

UNIVERSIDAD CATÓLICA SEDES SAPIENTIAE
FACULTAD DE INGENIERÍA AGRARIA



Estimación de la captura de carbono en dos sistemas agroforestales
de café en la provincia de Rioja, San Martín - Perú

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

AUTORA

Lady Díaz Arteaga

ASESOR

Rubén Ruíz Valles

Rioja, Perú

2020

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

ACTA N° 019- 2019/UCSS/FIADI

Siendo las 03:00 p.m. del día 10 de octubre de 2019, en la Biblioteca de la Universidad Católica Sedes Sapientiae de la Filial Rioja: Nueva Cajamarca, el Jurado de Tesis, integrado por:

- | | |
|-----------------------------------|-----------------|
| 1. Mg. Juan Luis Ruiz Aguilar | Presidente |
| 2. Ing. Denis Izquierdo Hernández | Primer Miembro |
| 3. Ing. Juan José Pinedo Canta | Segundo Miembro |
| 4. Ing. Rubén Ruiz Valles | Asesor |

Se reunieron para la sustentación de la tesis titulada: **"ESTIMACIÓN DE LA CAPTURA DE CARBONO EN DOS SISTEMAS AGROFORESTALES DE CAFÉ EN LA PROVINCIA DE RIOJA, SAN MARTÍN - PERÚ"**, que presenta la bachiller en Ciencias Ambientales, la **Sra. Lady Díaz Arteaga** 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, el Jurado luego de deliberar acuerda:

APROBAR

DESAPROBAR

La tesis, con el calificativo de **BUENA** y eleva la presente Acta al Decanato de la Facultad de Ingeniería Agraria, a fin de que se declare EXPEDITA para conferirle el TÍTULO de INGENIERO AMBIENTAL.

Firmado en Rioja, 10 de octubre de 2019.


Mg. Juan Luis Ruiz Aguilar
PRESIDENTE


Ing. Denis Izquierdo Hernández
1° MIEMBRO


Ing. Juan José Pinedo Canta
2° MIEMBRO


Ing. Rubén Ruiz Valles
ASESOR

DEDICATORIA

A mis padres, por su amor y apoyo incondicional durante mi formación personal y profesional.

A mis hermanas, por motivarme a seguir adelante y brindarme su apoyo constante a pesar de la distancia.

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por darme la fortaleza y motivación para culminar mis estudios, ser mi guía y apoyo en momentos difíciles.

A mi asesor Mg. Rubén Ruíz Valles, gracias por su apoyo durante la elaboración y ejecución de este trabajo de investigación.

A la Universidad Católica Sedes Sapientiae, gracias por brindarnos a muchos jóvenes la oportunidad de acceder a una formación profesional en la Región San Martín.

Al Ing. Herlin Vásquez Romero, por su amistad y compañerismo durante nuestra formación profesional, por animarme a concluir este trabajo de investigación.

Al Proyecto Especial Alto Mayo (PEAM), por facilitar sus instalaciones y equipos de laboratorio para realizar los análisis de suelos.

Al Ing. Carlos Hugo Egoavil de la Cruz y al Técnico de suelos Gleoder Ruiz Flores, por brindar las facilidades y su apoyo en el análisis de muestras de suelo del presente trabajo.

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
Índice general	v
Índice de tablas	vii
Índice de figuras	viii
Índice de apéndices.....	ix
Resumen	x
Abstract.....	xi
Introducción.....	1
Objetivos.....	3
CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO	4
1.1. Antecedentes.....	4
1.2. Bases teóricas especializadas	9
1.2.1. Captura de carbono.....	9
1.2.2. Cambio climático y emisiones de CO ₂	13
1.2.4. La deforestación	15
1.2.5. Agroforestería y cambio climático	17
1.2.6. Sistemas agroforestales.....	18
1.2.7. Clasificación de los sistemas agroforestales.....	19
1.2.8. Sistemas agroforestales de “café”.....	20
1.2.9. Ventajas y desventajas de los sistemas agroforestales de “café”	22
1.2.10. Descripción de las especies evaluadas.....	23
1.2.11. Descripción de los sistemas evaluados	26
1.3. Marco Legal.....	28
CAPÍTULO II: MATERIALES Y MÉTODOS	30
2.1. Diseño de Investigación	30
2.2. Lugar y fecha.....	30
2.3. Materiales	32
2.4. Población y muestra	32
2.3. Descripción de la investigación.....	33
2.3.1. Fase preliminar	33
2.3.2. Fase de campo	34
2.3.3. Fase de gabinete.....	39

2.4. Identificación de variables y su mensuración.....	40
2.5. Análisis estadístico de datos.....	44
CAPÍTULO III: RESULTADOS	45
3.1. Carbono capturado en los diferentes componentes evaluados en el sistema agroforestal “eucalipto torrellano” (<i>Eucalyptus torrelliana</i>) + “café” (<i>Coffea arabica</i>) (SAF ₁)	45
3.1.1. Carbono en biomasa aérea.....	45
3.1.2. Carbono almacenado en necromasa	46
3.1.3. Carbono en suelo	47
3.1.4. Análisis de varianza del carbono capturado en los diferentes componentes evaluados .	48
3.2. Carbono capturado en los diferentes componentes evaluados en el sistema agroforestal “pino chuncho” (<i>Schizolobium amazonicum</i>) + “café” (<i>Coffea arabica</i>) (SAF ₂).....	49
3.2.1. Carbono en biomasa aérea.....	49
3.2.2. Carbono almacenado en la necromasa.....	50
3.2.3. Carbono en suelo	51
3.2.4. Análisis de varianza del carbono capturado en los diferentes componentes evaluados.....	52
3.3. Análisis de la cantidad de carbono capturado en los diferentes componentes evaluados en los dos sistemas agroforestales en estudio.....	53
3.3.1. Carbono en biomasa aérea en el SAF ₁ y el SAF ₂	53
3.3.2. Carbono almacenado en necromasa en el SAF ₁ y el SAF ₂	54
3.3.3. Carbono en suelo en el SAF ₁ y el SAF ₂	55
3.4. Carbono capturado total por cada sistema evaluado	56
3.5. Estimación de CO ₂ en el SAF ₁ y SAF ₂	59
CAPÍTULO IV: DISCUSIONES	60
CAPÍTULO VI: RECOMENDACIONES	64
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	65
TERMINOLOGÍA.....	72
APÉNDICES	74

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. <i>Carbono almacenado en biomasa aérea en tC/ha en el SAF₁</i>	45
Tabla 2. <i>Medidas de dispersión para carbono almacenado en biomasa aérea en el SAF₁</i>	46
Tabla 3. <i>Carbono almacenado en necromasa en tC/ha en el SAF₁</i>	46
Tabla 4. <i>Medidas de dispersión para carbono almacenado en necromasa en el SAF₁</i>	47
Tabla 5. <i>Carbono almacenado en suelo en tC/ha en el SAF₁</i>	47
Tabla 6. <i>Medidas de dispersión para carbono almacenado en suelo en el SAF₁</i>	48
Tabla 7. <i>Carbono almacenado en los diferentes componentes evaluados en tC/ha en el SAF₁</i>	48
Tabla 8. <i>Análisis de varianza del carbono capturado en los diferentes componentes evaluados en el SAF₁</i>	49
Tabla 9. <i>Carbono almacenado en biomasa aérea en tC/ha en el SAF₂</i>	49
Tabla 10. <i>Medidas de dispersión para carbono almacenado en biomasa aérea en el SAF₂</i>	50
Tabla 11. <i>Carbono almacenado en necromasa en tC/ha en el SAF₂</i>	50
Tabla 12. <i>Medidas de dispersión para carbono almacenado en necromasa en el SAF₂</i>	51
Tabla 13. <i>Carbono almacenado en suelo en tC/ha en el SAF₂</i>	51
Tabla 14. <i>Medidas de dispersión para carbono almacenado en suelo en el SAF₂</i>	51
Tabla 15. <i>Carbono almacenado en los diferentes componentes evaluados tC/ha en el SAF₂</i>	52
Tabla 16. <i>Análisis de varianza del carbono capturado en los diferentes componentes evaluados en el SAF₂</i>	52
Tabla 17. <i>Carbono en biomasa aérea en el SAF₁ y el SAF₂ (tC/ha)</i>	53
Tabla 18. <i>Análisis de Varianza de carbono en biomasa aérea (tC/ha)</i>	53
Tabla 19. <i>Carbono en necromasa en el SAF₁ y el SAF₂ (tC/ha)</i>	54
Tabla 20. <i>Análisis de varianza de carbono en necromasa (tC/ha)</i>	54
Tabla 21. <i>Carbono en suelo en el SAF₁ y el SAF₂ (tC/ha)</i>	55
Tabla 22. <i>Análisis de varianza de carbono en suelo (tC/ha)</i>	55
Tabla 23. <i>Carbono promedio almacenado según los componentes evaluados en el SAF₁ y SAF₂</i>	56
Tabla 24. <i>Sistemas agroforestales en estudio y puntos de muestreo</i>	58

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
<i>Figura 1.</i> Ciclo del carbono.....	11
<i>Figura 2.</i> Muestra las emisiones de CO ₂ per cápita del Perú.....	14
<i>Figura 3.</i> Porcentaje de Emisiones Totales de GEI en el Perú según las fuentes de emisión.....	14
<i>Figura 4.</i> Pérdida de la superficie de bosques (ha/año).	17
<i>Figura 5.</i> Beneficios de las plantaciones bajo sombra.	21
<i>Figura 6.</i> Plantación de Coffea arabica.....	23
<i>Figura 7.</i> Yemas y frutos de Eucaliptus torelliana.....	24
<i>Figura 8.</i> Árbol de Eucaliptus torelliana.....	25
<i>Figura 9.</i> Plantación de la especie Schizolobium amazonicum con “café”	26
<i>Figura 10.</i> Sistema agroforestal de “eucalipto torrellano” – “café”	27
<i>Figura 11.</i> Sistema agroforestal de “pino chuncho” – “café”	28
<i>Figura 12.</i> Mapa de localización del área de estudio	31
<i>Figura 13.</i> Diseño de distribución de parcelas de muestreo.....	33
<i>Figura 14.</i> Delimitación del área de estudio	34
<i>Figura 15.</i> Toma de puntos de ubicación con GPS	35
<i>Figura 16.</i> Establecimiento de parcela para medición de DAP.	36
<i>Figura 17.</i> Marco para muestreo de necromasa	36
<i>Figura 18.</i> Establecimiento de calicata para muestreo de suelo.....	37
<i>Figura 19.</i> Medición del diámetro de las especies en estudio.....	38
<i>Figura 20.</i> Recolección de muestras de necromasa	38
<i>Figura 21.</i> Muestreo de suelo y análisis del porcentaje de Carbono.....	39
<i>Figura 22.</i> Porcentaje de carbono almacenado por componente en el SAF ₁	56
<i>Figura 23.</i> Porcentaje de carbono almacenado por componente en el SAF ₂	57
<i>Figura 24.</i> Carbono almacenado en los componentes evaluados por cada sistema agroforestal.....	57
<i>Figura 25.</i> Carbono total en cada sistema agroforestal	58

ÍNDICE DE APÉNDICES

	Pág.
Apéndice 1. Puntos de muestreo en cada sistema agroforestal evaluado.....	74
Apéndice 2. Modelo de ficha para la recolección de datos en campo.....	70
Apéndice 3. Datos de tC/ha en biomasa aérea por cada parcela de muestreo.....	77
Apéndice 4. Datos de peso registrado para muestras de necromasa	78
Apéndice 5. Datos de tC/ha en necromasa por cada subparcela de muestreo	79
Apéndice 6. Datos registrados para muestras de suelo.....	75
Apéndice 7. Resultados de análisis de caracterización de suelo	76
Apéndice 8. Método de Calcinación para la determinación de COS	77
Apéndice 9. Resultados de análisis de porcentaje de carbono total en suelo	78

RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo estimar la diferencia en la cantidad de carbono capturado (tC/ha) en los componentes biomasa aérea, necromasa y suelo en los sistemas agroforestales “pino chuncho” + “café” y “eucalipto torrellano” + “café” en la provincia de Rioja.

Para la estimación de carbono capturado en los componentes de los sistemas agroforestales, se empleó la metodología proporcionada por el Centro Internacional de Investigación Agroforestal [ICRAF] (2009). Se establecieron cinco parcelas de muestreo en cada sistema agroforestal. En cada sistema agroforestal se establecieron cinco parcelas de muestreo con dimensiones de 100 m² para muestreo de biomasa aérea, 1 m² para muestreo de necromasa y cinco calicatas de 0.30 m de profundidad para muestreo de suelo. Los cálculos del contenido de carbono se realizaron mediante el uso de fórmulas para cada componente; además del Análisis de Varianza para la comparación de resultados.

El promedio de carbono por componente evaluado en el sistema agroforestal “eucalipto torrellano” + “café” fue de 61.642 tC/ha para biomasa aérea, 0.473 tC/ha para necromasa y 728.100 tC/ha para suelo; en el sistema agroforestal “pino chuncho” + “café” el promedio por componente evaluado fue de 69.301 tC/ha para biomasa aérea, 1.003 tC/ha para necromasa y 1060,694 tC/ha para suelo. De acuerdo el Análisis de Varianza para el carbono capturado por los dos sistemas se concluye que no existen diferencias significativas en el carbono capturado en biomasa aérea, mientras que sí existen diferencias significativas en el carbono capturado en necromasa y en el carbono almacenado en suelo. El sistema agroforestal de “pino chuncho” + “café” captura mayor cantidad de carbono que el sistema agroforestal de “eucalipto torrellano” + “café”, debido a que en este sistema se registró mayor diámetro altura de pecho, mayor peso de necromasa, mayor porcentaje de materia orgánica en el componente suelo.

Palabras claves: Sistema agroforestal, captura de carbono, biomasa aérea, materia orgánica muerta.

ABSTRACT

The purpose of this research was to estimate the difference in the amount of carbon captured (tC/ha) in the components of aerial biomass, dead organic matter and soil in two agroforestry systems “pino chuncho” + “café” and “eucalipto torrellano” + “café” in the province of Rioja.

For the estimation of carbon captured in the components of agroforestry systems, the methodology provided by the International Center for Agroforestry Research [ICRAF] (2009) was used. Five sampling plots were established in each agroforestry system. The dimensions of each plot were 100 m² for aerial biomass, 1 m² for dead organic matter and for soil sampling a calicate of 0.30 m depth per plot was established. Carbon content calculations were performed by using formulas for each component under study; then by means of the Analysis of Variance the comparison of results of the two agroforestry systems evaluated was made.

The average carbon for each component evaluated in the “eucalipto torrellano” + “café” agroforestry system was 61.642 tC/ha aerial biomass, 0.473 tC/ha dead organic matter and 728.100 tC/ha soil; in the “pino chuncho” + “café” agroforestry system the average per component evaluated was 69.301 tC/ha aerial biomass, 1.003 tC/ha dead organic matter and 1060.694 tC/ha soil. When applying the analysis of variance for the carbon captured by the two systems, it is concluded that there are no significant differences in the carbon captured in aerial biomass, while there are significant differences in the carbon captured in the dead organic matter and in the carbon stored in soil. The agroforestry system of “pino chuncho” + “café” captures more carbon than the agroforestry system of “eucalipto torrellano” + “café”, because in this system there was a greater diameter chest height, greater weight of dead organic matter, a higher percentage of organic dead matter in the soil.

Key Words: Agroforestry system, carbon capture, aerial biomass, organic dead matter

INTRODUCCIÓN

La vegetación y los suelos son importantes depósitos de carbono, por ello es de gran importancia inventariar las reservas de carbono y realizar el monitoreo de los flujos de carbono en los ecosistemas, ya que el bosque es la “tecnología” más eficiente y barata para captar el carbono y contrarrestar el cambio climático, disminuyendo así los efectos que producen los gases de efecto invernadero (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO], 2017a). Ante esta realidad se han desarrollado diversos estudios para cuantificar la cantidad de carbono capturado por distintas especies en diferentes ecosistemas llámense estos humedales, bosque primario, bosque secundario, bosques plantados y también en sistemas agroforestales (Ordóñez *et al.*, 1999).

La Ley Marco sobre el Cambio Climático N° 30754 (2018), supone un paso importante en cuanto a las iniciativas y medidas para la mitigación del cambio climático, ya que establece principios, enfoques y las disposiciones para facilitar, articular e integrar las diferentes iniciativas orientadas a mitigar el cambio climático por las diversas instituciones a fin de que el Perú cumpla el compromiso internacional asumido en la Convención Marco de Las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático.

La estimación de la captura de carbono permite conocer la cantidad de carbono que almacenan los diversos ecosistemas para así evaluar cuales son los que presentan un mayor potencial de captura de carbono, por ello se realizó la estimación de la captura de carbono en dos sistemas agroforestales, un tipo de uso de la tierra en la que se realiza el manejo asociado de especies forestales y agropecuarias en un espacio de manera simultanea teniendo en cuenta que instituciones como el Servicio Forestal y de Fauna Silvestre (SERFOR), promueven la ampliación de la frontera forestal mediante la instalación de sistemas agroforestales y plantaciones forestales. Sin embargo, no siempre se cuenta con estudios de la efectividad de las especies con las que se está reforestando, además de que la mayoría de éstas son especies exóticas. Es por ello que el objetivo general de la presente investigación fue comparar la cantidad de carbono capturado en el sistema agroforestal “pino chuncho” + “café” y en el sistema agroforestal “eucalipto torrellano” + “café”.

A continuación, se presentan los resultados de la investigación de manera secuencial en capítulos que comprenden el marco teórico, materiales y métodos empleados para la ejecución y desarrollo de la investigación, resultados obtenidos, discusiones y conclusiones correspondientes, así como también las recomendaciones, bibliografía utilizada y los apéndices que muestran las tablas, datos obtenidos en campo y fotografías ilustrativas de las actividades realizadas.

OBJETIVOS

Objetivo General

Estimar la diferencia en la cantidad de carbono capturado en el sistema agroforestal “pino chuncho” + “café” y en el sistema agroforestal “eucalipto torrellano” + “café”.

Objetivos Específicos

- Determinar el carbono almacenado en la biomasa aérea en los sistemas agroforestales “pino chuncho” + “café” y “eucalipto torrellano” + “café”.
- Estimar el carbono almacenado en la necromasa de los sistemas agroforestales “pino chuncho” + “café” y “eucalipto torrellano” + “café”.
- Cuantificar el carbono almacenado en el suelo en los sistemas agroforestales “pino chuncho” + “café” y “eucalipto torrellano” + “café”.

CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO

1.1. Antecedentes

La Comisión Centroamericana de Ambiente y Desarrollo [CCAD] (1998) realizó en Costa Rica un estudio con el objetivo de estimar la cantidad de carbono almacenado y captado en el Corredor Biológico Mesoamericano (Costa Rica). La metodología empleada para este estudio consistió en el uso de datos de biomasa a partir de datos de volúmenes forestales a nivel nacional y datos de carbono de acuerdo a las categorías de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza [UICN], para realizar las estimaciones crearon un software que permita procesar los datos y derivar los valores de carbono. Las variables evaluadas fueron carbono potencial, carbono real, fijación por crecimiento y la emisión evitada. Los resultados obtenidos del estudio mostraron para el Corredor Biológico Mesoamericano (CBM) un potencial de carbono de 232 400 511 toneladas, un estimado de carbono real al año 1997 de 150 277 764 toneladas, una fijación anual debido a crecimiento del bosque secundario de 1 494 489 toneladas y una emisión evitada de 2 615 976 toneladas al año. El estudio concluyó en que los bosques en sus diferentes estados de madurez (bosque primario y bosque secundario) cumplen un papel muy importante en la captura de carbono el Corredor Biológico Mesoamericano, por lo cual se debe asumir acciones de ordenación forestal para disminuir la deforestación dentro del CBM.

Ordóñez *et al.* (1999) realizaron un estudio con el objetivo de determinar la captura de carbono en un bosque natural de la Comunidad Indígena de Nuevo San Juan – Michoacán (México), la metodología empleada consistió en el uso del modelo de simulación CO₂Fix. Las variables evaluadas fueron: la curva de crecimiento de la especie analizada, parámetros fisiológicos y contenido de carbono en suelo. Entre los principales resultados se obtuvo que la captura de carbono en biomasa y suelo empezará a fijarse a los 80 años, en tanto que el carbono en productos logró estabilizarse a los 100 años, ya que en el ecosistema forestal el tiempo de producción y descomposición de los productos fue distinto al ciclo natural del carbono. La cantidad de carbono capturado para el bosque natural de la Comunidad Indígena de Nuevo San Juan – Michoacán, empleando el modelo CO₂Fix en una superficie de 8.870 ha de Pinos, dio como resultado 1.5 tC a los 50 años, en cuanto a la cantidad de carbono por

hectárea, la captura unitaria total a largo plazo alcanzó 217 tC/ha, de las cuales 94 tC/ha corresponden al suelo, 74 tC/ha a biomasa y 49 tC/ha al carbono de productos. Los autores concluyeron que al alargar el ciclo de rotación se produce beneficios solamente de la captura total de carbono y estos beneficios solamente se dan en un muy largo plazo, en cambio al transformar la madera extraída en productos de tiempo de vida muy largos se produce una sustantiva ganancia en cuanto a captura de carbono total en los bosques de la comunidad indígena de San Juan.

Gamarra (2001) realizó una investigación con la finalidad de determinar el carbono almacenado en la biomasa, hojarasca y suelo en el bosque de *Eucaliptus globulus* Labill de la comunidad campesina Hualhuas, Junín (Perú). La metodología empleada consistió en el desarrollo de un inventario de diámetros y alturas de árboles en un muestreo sistemático, además de las mediciones de maleza, hojarasca y suelo en 60 parcelas de 625 m² cada una. Las variables evaluadas fueron: biomasa arriba del suelo, biomasa abajo del suelo, hojarasca y suelo. Los resultados obtenidos mostraron 73.03 tC/ha para biomasa arriba del suelo, 21.64 tC/ha para biomasa abajo del suelo, 4.99 tC/ha para hojarasca y 37.39 tC/ha para suelo. El autor concluyó que el bosque evaluado alcanza anualmente en promedio 7.25 tC/ha, lo cual representa una fijación neta anual de 7982.25 tCO₂.

Lapeyre *et al.* (2004) realizaron una investigación a fin de conocer el potencial de captura de carbono en bosque primario, bosque secundario de diferentes edades, sistemas agrícolas locales “maíz” (*Zea mays* L.), “arroz” (*Oryza Sativa* L.), “pastos” (*Brachiaria* (Trin.) Griseb.) y sistemas agroforestales con “café” (*Coffea arabica* L.) bajo sombra y “cacao” (*Theobroma cacao* L.) en la región de San Martín (Perú), mediante la determinación de la biomasa aérea. La metodología empleada consistió en la instalación de cinco transectos al azar en cada uno de los sistemas y dentro de estos transectos establecieron al azar cuadrados para cuantificar la biomasa herbácea y la biomasa de hojarasca. Los resultados obtenidos mostraron que el carbono total en el bosque primario fue de 485 tC/ha, superando ampliamente las reservas del bosque secundario de 50 años y de bosque descremado de 20 años, los cuales presentaron 234 tC/ha y 62 tC/ha respectivamente; mientras se verifica que la captura de carbono en los sistemas agrícolas es baja, en el orden de 5 tC/ha. La investigación concluyó en que los sistemas agrícolas y agroforestales el nivel de carbono es más bajo que

en los bosques naturales, los cuales presentan mayor cantidad de carbono. Además, se generan grandes pérdidas de carbono al cambiar extensiones de bosque por cultivos agrícolas.

Concha *et al.* (2004) desarrollaron un estudio con la finalidad de conocer el potencial de captura de carbono de seis sistemas agroforestales de “cacao” (*Theobroma cacao* L.) asociado con especies frutales y forestales maderables, el estudio se realizó en la región San Martín en las provincias de San Martín y Mariscal Cáceres (Perú). La metodología de estudio consistió en el establecimiento de cinco cuadrantes aleatoriamente de 100 m², en los cuales se evaluó la biomasa vegetal existente. Además, para la vegetación herbácea y hojarasca se determinó cuadrantes de 1 m², para el caso de la ecuación alométrica del “cacao” se muestreo 7 plantas de 1 a 22 años. Las variables estudiadas fueron biomasa arbórea viva, biomasa herbácea y hojarasca. Los resultados mostraron 26.2 tC/ha para el sistema de Pachiza de 5 años y 45.07 tC/ha para el de 12 años, mientras que los valores de captura de carbono en biomasa arbórea viva oscilaron entre 12.09 tC/ha a 35.5 tC/ha y la biomasa de hojarasca presentó valores de 4 tC/ha hasta 9.97 tC/ha. Concluyeron que los sistemas agroforestales de 12 y 20 años representan más del 50 % del carbono evaluado.

Quiñe (2009) realizó un estudio con la finalidad de cuantificar la reserva de carbono en dos sistemas agroforestales con “café” en dos pisos altitudinales en la Región San Martín en los Fundos Juan Benito y Sananguillo (Perú), para el desarrollo de la investigación se empleó la metodología desarrollada por el ICRAF y los procedimientos descritos en el “Manual de determinación de las reservas totales de carbono en los diferentes sistemas de uso de la tierra” desarrollado por Arévalo *et al.*, 2003. Las variables evaluadas fueron carbono en biomasa aérea y carbono en suelo, los resultados obtenidos mostraron un total de 119,37 tC/ha para el “Fundo Juan Bernito” y 165,81 tC/ha para el “Fundo Sananguillo”. El autor concluyó en que la mayor cantidad de carbono se encuentra en el componente suelo, seguido de árboles vivos, árboles muertos, hojarasca, arbustos y herbáceas.

López (2014) realizó un estudio en la sub cuenca Yanayacu y Yuracyacu en la región San Martín (Perú), con la finalidad de determinar la cantidad de biomasa aérea y carbono almacenado total en las diferentes fuentes de almacenamiento de los sistemas agroforestales con “café”. La metodología consistió en la selección de 4 fincas de “café” la sub cuenca

Yanayacu y 6 en la sub cuenca Yuracyacu, en cada finca seleccionada se estableció una parcela de muestreo de 5000 m² para la identificación de especies usadas como sombra y para inventariar la vegetación arbórea, también se instaló dentro de cada parcela de muestreo una subparcela con una superficie de 100 m² para la determinación de carbono a través de ecuaciones alométricas y la evaluación biométrica de las especies. Las variables evaluadas fueron carbono en vegetación arbórea e inventario biométrico. Los resultados mostraron que un 64.35 % del carbono almacenado se encuentra en la vegetación arbórea, mientras que el 35.65 % está disponible en las plantaciones de “café”. La conclusión del autor fue que la mayor cantidad de carbono almacenado en los sistemas agroforestales se encuentra en las especies usadas como sombra, ya que se trata de especies arbóreas las cuales presentan mayor biomasa.

Cabrera *et al.* (2016) desarrollaron un estudio con el objetivo de estimar la cantidad de carbono almacenado en los sistemas agroforestales cafetaleros de las provincias de San Ignacio y Jaén (Perú). La metodología consistió en el muestreo de 32 sistemas agroforestales con densidades de siembra y manejo diferentes, dentro de cada sistema se evaluó biomasa aérea viva tanto de árboles como de “café”, hojarasca y suelo. Para la estimación de la cantidad de biomasa en el “café” utilizaron el método directo, mediante la extracción y fragmentación de sus componentes y el método indirecto para árboles mediante mediciones y cálculos con ecuaciones alométricas establecidas. Las variables estudiadas fueron: biomasa aérea viva, hojarasca y suelo. Los resultados obtenidos mostraron que el carbono almacenado en los sistemas agroforestales evaluados estuvo entre 45.22 a 144.05 tC/ha, mostrando un promedio de 76.49 tC/ha. Los autores concluyeron que los resultados obtenidos se deben a la influencia de factores biológicos, físicos, manejo y condiciones agroecológicas diferentes.

Timoteo *et al.* (2016) realizaron un estudio en tres sistemas agroforestales en el departamento de Huánuco (Perú), cuyo objetivo fue cuantificar la cantidad de carbono en la biomasa aérea y en el suelo de tres sistemas agroforestales durante el primer año de instalación. La metodología empleada consistió en el establecimiento de cuatro transectos de 100 m², cuatro sub-parcelas de 1 m², cuatro sub-parcelas de 2500 cm² y cuatro calicatas para el muestreo de suelo a 0-10 y 10-20 cm de profundidad. Las variables evaluadas fueron:

la biomasa aérea arbórea, la biomasa arbustiva y herbácea, la necromasa (hojarasca) y el contenido de carbono en el suelo. Los resultados obtenidos al primer año de instalación mostraron una acumulación de carbono en el Sistema Agroforestal (SAF₁) de 23.98 tC/ha para suelo y 9.44 tC/ha para biomasa y necromasa aérea, en SAF₂ mostraron 25.39 tC/ha para suelo y 11.40 tC/ha para biomasa y necromasa aérea, en SAF₃ mostraron 25.83 tC/ha para suelo y 11.37 tC/ha para biomasa y necromasa aérea. La conclusión de los autores fue que el 60 % del carbono total es representado por el carbono orgánico del suelo.

Gutiérrez (2017) realizó un estudio para determinar el carbono almacenado por la unidad de vegetación juncal en el Área de Conservación Regional Albuferas de Medio Mundo (ACRAMM) - Huaura (Perú). La metodología consistió en el muestreo de los diferentes estratos en estudio, teniendo en cuenta lo siguiente: Junco juvenil, Junco maduro, Junco senescente y Junco asociado. En cada parcela de muestreo evaluó 3 parcelas con distancias de 0, 5 y 10 m respecto al espejo de agua; suelo a 20 cm de profundidad, raíz, necromasa y la parte aérea del junco. El porcentaje de carbono fue analizado mediante el uso del horno de inducción ELTRA. Las variables estudiadas fueron: suelo, necromasa, raíz y parte aérea del junco. Entre los resultados obtuvo que el total de CO₂ almacenado fue 4378.76 tC/ha y el total de CO₂ capturado fue 16070.15 tCO₂ en el juncal del ACRAMM. La autora concluyó en que la unidad de vegetación juncal no solo es de gran importancia para la población cercana al área por el aprovechamiento del junco para la artesanía, sino también por la función de sumidero que cumple el humedal.

Díaz *et al.* (2016) realizaron una investigación en cinco sistemas de uso de la tierra, con el objetivo de estimar la cantidad de carbono almacenado en la biomasa aérea y en el suelo, en los distritos de Banda de Shilcayo, Pucacaca, Pongo de Caynarachi, Campanilla y Chirapa en la región San Martín (Perú). La metodología empleada consistió en la instalación de tres transectos de 4 m x 25 m en cada sistema de uso de la tierra, las variables evaluadas fueron: biomasa área viva, hojarasca y suelo, mediante la aplicación de la metodología desarrollada por el Centro Internacional de Investigación Agroforestal (ICRAF). Los resultados de la investigación evidenciaron que el carbono total en bosque primario fue 398.78 tC/ha y en bosque secundario fue 396.78 tC/ha, en cambio en los sistemas de “café”, “pijuayo” y “cacao” el carbono total fue de 17.88, 22.68 y 17.46 tC/ha respectivamente. El estudio

concluyó que en comparación con los sistemas estudiados la mayor cantidad de carbono almacenado se encuentra en el bosque primario y secundario, debido a que la captura de carbono disminuye al cambiar bosques por plantaciones de una sola especie.

1.2. Bases teóricas especializadas

Según Ruiz *et al.* (2007) el cambio en la percepción del valor total de los bosques y como deben ser utilizados está marcado por una creciente conciencia de la importancia de los servicios ambientales y por propuestas para captar parte de este valor a fin de reducir la deforestación. La evaluación económica de los servicios ambientales se ha centrado en cuatro bloques fundamentales: biodiversidad, fijación de carbono, ciclo hidrológico y educación. Teniendo en cuenta el servicio ambiental de fijación de carbono de acuerdo a la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO] (2010), el incremento de la superficie boscosa y la integridad de los bosques propiciada por actividades como la reforestación, forestación y restauración forestal suponen una importante fijación de CO₂ de la atmósfera.

1.2.1. Captura de carbono

Es el proceso mediante el cual el carbono es extraído de la atmósfera y almacenado mediante la fotosíntesis en la vegetación y en otros sumideros de carbono tales como los océanos y el suelo a través de procesos físicos (Ministerio del Ambiente [MINAM], 2012). Dichos sumideros de carbono pueden ayudar a compensar el CO₂ emitido por las diversas actividades humanas, principalmente por la quema de combustibles fósiles, por tanto, se considera que la agricultura puede proporcionarnos un importante servicio ambiental mediante la captura de carbono, ya que permitiría compensar el dióxido de carbono emitido por otros sectores (MINAM, 2012). La captura de carbono representa una estrategia de mitigación frente al cambio climático, por lo cual debe ser potenciada mediante las prácticas de reforestación, forestación, ampliación de la cubierta forestal mediante la agro silvicultura, agroforestería y en los demás sistemas agrícolas, además de ciudades y paisajes rurales (FAO, 2010).

Se considera a la captura y almacenamiento de carbono como una alternativa para estabilizar las concentraciones atmosféricas de gases de efecto invernadero (GEI), pues este proceso consiste en la separación del dióxido de carbono emitido por diversas fuentes, su almacenamiento y su aislamiento de la atmósfera por un largo periodo (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [IPCC], 2005).

a. Ciclo del carbono

El carbono es un elemento químico esencial en los compuestos orgánicos, este elemento circula entre el suelo, subsuelo, la atmósfera y los océanos; los cuáles son denominados depósitos de carbono. La circulación del carbono a través de los depósitos de carbono ocurre mediante procesos químicos, físicos y biológicos (Burbano, 2018).

El intercambio de carbono entre los reservorios terrestre y atmosférico inicia cuando las plantas absorben y transforman el CO₂ a través de la fotosíntesis en azúcares. Las plantas juegan un papel fundamental en el ciclo del carbono ya que mediante el proceso de fotosíntesis regulan la cantidad de CO₂ en la atmósfera. Al tratarse de un ciclo biogeoquímico intervienen otros factores y el carbono es intercambiado entre la litósfera, la hidrósfera y la atmósfera (Gutiérrez, 2017).

La fijación del dióxido de carbono atmosférico mediante la fotosíntesis da inicio al ciclo del carbono, este proceso es realizado por las plantas y algunos microorganismos. En la fotosíntesis se ven involucrados el dióxido de carbono y el agua, los cuales reaccionan para formar carbohidratos y a su vez liberar oxígeno a la atmósfera. Los carbohidratos, en parte son los que suministran energía a la planta y producto de su metabolismo también se libera CO₂ el cual retorna a la atmósfera; otra parte del carbono es consumido por los animales ya que estos como durante sus procesos metabólicos liberan carbono. Asimismo, al finalizar su ciclo de vida, las plantas y los animales son descompuestos por los microorganismos presentes en el suelo de modo que el carbono presente en sus estructuras es liberado tanto a la atmósfera como también pasa a formar parte del carbono orgánico del suelo (Burbano, 2018).

La Figura 1 ilustra el ciclo del carbono, ciclo que equilibra las concentraciones de carbono en la atmósfera del planeta tierra. Como resultado se obtiene el balance de carbono por medio de procesos de fijadores o almacenadores de carbono como es el caso de los bosques primarios, humedales y sistemas agroforestales que cumplen un servicio ambiental de capturar carbono (Ordóñez, 1999).

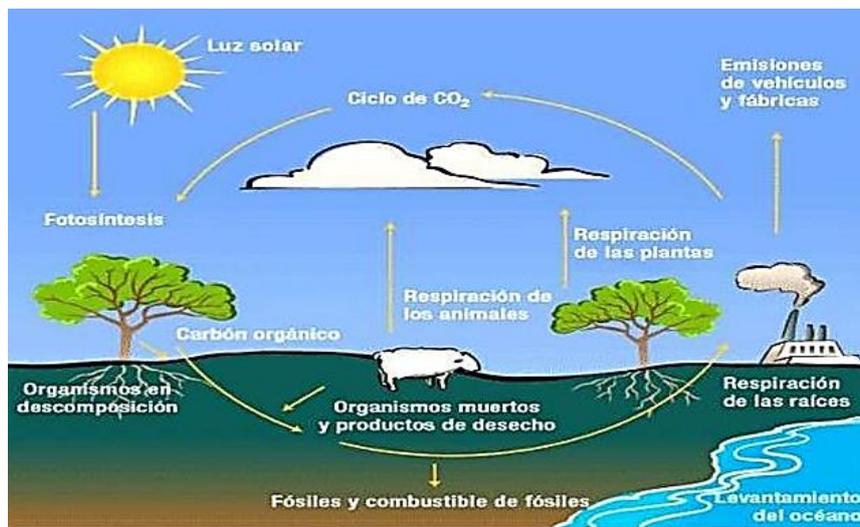


Figura 1. Ciclo del carbono. Fuente: Ordóñez, 1999.

b. Métodos para la estimación de carbono

- Método directo o destructivo, se realiza mediante la cosecha de la biomasa de todos los árboles que abarca el área en estudio, se debe secar y pesar la biomasa para generar ecuaciones alométricas; implica alta inversión de tiempo, mano de obra y recursos, por lo que no es recomendable aplicarlo para la estimación de carbono a gran escala o para grandes áreas (Fernández, 2017).
- Método indirecto, consiste en seleccionar ecuaciones alométricas existentes en la literatura y realizar los cálculos necesarios, luego de haber medido las variables correspondientes en campo (Fernández, 2017).

c. Depósitos de carbono

Son aquellos sistemas o sus componentes capaces de almacenar o emitir carbono, como por ejemplo la biomasa viva, la materia orgánica muerta y los suelos (materia orgánica del suelo) (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO], 2005).

