeto en dos sistemas de manejo del <i>Coffea arabica</i>			
	CM (800-900)	CM (1100-1200)	CG (800-900)	CG (1100-1200)
I	170	99	110	119
II	163	89	112	145
III	162	104	125	134
Promedio	165	98	116	133