Los depósitos de carbono que pueden ser medidos son tres (IPCC, 2003, citado por ICRAF, 2009):

- Biomasa viva, la cual comprende la biomasa sobre el suelo y la biomasa subterránea. La biomasa sobre el suelo incluye troncos vivos, cáscaras, semillas, hojas y ramas, para su medición se clasifican en biomasa aérea arbórea y biomasa aérea no arbórea. En tanto todas las raíces vivas, excluyendo las raíces finas con menos de 2 mm de diámetro, que son difíciles de distinguir en la materia orgánica, pertenecen a la biomasa subterránea.
- Materia orgánica muerta, representada por la madera muerta y hojarasca. La madera muerta incluye árboles muertos en pie, troncos caídos, y tocones con diámetro mayor a 10 cm. La hojarasca abarca todas las hojas, cáscaras de frutos y ramas en estado de descomposición. Así como también los detritos y humus.
- Suelo, abarca el carbono orgánico presente en los suelos orgánicos y minerales a una cierta profundidad según los requerimientos de cada estudio.

d. Sumideros y fuentes de emisión de carbono

Los bosques cumplen un importante papel en el balance de carbono, ya que contribuyen a la reducción del CO₂ presente en la atmósfera procedente de las actividades antropogénicas, sin embargo, también pueden ser fuentes de carbono debido a las perturbaciones que sufren por causa de la deforestación y quema de árboles (Pardos, 2010).

El carbono se almacena en la vegetación subsidiaria, en los árboles, en los productos obtenidos y suelos. Sumidero de carbono hace referencia a que existe un flujo de carbono desde la atmósfera al sistema, en tanto que las fuentes de carbono son las que generan un flujo de carbono del sistema hacia la atmósfera, entre ellas se encuentran fuentes naturales y antropogénicas (Pardos, 2010).

1.2.2. Cambio climático y emisiones de CO₂

El (IPCC, 2005) en su cuarto informe indica que el calentamiento global de la superficie del planeta ha sido inducido por las actividades humanas y principalmente por el incremento de la concentración de las emisiones de gases de efecto invernadero, esto debido al incremento de las actividades productivas y económicas desencadenadas por la revolución industrial, y a la tendencia actual del consumismo y el uso irracional de los recursos naturales, principalmente los combustibles fósiles (Ministerio del Ambiente [MINAM], 2015).

Caballero *et al.* (2000), citados por Bueno (2016), define al efecto invernadero como: el fenómeno mediante el cual la tierra incrementa su temperatura debido a la acción de los GEI, por lo que se requiere conocer y entender los factores o agentes que inciden en las variaciones atmosféricas.

El incremento de emisiones de gases de efecto invernadero y en especial las emisiones de CO₂ influyen directamente en el cambio climático el cual se define como la variación del clima influenciado directa o indirectamente por las actividades antropogénicas que modifican los componentes atmosféricos, incluyendo los cambios naturales del clima registrados en periodos de tiempo similares (Organización de las Naciones Unidas [ONU], 1992). Los efectos del cambio climático son irreversibles y de gran magnitud en todos los seres vivos, ya que algunos de ellos pueden extinguirse al no ser capaces de adaptarse a los cambios drásticos del clima.

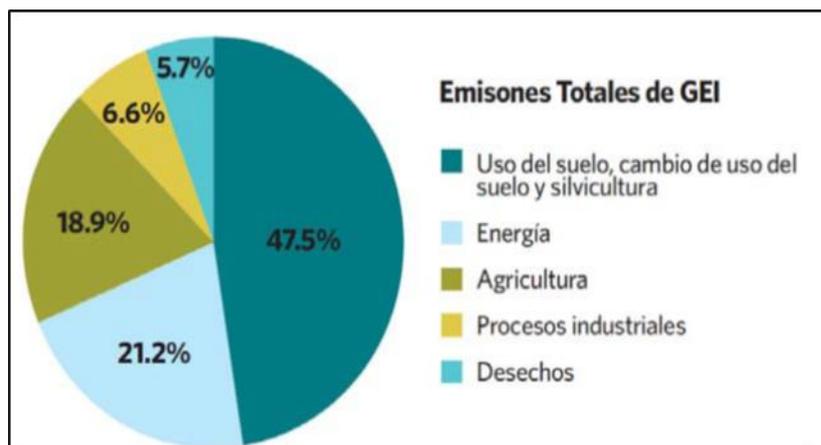


Figura 2. Muestra las emisiones de CO₂ per cápita del Perú. Fuente: Banco Mundial [BM], 2017.

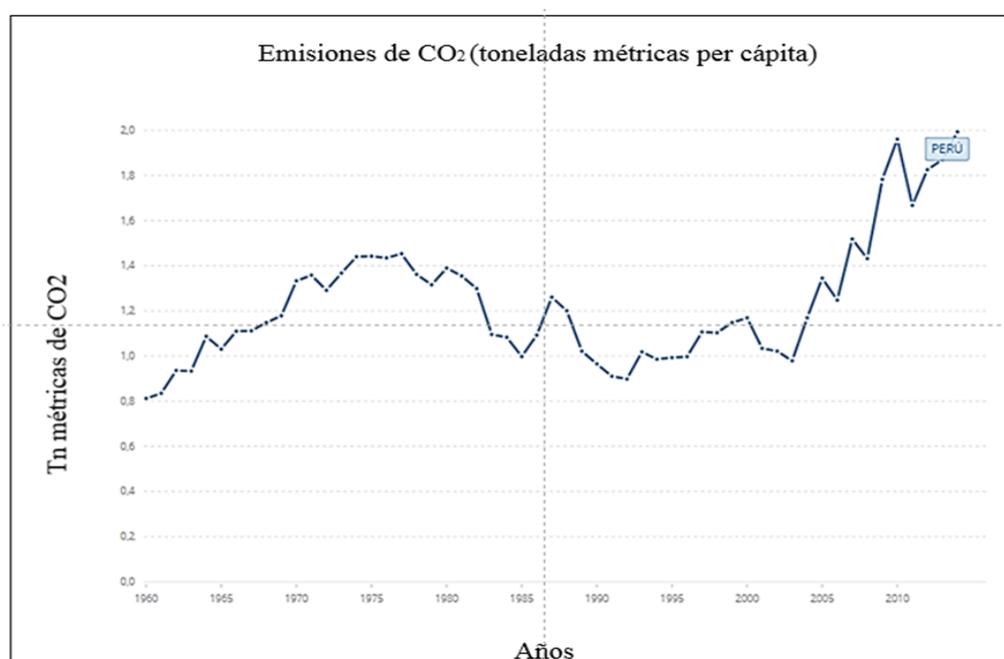


Figura 3. Porcentaje de Emisiones Totales de GEI en el Perú según las fuentes de emisión.

Fuente: Ministerio del Ambiente [MINAM], 2009.

1.2.3. Inventario de gases de efecto invernadero en el Perú

Los Inventarios de Gases de Efecto Invernadero son elaborados según lo establecido en los artículos 4 y 12 de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) y en las directrices del IPCC cumplimiento a lo establecido.

El Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero (INGEI), brinda información sobre las emisiones antropogénicas y la absorción por sumideros de los GEI de cinco categorías establecidas por el IPCC, las cuales son: agricultura; uso del suelo, cambio de uso del suelo y silvicultura (USCUSS), energía, procesos industriales y desechos. Además, el INGEI brinda información de las emisiones de gases de efecto invernadero directos de dióxido de carbono (CO₂), óxido nitroso (N₂O) y metano (CH₄), por lo cual constituye una importante herramienta para la gestión de las emisiones de GEI a la atmósfera (Ministerio del Ambiente [MINAM], 2014).

En la actualidad el Perú cuenta con cinco inventarios nacionales de GEI, con año base 1994, 2000, 2005, 2010, 2012 y 2014, en los que se ha identificado aquellos sectores que presentan mayor cantidad de emisiones, con la finalidad de promover esfuerzos e iniciativas para la gestión de las mismas (MINAM, 2014).

Las emisiones per cápita de Perú están por debajo del promedio mundial, por lo que no es un emisor potencial de GEI; sin embargo, está dentro de los países más vulnerables al cambio climático (Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre [SERFOR], 2017).

1.2.4. La deforestación

A través de la historia los humanos han jugado un papel determinante en la deforestación, una civilización tras otra ha usado bosques enteros para obtener madera y construir sus viviendas y barcos, y también para usar como combustible. Esos bosques una vez que han sido devastados no han logrado recuperarse ni en mil años y algunos de ellos ya nunca se recuperarán (Marcano, 2007).

Se cree erróneamente que un área deforestada es representada por un área desnuda, es por ello que, al ver imágenes de áreas altamente deforestadas en los trópicos, dichas áreas no parecen estar deforestadas. Esto es razonable si por lo menos el 10 % del área es cubierta por las copas de los árboles, pero si el porcentaje cae por debajo de 10 %, las áreas tropicales son consideradas deforestadas. Pero el hecho de que existan algunos árboles no quiere decir

que el bosque no haya sufrido algún daño. Cualquier reducción o alteración del bosque representa un problema para su ecosistema (Marcano, 2007).

Los bosques son ecosistemas altamente productivos que generan múltiples bienes y servicios que brindan sustento a la sociedad en general, sin embargo la deforestación genera un grave impacto negativo sobre ellos, dando lugar a la pérdida de gran diversidad de especies de flora y fauna, materiales valiosos, medicinas, así mismo los servicios ecosistémicos que brindan los bosques se ven reducidos, la pérdida de bosques también causa erosión, por lo que se viven temporadas de sequía o inundaciones. Las personas indígenas sufren por la alteración de su entorno, pues el futuro de los bosques y las personas están estrechamente ligados. En el Perú las principales causas directas de deforestación son la agricultura, la ganadería, minería y cultivos ilegales (Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre [SERFOR], 2015).

Los bosques y árboles constituyen grandes almacenes de carbono del planeta, por ello destruirlos, deforestarlos, quemarlos y/o explotarlos de manera irracional genera como consecuencia no solo la reducción de la cubierta forestal sino también la liberación de carbono hacia la atmósfera, empeorando de tal manera los futuros escenarios respecto al cambio climático, pues cumplen un papel fundamental en la mitigación del cambio climático global (SERFOR, 2017).

Las causas de la deforestación y degradación en el Perú están vinculadas a factores demográficos, económicos, políticos, institucionales, legales y de ordenamiento del territorio (Centro para la Investigación Forestal Internacional [CIFOR], 2013). En el Perú, en el año 2010 se perdió una superficie de 136 201 ha de bosques, cifra que aumentó en 28 461 ha para el año 2016, en la figura 3 se visualiza un incremento gradual de la superficie deforestada por año a partir del año 2010 (Sistema Nacional de Información Ambiental [SINIA], 2019).

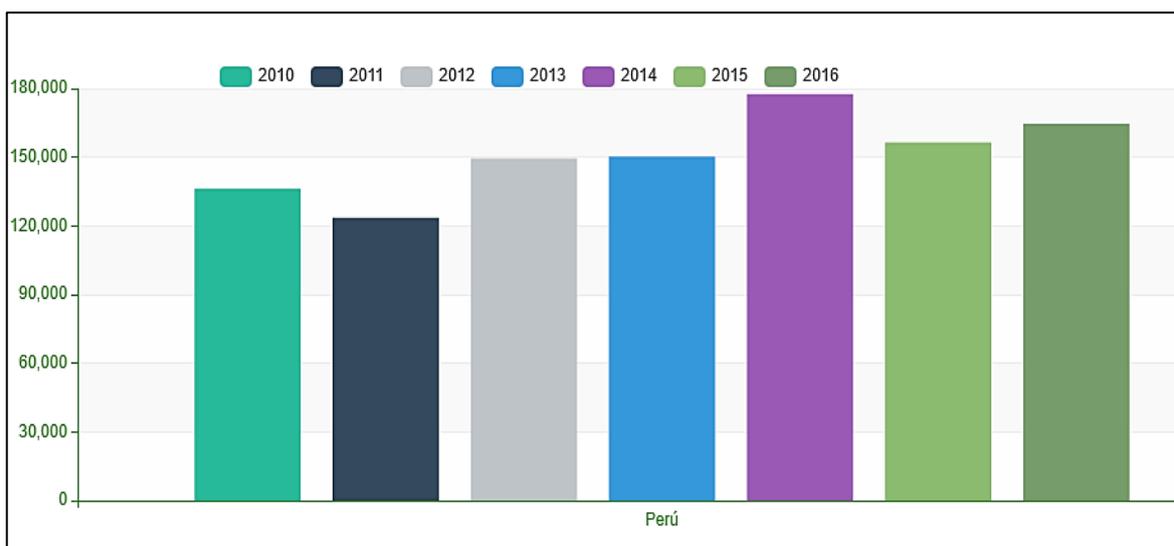


Figura 4. Pérdida de la superficie de bosques (ha/año). Fuente: SINIA, 2019.

La superficie del territorio por reforestar de acuerdo con el SINIA en el año 2015 fue de 9 448 814 ha y la superficie de bosque húmedo amazónico en el año 2016 era de 68 733 265 ha, en la actualidad no se cuenta con datos oficiales, los datos presentados son los únicos reportados por el SINIA a la fecha.

1.2.5. Agroforestería y cambio climático

Expertos en el tema indican que la temperatura y la disminución en la humedad del suelo seguirán en aumento por lo que ocasionarían la sustitución gradual de los bosques tropicales por sabanas, generando importantes pérdidas de diversidad biológica y la extinción de algunas especies en los ecosistemas frágiles y en agro ecosistemas (Centro Salvadoreño de Tecnología Apropriada [CESTA], 2011).

La deforestación evitada es una importante alternativa de mitigación ante el cambio climático, debido a la capacidad de los bosques para almacenar carbono; sin embargo, se debe equilibrar la producción de alimentos con la provisión de servicios ecosistémicos de los bosques. Ante esta realidad la agroforestería representa una valiosa alternativa para la mitigación, ello no implica que los sistemas agroforestales constituyan una justificación para la conversión de los bosques, si no para recuperar áreas deforestadas o degradadas (Lapeyre *et al.*, 2004).

Los modelos de producción agrícola se han visto gravemente afectados por los cambios del clima, ya que se sustentan en el uso de insumos químicos en su mayoría para garantizar su producción, uso de pesticidas, siembra de monocultivos y la introducción de especies exóticas entre algunas prácticas más comunes, agravando aún más la capacidad de producción de los suelos, causando el deterioro de estos. Frente a este grave problema la agroforestería se presenta como una gran alternativa a la agricultura sustentable ya que permite diversificar la producción, recuperar los sistemas productivos, reducir la dependencia de insumos químicos y por tanto un mejor reciclado de nutrientes en los suelos (CESTA, 2011).

La agroforestería facilita la adaptación de las fincas ante fenómenos climáticos extremos como heladas o sequías, combina la mitigación y adaptación al cambio climático, ya que además de la producción de madera, frutos, cortezas, semillas, resinas, los árboles realizan otras funciones muy importantes entre ellas la fijación y almacenamiento del carbono (CESTA, 2011). El alto potencial de los sistemas agroforestales para retener carbono es ampliamente aceptado (Jezeer y Verweij, 2015). Los servicios ambientales que brindan los sistemas agroforestales son muy importantes para la mitigación y adaptación al cambio climático (Jezeer y Verweij, 2015).

1.2.6. Sistemas agroforestales

De acuerdo con Nair (1993), los sistemas agroforestales son aquellos sistemas de uso de la tierra donde se combinan tres componentes que son manejados de acuerdo con el usuario agrario, especies leñosas perennes, cultivos agrícolas y animales, aunque en la presencia animal se da tan solo en algunos casos; entre estos componentes se producen interacciones ecológicas y económicas como resultado de los arreglos espaciales y temporales dentro del sistema. Los sistemas agroforestales crean sumideros en las tierras agrícolas y al mismo tiempo permiten producir alimentos (Fondo para el Medio Ambiente Mundial [FMAM], 2012).

En el Reglamento para la Gestión de las Plantaciones Forestales y los Sistemas Agroforestales, se define a los sistemas agroforestales como el tipo de uso de la tierra en el que se realiza el manejo asociado de especies agropecuarias y forestales en espacio y tiempo simultáneos, incluyendo diversas prácticas como preservación, manejo de especies leñosas e integración tanto en sistemas agrícolas productivos perennes como anuales (SERFOR, 2015).

Los sistemas agroforestales tienen un funcionamiento similar al de un bosque natural, debido a que se combinan árboles frutales, medicinales y maderables con cultivos tradicionales, de modo que se obtiene una mayor diversidad de productos (CESTA, 2011).

1.2.7. Clasificación de los sistemas agroforestales

Para clasificar a los sistemas agroforestales existen varios criterios los cuales están relacionados con la importancia, el rol y el arreglo temporal y espacial de sus componentes, así como el escenario económico social y los objetivos de la producción del sistema. Existen dos categorías básicas en las que se pueden clasificar a los sistemas agroforestales: en simultáneos y secuenciales (Palomeque, 2009).

a. Sistemas agroforestales simultáneos

Sistemas en los que las cosechas agrícolas o los animales y los árboles crecen juntos, en el mismo tiempo y espacio, es decir, todos sus componentes se encuentran presentes en estos sistemas; los árboles compiten por luz, minerales y agua, la competencia por nutrientes es minimizada mediante el espaciado y otras técnicas. En un sistema simultáneo, cuando la cosecha está creciendo rápidamente los árboles no deben crecer tan rápido, deben tener raíces más profundas que la de los cultivos para así disminuir la competencia y poseer un dosel pequeño de modo que no sombreen demasiado a los cultivos (Palomeque, 2009).

b. Sistemas agroforestales secuenciales

Sistemas en los que hay una relación cronológica entre los productos arbóreos y las cosechas anuales, además de formas de agricultura migratoria que incluyen el manejo de barbechos, y métodos de establecimiento de plantaciones forestales, denominados sistemas Taungya en los que las plantaciones de árboles se desarrollan de manera simultánea con los cultivos anuales hasta que el follaje de los árboles se haya desarrollado (Palomeque, 2009).

Las cosechas y los árboles en los sistemas secuenciales se turnan para ocupar el mismo espacio, los sistemas por lo general inician con cosechas agrícolas y finalizan con árboles, manteniendo así la competencia a un mínimo, ya que en los sistemas secuenciales los árboles deben crecer rápidamente cuando los cultivos no lo estén haciendo, además deben fijar nitrógeno, reciclar los minerales de las capas más profundas del suelo y suprimir plantas indeseables teniendo una copa grande.

1.2.8. Sistemas agroforestales de “café”

Los sistemas de producción de “café” pueden ser cultivados a pleno sol o bajo sombra, éste definido como el que se cultiva bajo la bóveda forestal. Para cultivar “café” bajo sombra los caficultores utilizan diversas especies de árboles, ya que este tipo de sistemas se implementan como respuesta a fenómenos que ha experimentado la caficultura moderna en la última década como la reducción del precio del “café” y el aumento de los costos de producción debido al mayor uso de insumos químicos (fertilizantes y plaguicidas); siendo una de las ventajas importantes que proporciona este tipo de sistemas cafetos más vigorosos y resistentes a plagas y enfermedades, lo cual les permite reducir el uso de insumos externos (Farfán, 2014).

Los sistemas agroforestales de “café” presentan otras ventajas como la obtención de hojarasca, frutos, madera, etc.; según el tipo de especie con la que se asocie el cultivo; mayor fertilidad del suelo, ya que incrementa la cantidad de nutrientes en el suelo; creación de microclimas moderados y estables para el cultivo. Lo cual ayuda a mejorar la producción y la vida útil de los cafetos; a ello se suman los servicios ambientales de este tipo de sistemas

ya que contribuyen con la captura de carbono y también como hábitat para algunas especies de aves, insectos, etc. (Mendieta y Rocha, 2007).

La captura de carbono en plantaciones de “café” es mayor, si hay mayor diversidad de especies vegetales, pero en comparación con los bosques naturales es menor (42 % para plantaciones de sombra orgánica), cabe resaltar que la reserva de carbono aumenta con la maduración de los árboles. Los productores de “café” pueden recibir beneficios indirectos, por el pago por los servicios ecosistémico, y así incentivar al agricultor que siga cuidando el medio ambiente. Además, los agricultores pueden recibir premios, como consecuencia de la certificación ambiental, en base a proyectos de concepto de reducción de emisiones provenientes de la deforestación y de la degradación de bosques (Jezeer y Verweij, 2015).

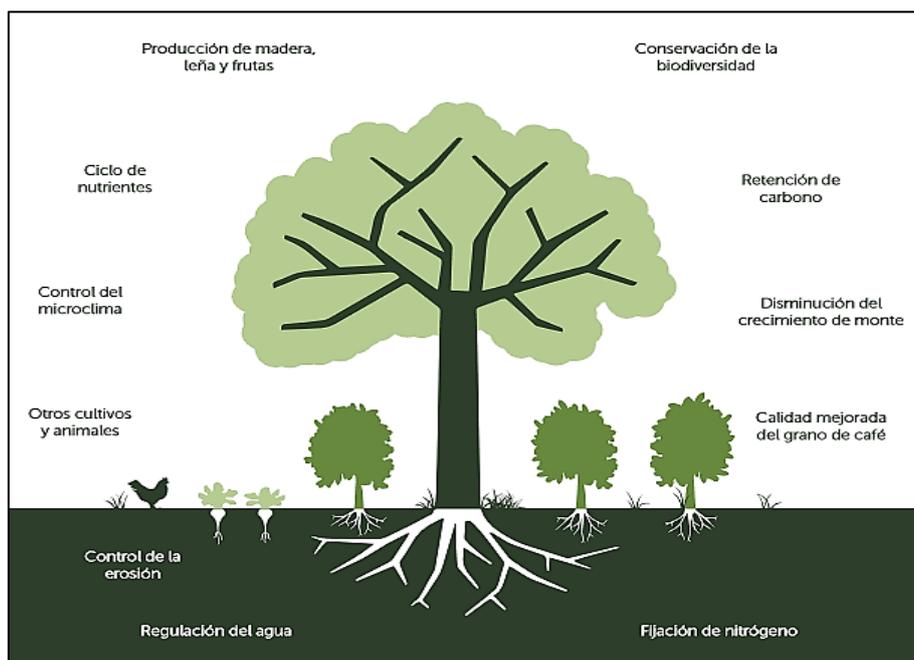


Figura 5. Beneficios de las plantaciones bajo sombra. Fuente: Jezeer y Verweij (2015).

1.2.9. Ventajas y desventajas de los sistemas agroforestales de “café”

Según Palomeque (2009), las ventajas y desventajas de la agroforestería son:

a. Ventajas

- Mejor y mayor uso de espacio vertical como de la radiación solar dentro del sistema entre los estratos vegetales.
- Propicia un clima más moderado, ya que atenúa las temperaturas extremas, proporciona sombra y reduce la evapotranspiración y el impacto del viento.
- Reduce la erosión causada por el agua y el viento (menos fuerza erosiva de las gotas de lluvia y de la escorrentía superficial).
- Mediante los árboles se incrementa las posibilidades de fijación de nitrógeno atmosférico.
- Mantiene y mejora la fertilidad y estructura del suelo: aporta nutrientes, materia orgánica, incremento de la actividad biológica y reducción de la acidez.
- Ayuda en la recuperación de suelos degradados.
- Se obtiene productos adicionales como: frutos, leña, madera, hojarasca, forrajes, madera, entre otros.
- Provee hábitat para mayor diversidad de especies.
- Reduce los daños por enfermedades y plagas para los cultivos.

b. Desventajas

- Puede reducir el nivel de producción de los cultivos, principalmente si se utilizan especies incompatibles y/o demasiados árboles los cuales generan mayor competencia por nutrientes.
- Pérdida de nutrientes en caso de que la madera y otros productos forestales sean cosechados y luego ser exportados fuera de la parcela.
- Reducción de la cantidad de agua que llega al suelo por interceptación de parte de la lluvia.
- Eventuales daños mecánicos a los cultivos asociados cuando se podan o cosechan los árboles.

- Posible obstaculización por parte de los árboles para la cosecha mecánica de los cultivos.
- El microambiente que se genera puede propiciar la aparición de algunas plagas o enfermedades.

1.2.10. Descripción de las especies evaluadas

A. Café (*Coffea arabica* L.)

El cafeto es una planta perenne, de hojas opuestas con pequeñas estípulas alternas a las hojas. Las flores son de color blanco, hermafroditas, con cuatro o cinco pétalos. En la unión de cada pétalo nace un estambre. Presenta una raíz pivotante profunda de donde nacen raíces laterales. Además, posee ovario bilobulado, estigma ramificado según el número de óvulos que tenga el ovario. El fruto es una baya córnea compuesta de 2 a 4 almendras y varía de color a su madurez (Figura 5). La semilla presenta un lado plano y uno convexo (Wrigley 1988, citado por Llanco, 2014).



Figura 6. Plantación de *Coffea arabica*. Fuente: Elaboración propia.

B. Eucalipto (*Eucalyptus torelliana* F. Muell.)

El eucalipto fue introducido en Perú en el año 1860, siendo las primeras plantaciones en el altiplano el *Eucalipto globulus*. (FAO, 1981).

Características: Los árboles de *E. torelliana* alcanzan una altura de 30 m, presentan copa densa y buen tronco, su corteza es subfibrosa en la base y teselada hasta los 5 m y lisa arriba a más de 5 m. Sus hojas juveniles son opuestas al principio, peltadas o con cortos peciolo cuando aún existe el talluelo levemente veloso y posteriormente estas son lanceoladas anchas. Las hojas adultas son alternas pecioladas u ovales, su madera es parda fuerte y dura con tendencia a presentar bolsas gomíferas (FAO, 1981).

Crece sobre suelos franco arenosos en alturas desde los 100 a 800 m.s.n.m., y a una temperatura mínima de 10 °C y máxima de 29 °C. Es empleado para postes largos y usos generales en la construcción de casas, además es debido a su densa copa es utilizado cortinas de abrigo y rompe vientos (FAO, 1981).

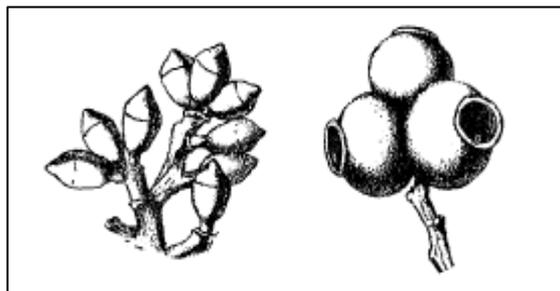


Figura 7. Yemas y frutos de *Eucalyptus torelliana*. Fuente: FAO, 1981, p. 648.



Figura 8. Árbol de *Eucalyptus torelliana*. Fuente: Elaboración propia.

C. “Pino chuncho” (*Schizolobium amazonicum* Huber ex Ducke)

Schizolobium amazonicum, es una especie de crecimiento rápido con tendencia heliófila, cuyo árbol alcanza una altura de 18 a 25 m y mide 30 a 70 cm de diámetro, presenta corteza lisa agrietada de color marrón rojizo con tendencia a grisáceo mientras que la corteza interna es de color amarillo blanquecino. Además, presenta ramificaciones en el tercer tercio. Asimismo, las ramitas terminales son de color rojizo claro; las hojas son glabras o finamente pubescentes por el envés; flores hermafroditas de mediano tamaño, zigomorfas, con cáliz de 4 a 5 mm de longitud y corola amarilla de 2 a 2.5 cm de longitud; frutos planos y alargados de superficie lisa y glabra color marrón rojizo o marrón oscuro, la semilla es única y alada, de forma y tamaño similar al fruto (Reynel *et al.*, 2003, citados por Villacorta, 2015).

Schizolobium amazonicum es una especie con afinidad por los suelos arenosos a limosos, con buen drenaje y pedregosidad baja a media, en el Perú crece debajo de los 1200 m.s.n.m. en bosques secundarios y en claros de bosque primario en la región amazónica (Reynel *et al.*, 2003, citados por Villacorta, 2015).



Figura 9. Plantación de la especie *Schizolobium amazonicum* con “café”.
Fuente: Elaboración propia

1.2.11. Descripción de los sistemas evaluados

A. Sistema agroforestal de “eucalipto torrellano” – “café”

Se ubica en las coordenadas UTM E 0220986 N 9364571, caserío “El Diamante”, distrito Pardo Miguel, propiedad de la señora Vertila Díaz Díaz.

La plantación tiene aproximadamente 4 años y abarca una extensión de 10000 m², con especies de “eucalipto torrellano” y “café” sembrados a una distancia de 4 m x 4 m y 2 m x 1.5 m respectivamente. De acuerdo al análisis de caracterización el suelo en este sistema es de clase textural Franco Arenoso, presenta 0.128 % de Nitrógeno (N), 6.50 ppm de Fósforo (P) y 89.26 ppm de Potasio (K) (ver Apéndice 8).



Figura 10. Sistema agroforestal de “eucalipto torrellano” – “café”.
Fuente: Elaboración propia.

B. Sistema agroforestal de “pino chuncho” + “café”

Se encuentra ubicado en las coordenadas UTM E 0220986 N 9364571, en el caserío “Alto Mayo”, distrito Awajun, provincia Rioja, propiedad del señor Carlos Cayatopa Campos.

La plantación tiene aproximadamente 4 años y abarca una extensión de 10000 m², con especies de “pino chuncho” y “café” sembrados a una distancia de 5 m x 5 m y 2 m x 1.5 m respectivamente. De acuerdo al análisis de caracterización el suelo en este sistema es de clase textural Franco Arenoso, presenta 0.123 % de Nitrógeno (N), 7.14 ppm de Fósforo (P) y 95.87 ppm de Potasio (K) (ver Apéndice 8).



Figura 11. Sistema agroforestal de “pino chuncho” – “café”.

Fuente: Elaboración propia.

1.3. Marco Legal

Ley Marco sobre el Cambio Climático N° 30754 (2018), ley que fortalece y facilita los procesos de concertación y difusión de las políticas públicas relacionadas a la gestión participativa e integral de las medidas de adaptación y mitigación al cambio climático, de manera que se logre un crecimiento bajo en carbono y así cumplir con los compromisos internacionales asumidos por el Estado ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático.

Según la Ley (30754), dentro de los enfoques para la gestión integral del cambio climático, se puede priorizar la mitigación y adaptación basada en la conservación de reservas de carbono, en el cual indica que se puede recuperar las áreas degradadas, y así aumentar las áreas destinadas a reservas de carbono, una de las alternativas para aumentar las reservas forestales de carbono son los sistemas agroforestales. Asimismo, el Estado en sus tres niveles de gobierno deberá implementar programas, proyectos y actividades enfocadas a la disminución

de gases de efecto invernadero e incrementar los sumideros de carbono, priorizando la protección, conservación, la forestación y reforestación. Por lo cual, una alternativa de solución para la mitigación y adaptación al cambio climático son los sistemas agroforestales.

Ley Forestal y de Fauna Silvestre N° 29763 (2015), tiene como finalidad promover la conservación, la protección, el incremento y el uso sostenibles del patrimonio forestal dentro del país, incluyendo con el mantenimiento y mejora de los servicios ecosistémicos forestales y así mismo impulsar el desarrollo forestal.

CAPÍTULO II: MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Diseño de Investigación

Behar (2008) menciona que en las investigaciones de tipo descriptivo se emplea la técnica de muestreo para la recolección de información, la cual es sometida a un proceso de codificación, tabulación y análisis estadístico de los datos recolectados. Por tanto, la presente investigación es de tipo descriptiva, ya que se evaluó la diferencia en la cantidad de carbono capturado en dos sistemas agroforestales en base al análisis de datos recogidos mediante un trabajo de campo y análisis de suelo en laboratorio.

2.2. Lugar y fecha

La investigación se llevó a cabo en dos sistemas agroforestales constituidos por “pino chuncho” (*Schizolobium amazonicum* Huber ex Ducke) + “café” (*Coffea arabica* L.) y “eucalipto torrellano” (*Eucalyptus torelliana* F. Muell.) + “café” (*Coffea arabica* L.), los cuales se encuentran ubicados en el distrito de Awajun en el sector Alto Mayo y en el distrito de Pardo Miguel en el sector El Diamante, provincia de Rioja, región San Martín. La ejecución de la investigación se llevó a cabo en los meses de noviembre, diciembre y enero.

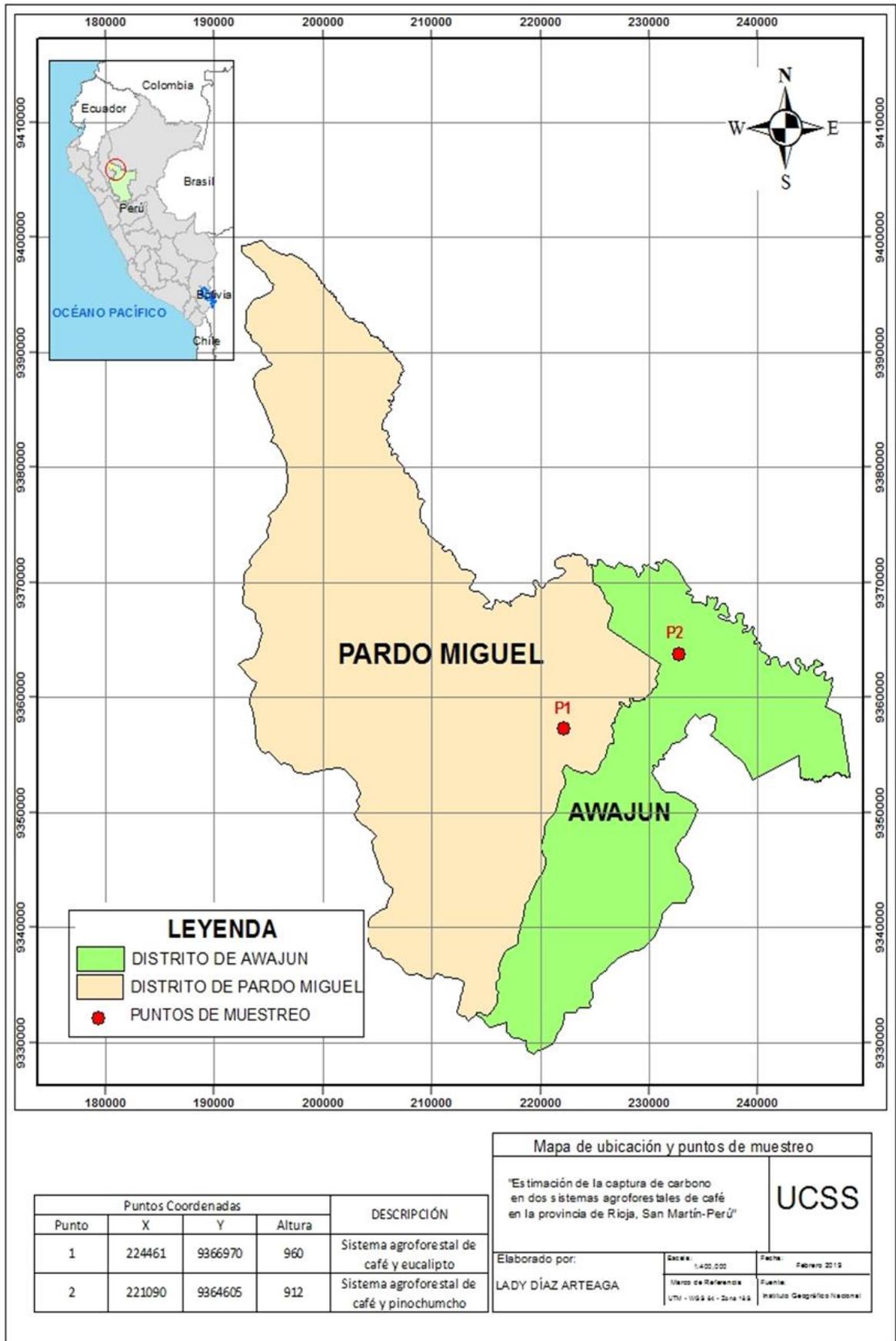


Figura 12. Mapa de localización del área de estudio. Fuente: Elaboración Propia.

2.3. Materiales

- GPS
- Forcípula
- Wincha
- Palana
- Balanza
- Bolsas plásticas
- Marco de madera de 1 m²
- Cilindro de volumen conocido
- Libreta de Campo
- Lapicero tinta indeleble

2.4. Población y muestra

La población estuvo constituida por los sistemas agroforestales de “pino chuncho” + “café” y “eucalipto torrellano” + “café”.

La muestra estuvo constituida por cinco parcelas de muestreo de 4 m x 25 m en cada sistema agroforestal, las cuáles fueron distribuidas al azar. En la Figura 12 se muestra la parcela de medición de diámetro (■), parcela de muestreo de necromasa (■); parcela de muestreo de suelo (■) como se muestra.

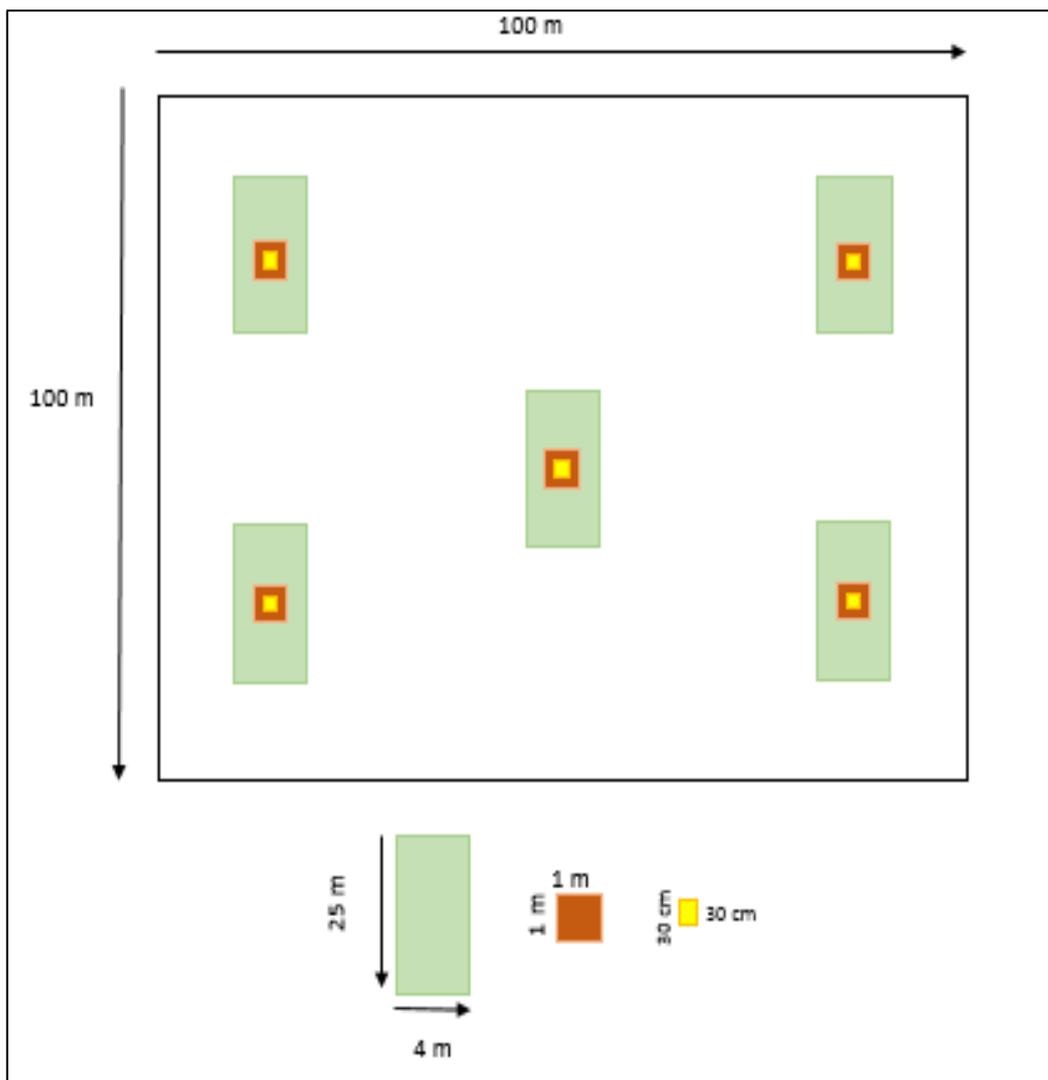


Figura 13. Diseño de distribución de parcelas de muestreo. *Fuente:* Elaboración propia, basada en “Guía para la determinación de carbono en pequeñas propiedades rurales” (Centro Internacional de Investigación Agroforestal [ICRAF], 2009).

2.3. Descripción de la investigación

2.3.1. Fase preliminar

En esta fase se realizó las siguientes actividades:

- Elaboración del mapa de ubicación del área de estudio (Figura 12).
- Elaboración de las fichas de datos para la colección de datos en campo (ver Apéndice 2).

- Acondicionamiento de los instrumentos de medición y recolección de datos en campo (GPS, forcípula, wincha, palana, balanza, bolsas plásticas y cinta para delimitar las parcelas).

2.3.2. Fase de campo

El proceso de toma de muestras y dimensiones en las parcelas de muestreo se llevó a cabo de acuerdo a la metodología que proporciona el Centro Internacional de Investigación Agroforestal (ICARF, 2009) en la “Guía para la determinación de carbono en pequeñas propiedades rurales”, la cual se detalla a continuación indicando todo el trabajo realizado en campo.

- a. Establecimiento del área donde se realizó la toma de muestras

Se utilizó una cinta métrica para medir un área de 10 000 m², luego se tomó los puntos de ubicación de la parcela con ayuda de un GPS (Figura 14 y 15).



Figura 14. Delimitación del área de estudio. *Fuente:* Elaboración propia.



Figura 15. Toma de puntos de ubicación con GPS. *Fuente:* Elaboración propia.

b. Determinación del tipo y número de parcelas de muestreo

La guía recomienda que las parcelas de muestreo deberían estar distribuidas de la forma más uniforme, por ello se tomó en cuenta la distribución y la densidad de siembra de las especies; por tanto, mediante un muestreo aleatorio simple se establecieron cinco parcelas para cada estrato en estudio, de la siguiente manera:

- Cinco parcelas de 4 m x 25 m, para las mediciones del diámetro de todos los árboles y plantas de “café” (Figura 16).
- Cinco subparcelas al interior de las parcelas para muestreo de necromasa con dimensiones de 1 m² (Figura 17).
- Cinco subparcelas al interior de las parcelas para muestreo de suelo con dimensiones de 120 cm³ (Figura 18).
- Además, se registró los puntos de ubicación de cada parcela con ayuda de un GPS.



Figura 16. Establecimiento de parcela para medición de DAP. *Fuente:* Elaboración propia.



Figura 17. Marco para muestreo de necromasa. *Fuente:* Elaboración propia.



Figura 18. Establecimiento de calicata para muestreo de suelo. *Fuente:* Elaboración propia.

c. Medición de diámetro

En cada parcela de muestreo, previamente establecida para cada sistema agroforestal, se realizó la medición del diámetro de los árboles “pino chuncho”, “eucalipto torrellano” y de las plantas de “café”, haciendo uso de una forcípula (Figura 19), las que fueron registradas en las fichas de campo. En el sistema agroforestal de “pino chuncho” + “café” se midió el DAP de un total de 25 árboles de “pino chuncho” y 173 plantas de “café” y en el sistema agroforestal de “eucalipto torrellano” + “café” 25 árboles de eucalipto y 140 plantas de “café”; en el Apéndice 3 se muestran los datos registrado por parcela.



Figura 19. Medición del diámetro de las especies en estudio. Fuente: Elaboración propia.

d. Muestreo de necromasa

Se estableció una subparcela al interior de cada parcela de muestreo con una dimensión de 1m x 1m. Se colectó toda la hojarasca y detritos al ras del suelo para luego homogenizar y obtener una muestra de 200 g. Luego secar a temperatura ambiente hasta obtener un peso constante, para ser registrado (Figura 20).



Figura 20. Recolección de muestras de necromasa. Fuente: Elaboración propia.

e. Muestreo de suelo

Se estableció 1 parcela de muestreo de suelo dentro de cada parcela, las muestras de suelo fueron colectadas a una profundidad de 30 cm (ICARF, 2009), por lo cual se tomó cinco muestras de suelo para cada sistema agroforestal evaluado. Las muestras fueron llevadas al

laboratorio de análisis de suelo del Proyecto Especial Alto Mayo, para su respectivo análisis mediante el método de calcinación. Este método consiste en el secado de muestras de suelo en una estufa a 500 °C durante 5 horas, para luego realizar los cálculos respectivos por diferencia de peso y mediante la aplicación del factor de Van Bemmelen (1.724) para determinar el porcentaje de carbono total (Eyherabide *et al.*, 2014) en lo cual determina el porcentaje de carbono total (ver Apéndices 8 y 9).

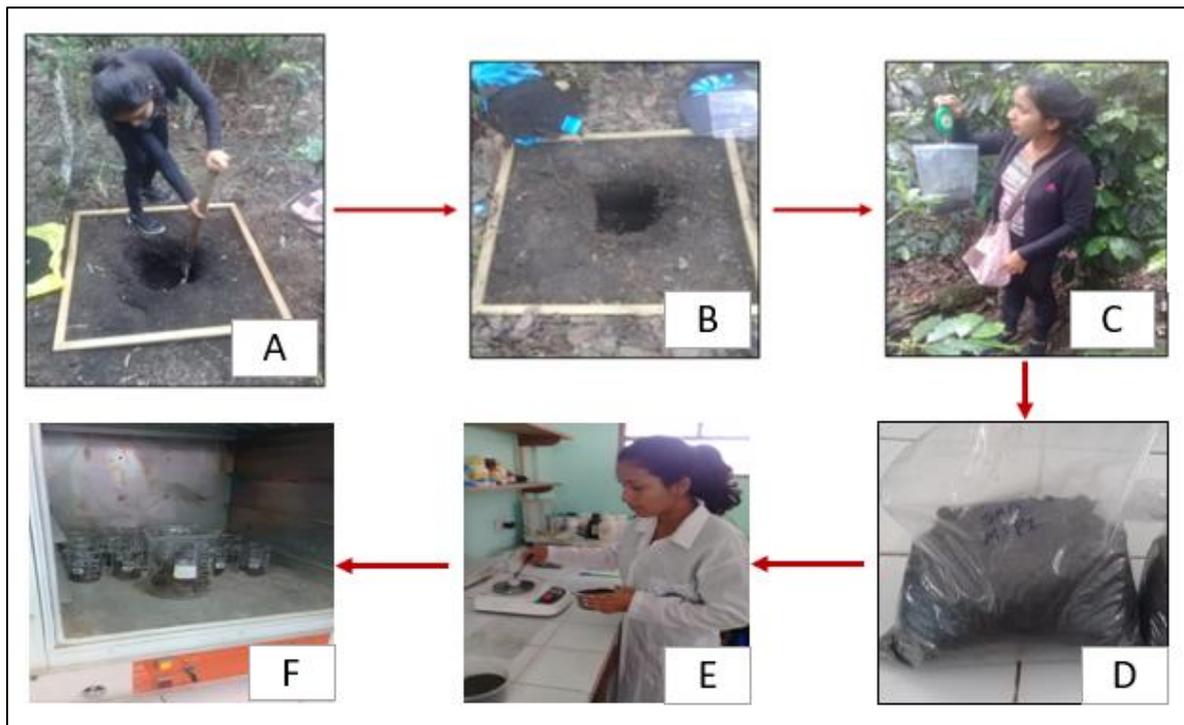


Figura 21. Muestreo de suelo y análisis del porcentaje de Carbono. Fuente: Elaboración propia.

2.3.3. Fase de gabinete

En esta fase se digitó, analizó, tabuló y procesó la información obtenida en campo, a fin de estimar la cantidad de carbono capturado en los dos sistemas agroforestales evaluados y determinar cuál de ellos presenta una mayor captura de carbono.

Luego de procesar la información se realizó las interpretaciones y conclusiones respectivas, concluyendo con la redacción del informe final.

2.4. Identificación de variables y su mensuración

- **Carbono almacenado en biomasa aérea**

Se realizó la medición y registro del diámetro de los árboles y plantas de “café” en cada parcela de muestreo. Para luego realizar el cálculo del carbono almacenado de la siguiente manera:

Se calcula la biomasa de cada uno de los árboles vivos y árboles muertos en pie, utilizando las siguientes formulas:

– Biomasa Arbórea Viva

$$BA = 0,1184 \times DAP^{2,53}$$

Donde:

BA = biomasa de árboles vivos en pie

DAP = diámetro a la altura del pecho (1,30 cm)

Fuente: (Arévalo et al., 2003).

Para calcular la biomasa por hectárea, se suma las biomásas de todos los árboles medidos y registrados (BTAV) es decir:

$$BAVT \left(\frac{t}{ha} \right) = BTAV \times 0.1$$

Donde:

BAVT= biomasa de árboles vivos en tha^{-1}

BTAV= biomasa total de las parcelas

0.1 = factor de conversión cuando la parcela es de 4 m x 25 m

Fuente: (Aguirre y Gutiérrez, 2009).

Contenido de carbono almacenado en la biomasa:

$$CBV = \text{Biomasa} \times 0.45$$

Donde:

BA = biomasa de árboles vivos en pie

DAP = diámetro a la altura del pecho (1.30 cm)

Fuente: Aguirre y Gutiérrez, 2009

– Biomasa de arbustos de *Coffea arabica* (kg/árbol)

$$Y = 0.2811DAP^{2.0635}$$

Donde:

DAP = Diámetro altura de pecho

Fuente: (Hairiah *et al.*, 2001 citado por Espinoza *et al.*, 2012)

Contenido de carbono almacenado en la biomasa

$$CBV = \text{Biomasa} \times 0.45$$

Donde:

BA = biomasa de árboles vivos en pie

DAP = diámetro a la altura del pecho

Fuente: Aguirre y Gutiérrez, 2009.

- **Cálculo del carbono en necromasa**

Para calcular la biomasa de la necromasa, se tomó en cuenta el valor obtenido para el contenido de humedad de las muestras colectadas y pesadas.

$$CH = (Phs - Pss)/Phs$$

Donde:

CH: Contenido de humedad

Pht: Peso húmedo de la sub muestra (kg)

PSS: Peso seco de la sub muestra (kg)

Con el valor de la humedad, se procede a calcular la proporción del peso húmedo que corresponde a la biomasa:

$$Y = Pht - (Pht * CH)$$

Donde:

Y = Biomasa de la necromasa (kg)

Pht = Peso húmedo total del área de muestreo (kg)

CH = Contenido de Humedad

Los valores obtenidos se multiplican por 0.001 para obtener toneladas. Este valor se multiplica por 0.50 lo que da toneladas de carbono fijado.

Las toneladas de carbono se dividen dentro del total de metros muestreados. Esta operación nos brinda tC/m² y al multiplicarlo por 10 000 m² se obtiene tC/ha.

- **Carbono en el suelo (tC/ha)**

Para calcular el carbono en el suelo se utilizó las siguientes fórmulas:

- Cálculo de la densidad aparente (g/cc)

$$DA \left(\frac{G}{CC} \right) = \frac{PSN}{VCH}$$

Donde:

DA = Densidad Aparente (g/cc)

PSN = Peso seco del suelo dentro del cilindro

VCH = Volumen del cilindro (constante).

- Cálculo del peso del volumen del suelo por horizonte en muestreo

$$pVs \left(\frac{t}{ha} \right) = DA \times 10\ 000$$

Donde:

PVs (t/ha) = Peso del volumen del suelo

DA = Densidad Aparente

Ps = Espesor o profundidad del horizonte del suelo

10000 = Constante

- Cálculo del carbono en el suelo (tC/ha)

$$COS \left(\frac{t}{ha} \right) = (PVs \times \%C) / 100$$

Donde:

COS (tC/ha) = Carbono en el suelo, en t/ha

PVs = Peso del volumen de suelo

% C = Resultados porcentaje de C, analizados en laboratorio.

100 = Factor de conversión

Fuente: Arévalo, Alegre y Palm 2003.

- **Carbono total almacenado en cada sistema agroforestal evaluado**

Se obtuvo mediante la suma total de carbono estimado en cada variable evaluada.

- Cálculo del carbono total (tC/ha)

$$CBV \left(\frac{t}{ha} \right) = (BAVT + Y + COS) \times 0.45$$

Donde:

CBV = carbono en la biomasa vegetal total

BAVT = biomasa vegetal total

Y = carbono en necromasa

COS = contenido de carbono orgánico en el suelo

Fuente: MacDicken, 1997 citado por Espinoza *et al.*, 2012.

- **Estimación de CO₂ en el SAF₁ y SAF₂**

El contenido de CO₂ en los sistemas agroforestales de “pino chuncho” (*Schizolobium amazonicum*) + “café” (*Coffea arabica*) y “eucalipto torrellano” (*Eucalyptus torrelliana*) + “café” (*Coffea arabica*) se calculó mediante la aplicación de la siguiente fórmula desarrollada por Díaz y Molano (2001).

$$\text{CO}_2 = \text{C} \times \text{Kr}$$

Donde:

CO₂ = Dióxido de carbono

C = Contenido de carbono orgánico total

Kr = Constante (3.667)

2.5. Análisis estadístico de datos

Para el procesamiento y análisis de los datos se utilizó el software Excel 2013, para lo cual se aplicó las fórmulas descritas anteriormente según cada variable; cuyos resultados se muestran en tablas y gráficos, según las cantidades de carbono contenido en los diferentes componentes evaluados (biomasa aérea, necromasa y suelo), además se realizó el Análisis de Varianza para la evaluación de las variables de investigación en los dos sistemas evaluados.

CAPÍTULO III: RESULTADOS

Este capítulo contiene los resultados obtenidos durante el proceso de investigación para la estimación del carbono capturado en los diferentes componentes evaluados (biomasa aérea, necromasa y suelo) en los sistemas agroforestales de “eucalipto torrellano” (*Eucalyptus torrelliana*) + “café” (*Coffea arabica*) (SAF₁) y en el sistema agroforestal de “pino chuncho” (*Schizolobium amazonicum*) + “café” (*Coffea arabica*) (SAF₂).

3.1. Carbono capturado en los diferentes componentes evaluados en el sistema agroforestal “eucalipto torrellano” (*Eucalyptus torrelliana*) + “café” (*Coffea arabica*) (SAF₁)

3.1.1. Carbono en biomasa aérea

De los datos obtenidos para el carbono capturado en biomasa aérea la mayor cantidad de carbono se obtuvo en la parcela de muestreo 3 con 72.17 tC/ha, mientras que la menor cantidad de carbono se registró en la parcela de muestreo 5 con 45.265 tC/ha (Tabla 1).

Tabla 1

Carbono almacenado en biomasa aérea en tC/ha en el SAF₁

Parcela de muestreo	Contenido de carbono en biomasa aérea
1	70.893
2	65.430
3	72.168
4	54.452
5	45.265

Fuente: Elaboración propia.

La Tabla 2 muestra las medidas de dispersión tales como media, varianza y desviación estándar para carbono almacenado en biomasa aérea en el SAF₁.

Tabla 2

Medidas de dispersión para carbono almacenado en biomasa aérea en el SAF₁

Medidas de Dispersión	Media	Varianza	Desviación Estándar
Contenido de carbono en biomasa aérea	61.642	132.657	11.518

Fuente: Elaboración propia.

3.1.2. Carbono almacenado en necromasa

De los datos obtenidos para el carbono capturado en necromasa, la mayor cantidad de carbono se obtuvo en la parcela de muestreo 2 con 0.65 tC/ha, mientras que la menor cantidad de carbono se registró en la parcela de muestreo 5 con un valor de 0.295 tC/ha (Tabla 3).

Tabla 3

Carbono almacenado en necromasa en tC/ha en el SAF₁

Parcela de muestreo	Contenido de Carbono en necromasa
1	0.525
2	0.649
3	0.514
4	0.380
5	0.295

Fuente: Elaboración propia.

La Tabla 4 muestra las medidas de dispersión tales como media, varianza y desviación estándar para carbono almacenado en necromasa en el SAF₁.

Tabla 4

Medidas de dispersión para carbono almacenado en necromasa en el SAF₁

Medidas de Dispersión		Media	Varianza	Desviación Estándar
Contenido de carbono en necromasa		0.473	0.019	0.138

Fuente: Elaboración propia.

3.1.3. Carbono en suelo

De los datos obtenidos para el carbono capturado en suelo en la parcela de muestreo 4 se obtuvo la mayor cantidad de carbono con 791.39 tC/ha, en tanto la menor cantidad se registró en la parcela 1 con un valor de 567.387 tC/ha (Tabla 5).

Tabla 5

Carbono almacenado en suelo en tC/ha en el SAF₁

Parcela de muestreo	Contenido de carbono en suelo
1	567.387
2	758.783
3	743.657
4	791.386
5	779.288

Fuente: Elaboración propia.

La Tabla 6 muestra las medidas de dispersión tales como media, varianza y desviación estándar para carbono almacenado en suelo en el SAF₁.

Tabla 6

Medidas de dispersión para carbono almacenado en suelo en el SAF₁

Medidas de Dispersión	Media	Varianza	Desviación Estándar
Contenido de carbono en suelo	728.100	8409.366	91.703

Fuente: Elaboración propia.

3.1.4. Análisis de varianza del carbono capturado en los diferentes componentes evaluados

En toneladas de carbono capturado en el suelo presentó la mayor cantidad con un promedio de 728.100 tC/ha, mientras que la biomasa arbórea presentó un promedio de 61.642 tC/ha y la necromasa presentó un promedio de 0.473 tC/ha (Tabla 7).

Tabla 7

Carbono almacenado en los diferentes componentes evaluados en tC/ha en el SAF₁

Grupos	Nro. de parcelas	Suma	Promedio	Coefficiente de Variación
Biomasa aérea	5	308.209	61.642	18.68 %
Necromasa	5	2.363	0.473	29.12 %
Suelo	5	3640.501	728.100	12.59 %

Fuente: Elaboración propia.

La Tabla 8 muestra los resultados del ANOVA, muestran que el valor estadístico de la prueba (F= 286. 041) es mayor que el valor crítico de (F=3.885), por lo que existen diferencias significativas en cuanto al carbono capturado en los diferentes componentes evaluados en el sistema agroforestal de “eucalipto torrellano” + “café”.

Tabla 8

Análisis de varianza del carbono capturado en los diferentes componentes evaluados en el SAF₁

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	1628917.0	2	814458.503	286.041	7.52E+11	3.885
Dentro de los grupos	34168.2	12	2847.352			
Total	1663085.2	14				

Fuente: Elaboración propia.

3.2. Carbono capturado en los diferentes componentes evaluados en el sistema agroforestal “pino chuncho” (*Schizolobium amazonicum*) + “café” (*Coffea arabica*) (SAF₂)

3.2.1. Carbono en biomasa aérea

De los resultados obtenidos para carbono capturado en biomasa aérea la mayor cantidad de carbono se obtuvo en la parcela de muestreo 3 con 95.881 tC/ha, mientras que la menor cantidad de carbono se registró en la parcela de muestreo 1 con 21.367 tC/ha (Tabla 9).

Tabla 9

Carbono almacenado en biomasa aérea en tC/ha en el SAF₂

Parcela de muestreo	Contenido de carbono en biomasa aérea
1	21.367
2	78.859
3	95.881
4	76.337
5	74.060

Fuente: Elaboración propia.

La Tabla 10 muestra las medidas de dispersión tales como media, varianza y desviación estándar para carbono almacenado en biomasa aérea en el SAF₂.

Tabla 10

Medidas de dispersión para carbono almacenado en biomasa aérea en el SAF₂

Medidas de Dispersión	Media	Varianza	Desviación Estándar
Contenido de carbono en biomasa aérea	69.301	791.918	28.141

Fuente: Elaboración propia.

3.2.2. Carbono almacenado en la necromasa

De los datos obtenidos para el carbono capturado la mayor cantidad de carbono se obtuvo en la parcela de muestreo 5 con 1.589 tC/ha, mientras que la menor cantidad se registró en la parcela de muestreo 4 con 0.524 tC/ha (Tabla 11).

Tabla 11

Carbono almacenado en necromasa en tC/ha en el SAF₂

Parcela de muestreo	Contenido de carbono en necromasa
1	0.915
2	1.185
3	0.804
4	0.524
5	1.589

Fuente: Elaboración propia.

La Tabla 12 muestra las medidas de dispersión tales como media, varianza y desviación estándar para carbono almacenado en necromasa en el SAF₂.

Tabla 12

Medidas de dispersión para carbono almacenado en necromasa en el SAF₂

Medidas de Dispersión		Media	Varianza	Desviación Estándar
Contenido de carbono en necromasa	de en	1.003	0.163	0.404

Fuente: Elaboración propia.

3.2.3. Carbono en suelo

De los datos obtenidos para el carbono capturado en suelo en la parcela de muestreo 2 se obtuvo la mayor cantidad de carbono con 1230.488 tC/ha, en tanto la menor cantidad se registró en la parcela 3 con un valor de 879.936 tC/ha (Tabla 13).

Tabla 13

Carbono almacenado en suelo en tC/ha en el SAF₂

Parcela de muestreo	Contenido de carbono en suelo
1	1114.353
2	1230.488
3	879.936
4	988.536
5	1090.159

Fuente: Elaboración propia.

La Tabla 14 muestra las medidas de dispersión tales como media, varianza y desviación estándar para carbono almacenado en suelo en el SAF₂.

Tabla 14

Medidas de dispersión para carbono almacenado en suelo en el SAF₂

Medidas de Dispersión		Media	Varianza	Desviación Estándar
Contenido de carbono en suelo	de	1060.694	17614.427	132.719

Fuente: Elaboración propia.

3.2.4. Análisis de varianza del carbono capturado en los diferentes componentes evaluados

El componente suelo presentó la mayor cantidad de carbono con un promedio de 1060.694 tC/ha, mientras que la biomasa arbórea presentó un promedio de 69.301 tC/ha y la necromasa presentó un promedio de 1.003 tC/ha (Tabla 15). Los resultados del ANOVA (Tabla 16), muestran que el valor estadístico de la prueba ($F=286.648$) es mayor que el valor crítico de ($F=3.3885$), por lo que existen diferencias significativas en cuanto al carbono capturado en los diferentes componentes evaluados en el sistema agroforestal de “pino chuncho” + “café”.

Tabla 15

Carbono almacenado en los diferentes componentes evaluados tC/ha en el SAF₂

Grupos	Nro. de parcelas	Suma	Promedio	Coefficiente de Variación
Biomasa aérea	5	346.505	69.301	40.61 %
Necromasa	5	5.016	1.003	40.27 %
Suelo	5	5303.472	1060.694	12.51 %

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 16

Análisis de varianza del carbono capturado en los diferentes componentes evaluados en el SAF₂

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	3517450.9	2	1758725.5	286.648	7.427E+11	3.885
Dentro de los grupos	73625.91	12	6135.493			
Total	3591076.8	14				

Fuente: Elaboración propia.

3.3. Análisis de la cantidad de carbono capturado en los diferentes componentes evaluados en los dos sistemas agroforestales en estudio

3.3.1. Carbono en biomasa aérea en el SAF₁ y el SAF₂

En toneladas de carbono capturado en biomasa aérea el SAF₂ presentó la mayor cantidad de carbono con un promedio de 69.301 ± 28.141 , mientras que el SAF₁ presentó un promedio de 61.642 ± 11.518 tC/ha (Tabla 17). Los resultados del ANOVA (Tabla 18), muestran que el valor crítico de la prueba ($F=5.318$) es mayor que el valor estadístico de la prueba ($F=0.317$) por lo tanto no existe diferencia significativa entre los “sistemas agroforestales 1 y 2” con respecto a la cantidad de carbono capturado en biomasa aérea, con un nivel estadístico de probabilidad de 0.589.

Tabla 17

Carbono en biomasa aérea en el SAF₁ y el SAF₂ (tC/ha)

Sistema agroforestal	Nro. de parcelas	Suma	Promedio	Coefficiente de Varianza
SAF ₁	5	308.209	61.642	18.68 %
SAF ₂	5	346.505	69.301	40.61 %

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 18

Análisis de Varianza de carbono en biomasa aérea (tC/ha)

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	146.658	1	146.658	0.317	0.589	5.318
Dentro de los grupos	3698.292	8	462.286			
Total	3844.950	9				

Fuente: Elaboración propia.

3.3.2. Carbono almacenado en necromasa en el SAF₁ y el SAF₂

En toneladas de carbono capturado en necromasa el SAF₂ presentó la mayor cantidad con un promedio de 1.003 ± 0.404 tC/ha, mientras que el SAF₁ presentó un promedio de 0.473 ± 0.137 tC/ha (Tabla 19). Los resultados del ANOVA (Tabla 20), muestran que el valor estadístico de la prueba ($F= 7.722$) es mayor que el valor crítico de ($F=5.318$), por lo que se puede decir que existe diferencia significativa entre los “sistemas agroforestales 1 y 2” con respecto a la cantidad de carbono capturado en necromasa, con un nivel estadístico de probabilidad de 0.024.

Tabla 19

Carbono en necromasa en el SAF₁ y el SAF₂ (tC/ha)

Sistema agroforestal	Nro. De parcelas	Suma	Promedio	Coefficiente de Varianza
SAF ₁	5	2.363	0.473	29.12 %
SAF ₂	5	5.016	1.003	40.27 %

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 20

Análisis de varianza de carbono en necromasa (tC/ha)

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	0.704	1	0.704	7.722	0.024	5.318
Dentro de los grupos	0.729	8	0.091			
Total	1.433	9				

Fuente: Elaboración propia.

3.3.3. Carbono en suelo en el SAF₁ y el SAF₂

En toneladas de carbono capturado en suelo el SAF₂ presentó la mayor cantidad con un promedio de 1060.694 ± 132.719 tC/ha, mientras que el SAF₁ presentó un promedio de 728.100 ± 91.703 tC/ha (Tabla 21). Los resultados del ANOVA (Tabla 22), muestran que el valor estadístico de la prueba ($F= 21.253$) es mayor que el valor crítico de ($F=5.318$) por lo que se puede decir que existe diferencia significativa entre los “sistemas agroforestales 1 y 2” con respecto a la cantidad de carbono capturado en suelo.

Tabla 21

Carbono en suelo en el SAF₁ y el SAF₂ (tC/ha)

Sistema agroforestal	Nro. de parcelas	Suma	Promedio	Coefficiente de Varianza
SAF ₁	5	3640.501	728.100	12.59 %
SAF ₂	5	5303.472	1060.694	12.51 %

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 22

Análisis de varianza de carbono en suelo (tC/ha)

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	276547.264	1	276547.264	21.253	0.002	5.318
Dentro de los grupos	104095.112	8	13011.889			
Total	380642.376	9				

Fuente: Elaboración propia.

3.4. Carbono capturado total por cada sistema evaluado

El total de carbono almacenado por el sistema agroforestal “eucalipto torrellano” + “café” en toneladas por hectárea, se calculó mediante la suma del promedio de cada componente evaluado en cada sistema.

- SAF₁: biomasa aérea 61.642 tC/ha, necromasa 0.473 tC/ha y suelo 728.100 tC/ha, los cuáles suma un total de 790.215tC/ha (Tabla 23).
- SAF₂: biomasa aérea 69.301 tC/ha, necromasa 1.003 tC/ha y suelo 1060.694 tC/ha, sumado un total de 1130.999 tC/ha (Tabla 23).

Tabla 23

Carbono promedio almacenado según los componentes evaluados en el SAF₁ y SAF₂

Sistema agroforestal	Carbono en biomasa aérea tC/ha	Carbono en necromasa tC/ha	Carbono en suelo tC/ha	Carbono total tC/ha
SAF ₁	61.642	0.473	728.100	790.215
SAF ₂	69.301	1.003	1060.694	1130.999

Fuente: Elaboración propia.

La Figura 22 muestra los porcentajes de carbono capturado total que representan cada componente evaluado en el SAF₁ por componente evaluado (biomasa aérea, necromasa y suelo), el suelo presenta el mayor porcentaje (93.78 %), seguido de la biomasa aérea (6.13 %), mientras que el menor porcentaje se encuentra en la necromasa (0.09 %).

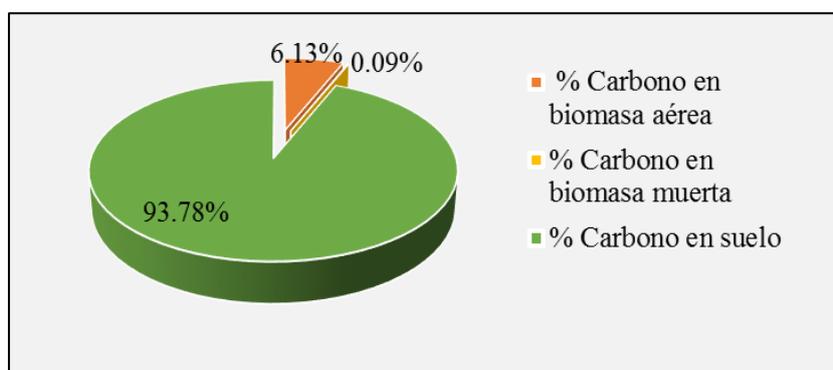


Figura 22. Porcentaje de carbono almacenado por componente en el SAF₁. Fuente: Elaboración propia.

La Figura 23 muestra los porcentajes de carbono capturado para cada componente evaluado en el SAF₂ (biomasa aérea, necromasa y suelo), el suelo presenta el mayor porcentaje (92.14%), seguido de la biomasa aérea (7.80%), mientras que el menor porcentaje se encuentra en la necromasa (0.06%).

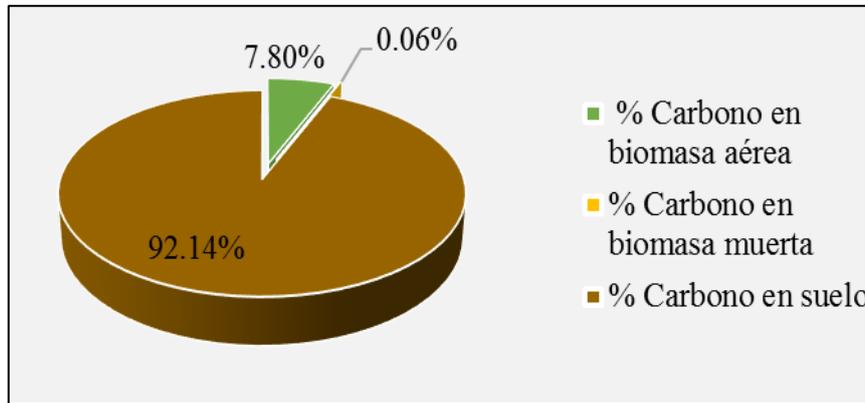


Figura 23. Porcentaje de carbono almacenado por componente en el SAF₂. Fuente: Elaboración propia.

La Figura 24 muestra la cantidad de carbono capturado en tC/ha para cada componente evaluado en los sistemas agroforestales evaluados. En la cual se evidencia que la mayor cantidad de carbono capturado se encuentra en el suelo en ambos sistemas.

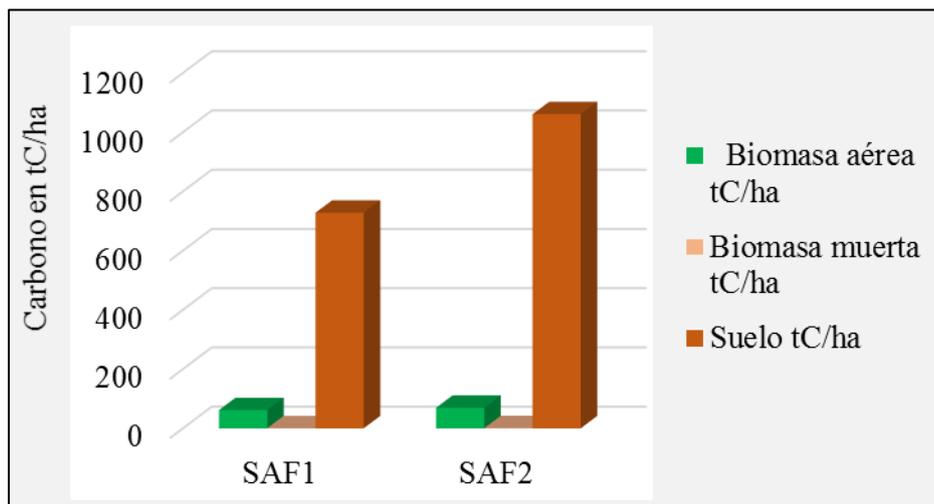


Figura 24. Carbono almacenado en los componentes evaluados por cada sistema agroforestal. Fuente: Elaboración propia.

La Figura 25 muestra la cantidad de carbono total capturado por cada sistema, para el sistema agroforestal “eucalipto torrellano” + “café” (SAF1) se obtuvo un valor de 790.21 tC/ha,

mientras que para el sistema agroforestal “pino chuncho” + “café” se obtuvo un valor de 1130.99 tC/ha.

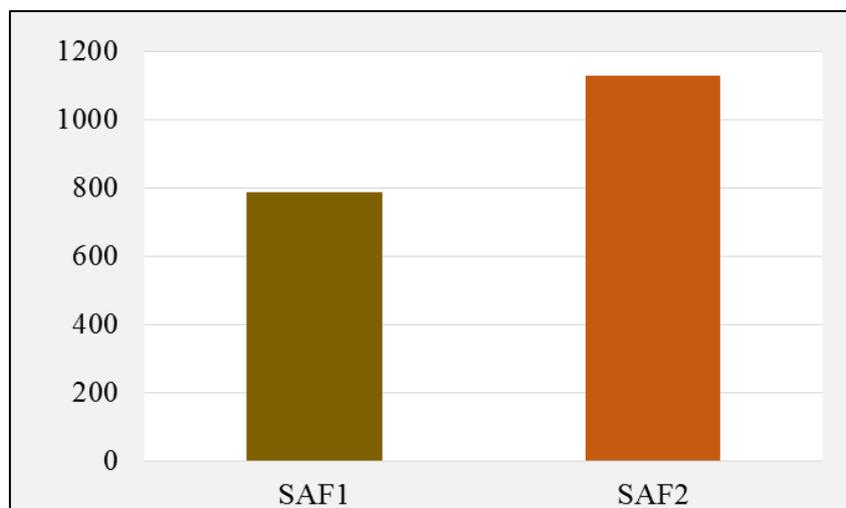


Figura 25. Carbono total en cada sistema agroforestal. Fuente: Elaboración propia.

La Tabla 24 muestra los puntos de muestreo establecidos en el sistema agroforestal “eucalipto torrellano” y en el sistema agroforestal “pino chuncho” + “café”, se establecieron cinco puntos de muestreo para cada componente en estudio.

Tabla 24

Sistemas agroforestales en estudio y puntos de muestreo

SISTEMA AGROFORESTAL	PUNTO DE MUESTREO
1) Eucalipto + café	SA ₁ P ₁
	SA ₁ P ₂
	SA ₁ P ₃
	SA ₁ P ₄
	SA ₁ P ₅
1) Pino chuncho + café	SA ₂ P ₁
	SA ₂ P ₂
	SA ₂ P ₃
	SA ₂ P ₄
	SA ₂ P ₅

Fuente: Elaboración propia.

3.5. Estimación de CO₂ en el SAF₁ y SAF₂

El sistema agroforestal de “pino chuncho” (*Schizolobium amazonicum*) + “café” (*Coffea arabica*) presentó la mayor cantidad de CO₂ con 4147.3403 tCO₂/ha, en tanto que el sistema agroforestal de “eucalipto torrellano” (*Eucalyptus torrelliana*) + “café” (*Coffea arabica*) presentó 2897.7001 tCO₂/ha.

CAPÍTULO IV: DISCUSIONES

La Comisión Centroamericana de Ambiente y Desarrollo en un estudio desarrollado en el Corredor Biológico mesoamericano, concluyó que los bosques en sus diferentes estados de madurez (bosque primario y bosque secundario) cumplen un papel muy importante en la captura de carbono, esto se fundamenta en que los bosques según su estado de madures tienen dos funciones principales en cuanto a la captura de carbono ya que de acuerdo a FAO y Comisión Forestal (2008), en los bosques jóvenes el carbono es secuestrado rápidamente mientras que en los bosques maduros el secuestro termina siendo equivalente a la descomposición forestal y el balance de carbono termina en un estado de equilibrio en ese momento el bosque deja de absorber carbono y se convierte en un depósito de carbono. En el presente estudio se evaluó “vegetación joven” de aproximadamente 4 años, lo cual implica que el carbono es sustraído de la atmósfera más rápidamente, ya que las plantas están en pleno proceso de desarrollo y requieren mayor producción y consumo de “energía”.

El carbono capturado en biomasa aérea en el sistema agroforestal de “pino chuncho” (*Schizolobium amazonicum*) + “café” (*Coffea arabica*) fue 69.301 ± 28.141 tC/ha, mientras que en el sistema agroforestal de “eucalipto torrellano” (*Eucalyptus torrelliana*) + “café” (*Coffea arabica*) se obtuvo 61.642 ± 11.518 tC/ha (Tabla 23). Esta ligera variación se debe a que en el SAF1 el diámetro altura de pecho fue mayor que en el SAF2, sin embargo, de acuerdo al análisis de varianza no existe diferencia significativa entre los dos sistemas respecto al carbono capturado en biomasa aérea. En comparación con otras especies estudiadas como el *Eucalyptus globulus* Labill, Gamarra (2001), determinó que el carbono en biomasa aérea para esta especie es 73.03 tC/ha, siendo este valor mayor al del *Eucalyptus torrelliana*., esto puede ser debido a que el estudio para la especie *Eucalyptus globulus* se realizó en un bosque plantado compuesto solamente de esta especie, lo cual implica una mayor densidad de la misma y por tanto mayor potencial de captura de carbono.

En cuanto al carbono capturado en necromasa existe diferencias significativas entre el sistema agroforestal de “pino chuncho” (*Schizolobium amazonicum*) + “café” (*Coffea arabica*) y el sistema agroforestal de “eucalipto torrellano” (*Eucalyptus torrelliana*) + “café” (*Coffea arabica*) con valores de 1.003 ± 0.404 tC/ha y 0.473 ± 0.137 tC/ha respectivamente. En comparación con los resultados obtenidos por Gamarra (2001) en un estudio en el bosque de *Eucalyptus globulus* de la comunidad campesina Hualhuas, Junín, determinó que el carbono 4.99 tC/ha para hojarasca, siendo este valor mayor al obtenido para ambos sistemas ya que según Pardos (2010) la materia orgánica se descompone lentamente en latitudes elevadas que presentan clima frío, caso contrario ocurre en zonas con altas temperaturas, por tanto hubo mayor disponibilidad de hojarasca en el bosque de *Eucalyptus globulus*.

Respecto al carbono capturado en suelo, de acuerdo al análisis de varianza existe diferencias significativas entre los sistemas agroforestales “pino chuncho” (*Schizolobium amazonicum*) + “café” (*Coffea arabica*) y “eucalipto torrellano” (*Eucalyptus torrelliana*) + “café” (*Coffea arabica*) con 1060.694 ± 132.719 tC/ha y 728.100 ± 91.703 tC/ha respectivamente. El sistema de “pino chuncho” (*Schizolobium amazonicum*) + “café” (*Coffea arabica*) obtuvo mayor cantidad de carbono en suelo debido al alto grado de descomposición de la materia orgánica influenciado por las altas temperaturas en la zona, ya que según Pardos (2010) la materia orgánica se descompone lentamente en latitudes elevadas que presentan clima frío, caso contrario ocurre en zonas con altas temperaturas.

En ambos sistemas evaluados el suelo presentó la mayor cantidad de carbono capturado, alcanzó más del 90 % del total por cada sistema, esto es posible, porque los suelos contienen más carbono que la suma del carbono existente en la atmósfera y la vegetación (Martínez, Fuentes y Acebedo, 2008), además Pardos (2010) indica que el contenido de carbono en el suelo es mayor que en la vegetación para todos los biomas, a excepción de los bosques tropicales. En comparación con el estudio realizado por Timoteo *et al.* (2016) en el cual concluyen que más del 60 % del carbono total de los tres sistemas agroforestales evaluados está representado por el carbono orgánico del suelo.

El carbono total en el sistema agroforestal “eucalipto torrellano” (*Eucalyptus torrelliana*) + “café” (*Coffea arabica*) fue 790.21 tC/ha, en tanto que para el sistema agroforestal “pino chuncho” (*Schizolobium amazonicum*) + “café” (*Coffea arabica*) fue 1130.99 tC/ha, existiendo una clara diferencia de 340.78 tC/ha entre ambos sistemas; Quiñe (2009) estimó un total de carbono de 119.37 tC/ha para un sistema agroforestal de “café” en el fundo “Juan Bernito”, siendo este valor menor que lo obtenido en el presente estudio se considera que esta diferencia se debe a la metodología de estimación del carbono en el suelo dado que Quiñe (2009) empleó el método de Walkley y Black el cual ayuda a determinar el carbono orgánico soluble del suelo, mientras que en este estudio se empleó el método de calcinación mediante el cual se estimó el carbono orgánico total del suelo.

De acuerdo al análisis de los datos obtenidos en campo se acepta la hipótesis alterna en la que se afirma que los sistemas agroforestales de “pino chuncho” (*Schizolobium amazonicum*) + “café” (*Coffea arabica*) y “eucalipto” (*Eucalyptus torrelliana*) + “café” (*Coffea arabica*) capturan diferentes cantidades de carbono, debido a la influencia de factores como el DAP, el peso de necromasa y contenido de materia orgánica del suelo.

CAPÍTULO V: CONCLUSIONES

1. Se concluye que la diferencia en la cantidad de carbono capturado en el sistema agroforestal “pino chuncho” (*Schizolobium amazonicum*) + “café” (*Coffea arabica*) y en el sistema agroforestal “eucalipto torrellano” (*Eucalyptus torrelliana*) + “café” (*Coffea arabica*) es de 340.78 tC/ha.
2. El carbono total de la biomasa aérea en el sistema agroforestal “pino chuncho” (*Schizolobium amazonicum*) + “café” (*Coffea arabica*) es 69.301 tC/ha, mientras que en el sistema agroforestal “eucalipto torrellano” (*Eucalyptus torrelliana*) + “café” (*Coffea arabica*) fue 61.642 tC/ha, debido a que se registró mayor diámetro altura de pecho en la especie forestal “pino chuncho”.
3. El carbono total almacenado en necromasa en el sistema agroforestal “pino chuncho” (*Schizolobium amazonicum*) + “café” (*Coffea arabica*) es 1.003 tC/ha y en el sistema agroforestal “eucalipto torrellano” (*Eucalyptus torrelliana*) + “café” (*Coffea arabica*) fue 0.473 tC/ha, debido a que se registró mayor peso de necromasa en el sistema agroforestal de “pino chuncho” + “café”.
4. El carbono total almacenado en el componente suelo en el sistema agroforestal “eucalipto torrellano” (*Eucalyptus torrelliana*) + “café” (*Coffea arabica*) es 728.100 tC/ha y en el sistema agroforestal “pino chuncho” (*Schizolobium amazonicum*) + “café” (*Coffea arabica*) es 1060.694 tC/ha; esta diferencia se debe a que el suelo en el sistema de “pino chuncho” + “café” presentó mayor porcentaje de materia orgánica.

CAPÍTULO VI: RECOMENDACIONES

1. Al evidenciar que el sistema agroforestal de café asociado con la especie *Schizolobium amazonicum* captura mayor cantidad de carbono, se recomienda la asociación de diversos cultivos con esta especie.
2. Dado que la temperatura y topografía del terreno son factores importantes se recomienda tomar datos respecto a estos factores para así determinar la relación que existe entre la temperatura y el porcentaje de humedad de las muestras de necromasa y entre la topografía del terreno y la cantidad de carbono almacenado en el suelo en los diferentes puntos de muestreo.
3. A los municipios de Awajun y Pardo Miguel, a través de las áreas de desarrollo agropecuario y gestión ambiental difundir la importancia de los sistemas agroforestales no solo como sistemas productivos, sino también como potenciales medios para la captura de carbono y mitigación del cambio climático. Mediante capacitaciones sobre el manejo adecuado de dichos sistemas y las especies forestales que mejor se adaptan a estos, su correcta asociación con otras especies y diseño adecuado en función a sus objetivos de siembra (madera, protección, sombra, barrera viva, etc.).
4. A la Municipalidad provincial de Rioja, realizar campañas de sensibilización sobre la importancia de los bosques, los humedales y sistemas agroforestales en cuanto a los múltiples servicios ambientales que proporcionan, especialmente el servicio ambiental de captura de carbono, cuya validez ha sido demostrada en este estudio y podría ser de gran ayuda en las decisiones a futuro.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguirre, M. D. A. y Gutierrez, R. A. D., (2009). *Potencial de captura de carbono de la Guadua spp, por estadios en el bosque local "El Maronal de Atumplaya"*. (Tesis de grado). Universidad Nacional de San Martín, Moyobamba, Perú. Recuperado de <http://repositorio.unsm.edu.pe/handle/11458/198>
- Arévalo, A. L., Alegre, J. C. y Palm C. A. (2003). Manual de las Reservas Totales de Carbono en los Diferentes Sistemas de Uso de la Tierra en Perú. Publicación de STC - CGIAR Ministerio de agricultura. Pucallpa, Perú. 24p.
- Banco Mundial. (2017). Emisiones de CO₂. Centro de Análisis de Información sobre Dióxido de Carbono, División de Ciencias Ambientales del Laboratorio Nacional de Oak Ridge (Tennessee, Estados Unidos). Recuperado de https://datos.bancomundial.org/indicador/EN.ATM.CO2E.PC?cid=GPDdes_27&end=2013&locations=PE&start=1960&view=chart
- Burbano, O. H. (2018). El carbono orgánico del suelo y su papel frente al cambio climático. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 35 (1), 82-96.
- Behar, R. D. S. (2008). *Metodología de la Investigación*. Recuperado de <http://rdigital.univ.edu.cv/bitstream/123456789/106/3/Libro%20metodologia%20investigacion%20este.pdf>
- Bueno, B. S. (2016). *Movimiento del Carbono y Nitrógeno y Captura del CO₂ en Cinco Suelos con Vegetación Forestal, Agroforestería y Área Degradada en la Provincia de Rioja-San Martín*. (Tesis de grado). Universidad Católica Sedes Sapientiae, Huacho, Perú. Recuperado de: <http://repositorio.ucss.edu.pe/handle/UCSS/161>
- Cabrera, T. M. L., Vaca, M. S., Aguirre., R. F. F. y Aguirre, R. H. E. (2016). Almacenamiento de carbono en sistemas agroforestales cafetaleros en las provincias de Jaén y San Ignacio, Cajamarca. *Revista Pakamuros*, 4 (1), 43-54.
- Centro Salvadoreño de Tecnología Apropiaada. (2011). Agroforestería y Cambio Climático. Recuperado de <http://www.cesta-foe.org.sv/areas-de-trabajo/Pubs/cuadernillo%20CESTA%20agroforestales.pdf>
- Centro para la Investigación Forestal Internacional. (2013). Contexto de REDD- en Perú. Recuperado de <https://www.cifor.org/library/4226/>

- Centro Internacional de Investigación Agroforestal. (2009). Guía para la determinación de carbono en pequeñas propiedades rurales. Recuperado de http://www.katoombagroup.org/documents/tools/ICRAF_GuiaDeterminacionCarbono_esp.pdf
- Comisión Centroamericana de Ambiente y Desarrollo. (1998). *Estimación de la Cantidad de Carbono Almacenado y Captado (masa aérea) en el Corredor Biológico Mesoamericano, Costa Rica*.
- Concha, J. Y., Alegre, J. C. y Pocomucha, V. (2007). Determinación de las reservas de carbono en la biomasa aérea de sistemas agroforestales de *Theobroma cacao* L. en el departamento de San Martín, Perú. *Ecología Aplicada*, 6 (1,2), 75-82. Recuperado de <http://www.scielo.org.pe/pdf/ecol/v6n1-2/a09v6n1-2.pdf>
- Díaz, S. X. y Molano, M. A. (2001). Cuantificación y Valoración Económica de la Captura de CO₂ por Plantaciones del genero *Eucalyptus* Establecidas por el Preca en las Cuencas Carboníferas de César, Valle del Cauca-Cauca y altiplano. *Cundiboyacense. Colombia Forestal*, 7, 87-101.
- Díaz, C. P., Fachin R. G., Tello S. C. y Arévalo L. 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.
- Eyherabide, M., Saíenz, R. H, Barbieri, P. y Echeverría H. E. (2014). Comparación de Métodos para Determinar Carbono Orgánico en Suelo. *Revista Ciencias del Suelo*, 32 (1), pp. 13-19. Recuperado de <https://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/25777>
- Espinoza, D. W., Krishnamurthy, L., Vázquez, A. A. y Torres, R. A. (2012). Almacén de carbono en sistemas agroforestales con café. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 18 (1), 57-70.
- Fernández, L. M. Y. (2017). *Revisión de métodos para la estimación de captura de carbono almacenado en bosques naturales*. (Tesis de maestría). Universidad Militar, Nueva Granada. Recuperado de <https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/16394/Fen%E1ndezLosa daMagdaYolima2017.pdf;jsessionid=CB0309C9E23A895DD93FE90434202262?sequence=3>
- Farfán, V. F. (2014). Agroforestería y Sistemas Agroforestales con café. Recuperado de https://www.cenicafe.org/es/publications/Agroforester%C3%ADa_y_sistemas_agroforestales_con_caf%C3%A9.pdf

- Fondo para el Medio Ambiente Mundial. (2012). *Actividades Sobre Uso de la Tierra, Cambio del Uso de la Tierra y Silvicultura (UTCUTS)*. Recuperado de https://www.thegef.org/sites/default/files/publications/LULUCF_-_Spanish_0.pdf
- Gamarra, R. J. (2001). *Estimación del contenido de carbono en plantaciones de Eucalyptus globulus Labill, en junin, Perú*. Simposio Internacional Medición y Monitoreo de la captura de carbono en ecosistemas forestales. Chile. Recuperado de https://www.uach.cl/procarbono/pdf/simposio_carbono/35_Gamarra.PDF
- Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. (2005). *La captación y el almacenamiento de dióxido de carbono*. Recuperado de https://www.ipcc.ch/pdf/special-reports/srccs/srccs_spm_ts_sp.pdf
- Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. (2015). *Cambio Climático 2014*. Suiza. Recuperado de https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg2/ar5_wgII_spm_es.pdf
- Gutiérrez, R. C. L. (2017). *Estimación de la Captura de CO₂ en el Juncal del Área de Conservación Regional la Albufera de Medio Mundo (ACRAMM) – Huaura, Lima - Perú*. (Tesis de grado). Universidad Católica Sedes Sapientiae, Huacho, Perú. Recuperado de http://repositorio.ucss.edu.pe/bitstream/handle/UCSS/303/Gutierrez_Claudia_tesis_bachiller_2017.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Jezeer, R. E. y Verweij, P. A. (2015). *Café en Sistema Agroforestal – doble dividendo para la biodiversidad y los pequeños agricultores en Perú*. Hivos, The Hague, Holanda. Recuperado de https://hivos.org/sites/default/files/cafe_en_sistemas_agroforestales_ciuv-version_espanola_de_shade_grown_coffee_report.pdf
- Lapeyre, T., Alegre, J. y Arévalo, L. (2004). Determinación de las reservas de carbono de la biomasa aérea, en diferentes sistemas de uso de la tierra en San Martín, Perú. *Ecología Aplicada*, 3 (1,2), 35 - 44. Recuperado de http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1726-22162004000100006
- Ley Marco Sobre el Cambio Climático N° 30754. Diario Oficial El Peruano, Lima, Perú, 18 de abril del 2018. pp. 3-9.
- Ley Forestal y de Fauna Silvestre N° 29763. Diario Oficial El Peruano, Lima, Perú, 24 de septiembre del 2015. pp. 4-7.

- López, L. K. D. (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*. (Tesis de grado). Universidad Nacional de San Martín, Tarapoto, Perú. Recuperado de <http://repositorio.unsm.edu.pe/handle/UNSM/163>
- Llanco, A. J. E., (2014). *Tipología de manejo agronómico en el crecimiento, productividad y calidad física del café (Coffea arabica L. var. Catimor) en el valle de Santa Cruz, distrito de Río Tambo, provincia de Satipo y Región Junín*. (Tesis de grado). Universidad Nacional del Centro del Perú, Satipo, Perú. Recuperado de <https://es.scribd.com/document/382821093/Llanco-Andrade>
- Marcano, J. E. (2007). Las amenazas al bosque. Recuperado de <http://www.jmarcano.com/bosques/threat/deforesta.html>
- Martínez, H. E., Fuentes, E. J. y Acebedo, H. E. (2008). *Carbono Orgánico y Propiedades del Suelo*. Recuperado de <https://scielo.conicyt.cl/pdf/rcsuelo/v8n1/art06.pdf>
- Mendieta, M., y Rocha, L. (2007). *Sistemas Agroforestales*. Universidad Nacional Agraria. Managua, Nicaragua. 115 pp.
- Ministerio del Ambiente. (2012). *Glosario de Términos para la Formulación de Proyectos Ambientales*. Recuperado de: <http://cdam.minam.gob.pe/novedades/glosarioterminosambientales.pdf>
- Ministerio del Ambiente. (2014). *Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero*. Recuperado de <http://infocarbono.minam.gob.pe/inventarios-nacionales-gei/intro/>
- Ministerio del Ambiente. (2015). *Estrategia nacional ante el cambio climático 2015*. Recuperado de <http://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2015/09/ENCC-FINAL-250915-web.pdf>
- Ministerio del Ambiente. (2016). *La Conservación de Bosques en el Perú*. Recuperado de <http://www.minam.gob.pe/informessectoriales/wp-content/uploads/sites/112/2016/02/11-La-conservaci%C3%B3n-de-bosques-en-el-Per%C3%BA.pdf>
- Movimiento Agroecológico para Latinoamérica y el Caribe. (2001). *Agroforestería en Latinoamérica*. Recuperado de <http://infobosques.com/portal/biblioteca/agroforesteria-en-latinoamerica-experiencias-locales/>

- Nair, P. K. R. (1993). *An Introduction to Agroforestry*. U.S.A. and Canada. Publicado por Kluwer Academic Publishers. Recuperado de https://www.worldagroforestry.org/Units/Library/Books/PDFs/32_An_introduction_to_agroforestry.pdf?n=161
- Ñique, A. M. (2008). *Glosario Ambiental Multidisciplinario*. Universidad Nacional Agraria de la Selva. Tingo María, Perú. Recuperado de <http://www.monografias.com/trabajos-pdf/glosario-ambiental-multidisciplinario/glosario-ambiental-multidisciplinario.pdf>
- Ordóñez, A. (1999). *Estimación de la Captura de Carbono en un Estudio de Caso*. Instituto Nacional de Ecología, SEMARNAP, México DF. Recuperado de: https://www.researchgate.net/publication/292788246_Captura_de_Carbono_en_un_Bosque_Templado_El_Caso_de_San_Juan_Nuevo_Michoacan
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. (1981). *El Eucalipto en la repoblación forestal*. Roma.
- Organización de las Naciones Unidas. (1992). *Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático*. Recuperado de <https://unfccc.int/resource/docs/convkp/convsp.pdf>
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, Comisión Forestal. (2008). *Los bosques y el Cambio Climático: Una verdad Oportuna*.
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. (2010). *La Gestión de los Bosques ante el Cambio Climático*. Roma. Recuperado de <http://www.fao.org/docrep/014/i1960s/i1960s00.pdf>
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. (2010). *Evaluación de los Recursos Forestales Mundiales 2010*. Roma. Recuperado de <http://www.fao.org/3/a-am665s.pdf>
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. (2017a). *La Estrategia de la FAO Sobre El Cambio Climático*. Roma. Recuperado de <http://www.fao.org/3/a-i7175s.pdf>
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. (2017b). *Mapa de Carbono Orgánico del Suelo*. Recuperado de [http://uni-sz.bg/truni11/wp-content/uploads/biblioteka/file/TUNI10042482\(1\).pdf](http://uni-sz.bg/truni11/wp-content/uploads/biblioteka/file/TUNI10042482(1).pdf)

- Pardos, J. (2010). *Los ecosistemas forestales y el secuestro de carbono ante el calentamiento global*. Recuperado de http://www.inia.es/GCONTREC/PUB/60587OT_LIBRO_WEB_1277883079734.pdf
- Palomeque, F. E. (2009). *Sistemas Agroforestales*. Universidad Autónoma de Chiapas. Chiapas, México. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/328368150_Sistemas_Agroforestales
- Quiñe, M. P. (2009). *Cuantificación de biomasa y reserva de carbono en sistemas agroforestales de "café" (Coffea arabica L.) en dos pisos altitudinales*. (Tesis de grado). Universidad Nacional de San Martín, Tarapoto, Perú. Recuperado de <http://repositorio.unsm.edu.pe/handle/UNSM/1131>
- Rojas, M. V. (2013). Los Servicios Ambientales. *Revista de Derecho de la Universidad de Montevideo*, 23, 37-44. Recuperado de <http://revistaderecho.um.edu.uy/wp-content/uploads/2013/10/Rojas-Montes-Los-servicios-ambientales.pdf>
- Ruiz, P. M., García, F. C. y Sayer, J. A. (2007). *Los servicios ambientales de los bosques*. *Revista Científica y Técnica de Ecología y Medio Ambiente*, 16 (3), 81-90. Recuperado de <http://www.revistaecosistemas.net/articulo.asp?Id=509>
- Russo, R. O. (2002). *Los Bosques como Sumideros y Depósitos de carbono*. Recuperado de <http://usi.earth.ac.cr/glas/sp/50000071.pdf>
- Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre, (2015). *Reglamento para la Gestión de las Plantaciones Forestales y los Sistemas Agroforestales*. Recuperado de <https://www.serfor.gob.pe/wp-content/uploads/2015/11/reglamento-para-la-gestion-de-las-plantaciones-forestales-y-los-sistemas-agroforestales.pdf>
- Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre, (2015). *Interpretación de la dinámica de la deforestación en el Perú y lecciones aprendidas para reducirla*. Recuperado de <https://www.serfor.gob.pe/wp-content/uploads/2016/03/Interpretacion-de-la-dinamica-de-la-deforestacion-en-el-Peru-y-lecciones-aprendidas-para-reducirla-1.pdf>
- Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre. (2017). *Nuestros Bosques en Números*. Recuperado de <https://www.serfor.gob.pe/wp-content/uploads/2017/06/Nuestros%20Bosques%20en%20Numeros.pdf>
- Sistema Nacional de Información Ambiental. (2019). *Indicadores Nacionales sobre Bosques*. Recuperado de <https://sinia.minam.gob.pe/indicador/1408>

Timoteo, K., Remuzgo, J., Sales, D. F., García, S. D. y Abanto, R. 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. Recuperado de <http://revistas.iiap.org.pe/index.php/foliaamazonica/article/view/382>

Villacorta, B. R. O. (2015). *Efecto del Silicato de Calcio Especial ($Ca(OH)_2 SiO_2$), en la germinación y crecimiento del "pino chuncho" (*Schizolobium Amazonicum*- Huber Ex Ducke) en suelos degradados de Tingo María*. (Tesis de grado). Universidad Nacional Agraria de la Selva.

TERMINOLOGÍA

- **Ambiente.** Definido como el conjunto de condiciones biológicas y físico-químicas que los organismos y el ser humano necesitan para poder vivir (Ñique, 2008).
- **Biomasa.** Se define como la materia orgánica total que es almacenada en energía química mediante la fotosíntesis de las plantas (Gutiérrez, 2017).
- **Cambio climático.** Es la variación del clima influenciada directa o indirectamente por las actividades antropogénicas que modifican los componentes atmosféricos, incluyendo los cambios naturales del clima registrados en periodos de tiempo similares (CMNUCC, 1992).
- **Captura de carbono.** Se refiere a la conversión del CO₂, mediante la fotosíntesis lo cual se traduce en el almacenamiento a largo plazo del carbono en el suelo y en la vegetación, viva o muerta (MINAM, 2012).
- **Carbono en el suelo.** Carbono almacenado en el suelo, como producto de descomposición de cualquier material orgánico (FAO, 2017b).
- **Deforestación.** Destrucción y eliminación de la cobertura vegetal existente en una determinada área geográfica; proceso que causa el deterioro del ambiente ya que reduce la biodiversidad y contribuye al cambio climático (Ñique, 2008).
- **Dióxido de carbono (CO₂).** Es un gas incoloro, producido como resultado de la combustión de materia orgánica, la respiración y otras sustancias que contengan carbono (Barla, 2006, citado por Gutiérrez, 2017).
- **Emisión.** Hace referencia a sustancias gaseosas, líquidas o sólidas que son descargadas al ambiente ya sea por fuentes antropogénicas o naturales (Ñique, 2008).
- **Especie.** Conjunto de individuos que tiene características similares y que pueden reproducirse entre ellos y aumentar su descendencia (Ñique, 2008).

- **Servicio ambiental.** Beneficios que la humanidad obtiene de los ecosistemas, tales como la protección del recurso hídrico y la biodiversidad, la mitigación de emisiones de gases de efecto invernadero, regulación del clima y reciclado de nutrientes, entre otros (MINAM, 2012).
- **Sumidero de carbono.** Depósito de carbono formado durante un proceso de estabilidad del carbono entre la atmósfera y el bosque, contribuyendo así a reducir el CO₂ de la atmósfera (Russo, 2002).

APÉNDICES

Apéndice 1. Puntos de muestreo en cada sistema agroforestal evaluado

Sistema Agroforestal (SAF)	Parcela de muestreo	Coordenadas	
SAF ₁	1	220986	9364571
SAF ₁	2	221028	9364672
SAF ₁	3	221090	9364605
SAF ₁	4	221050	9364579
SAF ₁	5	221043	9364620
SAF ₂	1	224496	9366835
SAF ₂	2	224430	9366821
SAF ₂	3	224461	9366970
SAF ₂	4	224534	9366956
SAF ₂	5	224494	9366935

Fuente: Elaboración propia.

*SAF₁: Sistema Agroforestal de “eucalipto torrellano” + “café”.

*SAF₂: Sistema Agroforestal de “pino chuncho” + “café”.

Apéndice 3. Datos de tC/ha en biomasa aérea por cada parcela de muestreo

Sistema Agroforestal	Número de parcela	Biomasa arbórea viva (kg/árbol)	Biomasa arbórea viva (t/ha)	tC/ha
SAF ₁	1	1575.396	157.540	70.893
SAF ₁	2	1454.009	145.401	65.430
SAF ₁	3	1603.743	160.374	72.168
SAF ₁	4	1210.044	121.004	54.452
SAF ₁	5	1005.895	100.590	45.265
SAF ₂	1	474.828	47.483	21.367
SAF ₂	2	1752.425	175.243	78.859
SAF ₂	3	2130.692	213.069	95.881
SAF ₂	4	1696.378	169.638	76.337
SAF ₂	5	1645.787	164.579	74.060

Fuente: Elaboración propia.

Apéndice 4. Datos de peso registrado para muestras de necromasa

Sistema Agroforestal (SAF)	Número de Parcela	Especies	Peso húmedo de necromasa en 1 m ² (kg)	Peso Húmedo de muestra (g)	Peso Seco de muestra (g)
SAF ₁	1	Eucalipto torrellano			
		Café	1.200	200	87.50
SAF ₁	2	Eucalipto torrellano			
		Café	1.100	200	117.92
SAF ₁	3	Eucalipto torrellano			
		Café	1.000	200	102.82
SAF ₁	4	Eucalipto torrellano			
		Café	1.100	200	69.14
SAF ₁	5	Eucalipto torrellano			
		Café	1.300	200	45.40
SAF ₂	1	Pino chuncho			
		Café	2.700	200	67.78
SAF ₂	2	Pino chuncho			
		Café	2.600	200	91.12
SAF ₂	3	Pino chuncho			
		Café	1.500	200	107.18
SAF ₂	4	Pino chuncho			
		Café	1.400	200	74.80
SAF ₂	5	Pino chuncho			
		Café	2.700	200	117.72

Fuente: Elaboración propia.

Apéndice 5. Datos de tC/ha en necromasa por cada subparcela de muestreo

Sistema Agroforestal	Número de parcela	Peso húmedo de la sub muestra (Kg)	Peso seco de la sub muestra (Kg)	Contenido De humedad	Peso húmedo total del área de muestreo (kg)	Y	x 0.001	x 0.5	/ el total de metros muestreados (5 m)	x 10,000 m ² tC/HA
SAF ₁	P1	0.200	0.088	0.563	1.200	0.525	0.000525	0.0002625	0.0000525	0.525
SAF ₁	P2	0.200	0.118	0.410	1.100	0.649	0.0006486	0.0003243	0.00006486	0.649
SAF ₁	P3	0.200	0.103	0.486	1.000	0.514	0.0005141	0.0002571	0.00005141	0.514
SAF ₁	P4	0.200	0.069	0.654	1.100	0.380	0.0003803	0.0001901	0.00003803	0.380
SAF ₁	P5	0.200	0.045	0.773	1.300	0.295	0.0002951	0.0001476	0.00002951	0.295
SAF ₂	P1	0.200	0.068	0.661	2.700	0.915	0.0009150	0.0004575	0.0000915	0.915
SAF ₂	P2	0.200	0.091	0.544	2.600	1.185	0.0011846	0.0005923	0.0001185	1.185
SAF ₂	P3	0.200	0.107	0.464	1.500	0.804	0.0008039	0.0004019	0.0000804	0.804
SAF ₂	P4	0.200	0.075	0.626	1.400	0.524	0.0005236	0.0002618	0.0000524	0.524
SAF ₂	P5	0.200	0.118	0.411	2.700	1.589	0.0015892	0.0007946	0.0001589	1.589

Fuente: Elaboración propia.

Apéndice 6. Datos registrados para muestras de suelo

Sistema Agroforestal (SAF)	Número de Parcela	Peso seco (g)	Volumen del cilindro (cm ³)	Densidad (g/cm ³)	Profundidad del horizonte (m)	Constante	Peso del volumen del suelo (PVs)	% C Orgánico total de suelo	Carbono en suelo (t/ha)
SAF ₁	1	1568.00	2356.20	0.67	0.3	10000	1996.43	28.42%	567.387
SAF ₁	2	1961.00	2356.20	0.83	0.3	10000	2496.82	30.39%	758.783
SAF ₁	3	1442.50	2356.20	0.61	0.3	10000	1836.64	40.49%	743.657
SAF ₁	4	1711.80	2356.20	0.73	0.3	10000	2179.53	36.31%	791.386
SAF ₁	5	1653.75	2356.20	0.70	0.3	10000	2105.61	37.01%	779.288
SAF ₂	1	1792.00	2356.2	0.76	0.3	10000	2281.64	48.84%	1114.353
SAF ₂	2	1924.00	2356.2	0.82	0.3	10000	2449.71	50.23%	1230.488
SAF ₂	3	1442.50	2356.2	0.61	0.3	10000	1836.64	47.91%	879.936
SAF ₂	4	1648.40	2356.2	0.70	0.3	10000	2098.80	47.10%	988.536
SAF ₂	5	1822.50	2356.2	0.77	0.3	10000	2320.47	46.98%	1090.159

Fuente: Elaboración propia.

Apéndice 7. Resultados de análisis de caracterización de suelo



PERÚ
San Martín
Inclusiva y Solidaria
GOBIERNO REGIONAL

LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS - ESTACION EXPERIMENTAL DE NUEVA CAJAMARCA
Av. Cajamarca Norte N° 1151, Los Olivos IV Etapa - Distrito de Nueva Cajamarca
Provincia de Rioja, San Martín. Teléfono 556443



Peam
PROYECTO ESPECIAL ALTO MAYO
Dirección de Desarrollo Agropecuario

RESULTADO DE ANALISIS DE SUELO - CARACTERIZACION

NOMBRE :	LADY DÍAZ ARTEAGA	PROFUNDIDAD :	0 - 30 cm.
PROCEDENCIA :	Sistemas Agroforestales de Naranjos - Rioja	FECHA DE REPORTE :	06-dic-18
FECHA DE INGRESO :	03-dic-18	CULTIVO :	Captura de Carbono SAF
1		ATENCIÓN :	

Nro	CLAVE LABORATORIO	CLAVE CAMPO	PROCEDENCIA y/o AGRICULTOR	Análisis Físico						Análisis Químico													
				Textura			Clase Textural	Densidad Aparente	pH	Conductividad Eléctrica	Carbonatos	Materia Orgánica	Elementos Disponibles			Capac. de Intercambio Catiónico	Elementos Cambiables						
				Arena	Arcilla	Limo							N	P	K		Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺	Al ⁺⁺⁺	Saturación de Al	
				%	%	%	%	ppm	ppm	meq / 100 gr de suelo						%							
1	S018 - 165	SAF1 M5P5	Lady Díaz Arteaga	86.20	12.16	21.64	Franco Arenoso	1.53	5.88	0.00060	-	2.840	0.128	6.50	89.26	7.79	6.18	0.84	0.14	0.23	0.40	5.1%	
2	S018 - 166	SAF2 M5P5	Lady Díaz Arteaga	84.28	12.12	23.60	Franco Arenoso	1.53	7.33	0.00153	-	2.740	0.123	7.14	95.87	6.87	5.74	0.66	0.22	0.25	Trazas	0%	

METODOLOGÍA EMPLEADA EN LOS ANALISIS:

Textura :	Hidrómetro de Bouyoucos	Materia Orgánica :	Walkley y Black
pH :	Potenciómetro en suspensión suelo: agua	Nitrógeno :	Micro Kjeldahl
Conductividad Eléctrica :	Extracto acuoso en la relación suelo: agua 1:1	Fósforo :	Olsen Modificado
Carbonatos :	Gasovolumétrico con calcímetro de Bernard	Capacidad de Intercambio Catiónico :	Suma de Bases cambiables
			Sodio y Potasio
			Calcio y Magnesio
			Aluminio cambiabile
			Acidez Activa
			Fotometría de Liama
			Versenato E.D.T.A
			Yuan, extracción con KCl 1N
			Yuan, extracción con KCl 1N



V^B° Ing. Carlos Egoavil De la Cruz
C.I.P. N° 32743



Gleoder Ruiz Flores
Laboratorista de Suelos

Fuente: Proyecto Especial Alto Mayo - Laboratorio de Análisis Agrícola de Suelos.

Apéndice 8. Método de Calcinación para la determinación de COS

- **Equipos**

Horno Electrónico (Mufla)

Balanza Electrónica de Precisión

Crisoles

Desecador

- **Procedimiento**

1. Se tamizó la muestra de suelo con malla N° 10 con diámetro igual a 2 mm.
2. Se pesó el crisol más la muestra seca, en seguida se colocó las muestras en la mufla para el proceso de calcinación durante 5 hrs a 500 °C, se retiró la muestra y se colocó en un desecador, luego se pesó y registro para los cálculos respectivos.

- **Procesamiento de los datos (Cálculos)**

$$\% \text{ Cenizas} = \frac{P_s}{P_h} \times 100$$

Donde:

P_s = Peso seco de la muestra

P_h = Peso Húmedo de la muestra

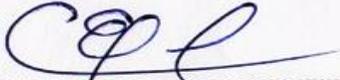
$$\% \text{ Materia Orgánica} = 100\% - \% \text{ Cenizas}$$

Apéndice 9. Resultados de análisis de porcentaje de carbono total en suelo

PERÚ San Martín Inclusiva y Solidaria GOBIERNO REGIONAL		PROYECTO ESPECIAL ALTO MAYO OFICINA NUEVA CAJAMARCA LABORATORIO DE ANÁLISIS AGRÍCOLAS DE SUELOS						
MATERIA ORGÁNICA POR CALCINACIÓN:						MUFLA	500 °C x 4 horas	
Código	Tara g	Muestra de Suelo g	Peso Total g	Peso Seco g	Peso Cenizas g	% Cenizas	% MO Total	% C.O. Total
SAF1 M1P1	12.8300	5.0000	17.8300	15.2800	2.5500	51.00%	49.00%	28.42%
SAF1 M2P2	11.9000	5.0000	16.9000	14.5200	2.3800	47.60%	52.40%	30.39%
SAF1 M3P3	11.7000	5.0000	16.7000	15.1900	1.5100	30.20%	69.80%	40.49%
SAF1 M4P4	12.6600	5.0000	17.6600	15.7900	1.8700	37.40%	62.60%	36.31%
SAF1 M5P5	12.4000	5.0000	17.4000	15.5900	1.8100	36.20%	63.80%	37.01%
SAF2 M1P1	12.6300	5.0000	17.6300	16.8400	0.7900	15.80%	84.20%	48.84%
SAF2 M2P2	15.7000	5.0000	20.7000	20.0300	0.6700	13.40%	86.60%	50.23%
SAF2 M3P3	13.2800	5.0000	18.2800	17.4100	0.8700	17.40%	82.60%	47.91%
SAF2 M4P4	16.4800	5.0000	21.4800	20.5400	0.9400	18.80%	81.20%	47.10%
SAF2 M5P5	12.7700	5.0000	17.7700	16.8200	0.9500	19.00%	81.00%	46.98%

C.O. Total (Carbono Orgánico Total) = M.O. Total / 1.724

Nueva Cajamarca, 06 de Diciembre del 2018



VºBº Ing. Carlos Hugo Egoávil De la Cruz
Registro C.I.P. N° 32743





Gleoder Ruíz Flores
Laboratorista de Suelos

Av. Cajamarca Norte N° 1151, distrito de Nueva Cajamarca (sector Los Olivos), Provincia de Rioja – San Martín. Teléfono 042-556443.

Fuente: Proyecto Especial Alto Mayo- Laboratorio de Análisis Agrícola de Suelo.