

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL



TESIS

**Estimación de carbono almacenado en sistemas Agroforestales de
Café, Distrito de Anco - La Mar, Región Ayacucho, 2019**

Para optar el título profesional de:

Ingeniero ambiental

Autor: Bach. Fredy Alexander GOMEZ LAZARO

Asesor: Mg. Luis Alberto PACHECO PEÑA

Cerro de Pasco – Perú - 2022

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL



TESIS

Estimación de carbono almacenado en sistemas Agroforestales de

Café, Distrito de Anco - La Mar, Región Ayacucho, 2019

Sustentada y aprobada ante los miembros de jurado:

Dr. David Johnny CUYUBAMBA ZEVALLOS

PRESIDENTE

Mg. Julio Antonio ASTO LIÑAN

MIEMBRO

Mg. Mayvi Deysi USCUCHAGUA CORNELIO

MIEMBRO

DEDICATORIA

A Dios todo poderoso, quién me dio la fe, la fortaleza y salud para seguir adelante en todos mis proyectos y sueños.

Con gran amor y cariño a todos mis seres queridos, por su apoyo y entrega que me han permitido alcanzar este deseo compartido para seguir siempre adelante, contribuyendo en mi formación personal y profesional.

AGRADECIMIENTO

A mi alma Mater la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión, quien me acogió en sus aulas durante los años de mi formación profesional.

Con gran aprecio y profundo reconocimiento a los grandes Maestros quienes fueron los protagonistas de mi formación académica

A mis hermanos y (as) por su apoyo moral, en la etapa más linda de un ser humano.

A mis amigos, amigas y compañeros que supieron brindarme su amistad y apoyo cuando se les necesitaba ahí estaban presente.

RESUMEN

En esta investigación titulada “Estimación de carbono almacenado en Sistemas Agroforestales de Café, Distrito de Anco-La Mar, Región Ayacucho, 2019”. Se estimó el carbono Almacenado en Sistemas Agroforestales de Café.

Para este propósito se basó en la metodología planteado por el Centro Internacional de Investigación Agroforestal [ICRAF] (2009). Se estableció cinco parcelas de muestreo distribuidos aleatoriamente dentro de una hectárea de sistema agroforestal de café y pino de 7 años de edad, para el café la densidad de siembra es de 5000 plantas por Ha con un distanciamiento de 2m x 1m, para pino la densidad de siembra es 278 árboles/Ha en un distanciamiento de 6m x 6m. Las parcelas con dimensiones de 25 x10 m para el caso de biomasa aérea, para el necromasa es 5 parcelas de 1x1 m y para suelo 5 parcelas de 0.5 x 0.5 m.

De los resultados obtenidos la captura total de carbono del sistema agroforestal fue de 609.12 tC/Ha, el componente que presento mayor captura de carbono fue en el componente suelo con 438.29 tC/Ha, seguidamente la captura de carbono en la biomasa aérea fue de 168.59 tC/Ha y finalmente se encontró la captura de carbono en la necromasa fue de 0.76 tC/Ha que representa la menor cantidad de carbono almacenado con respecto al componente biomasa aérea y suelo.

Palabras clave: Sistemas agroforestales, captura de carbono, biomasa aérea, necromasa, suelo.

ABSTRACT

In this research entitled "Estimation of carbon stored in Coffee Agroforestry Systems, the district of Anco-La Mar, Region Ayacucho, 2019". Carbon Stored in agroforestry Coffee systems was estimated.

For this purpose, it was based on the methodology proposed by the International Center for Agroforestry Research [ICRAF] (2009). Five randomly distributed sampling plots were established within a hectare of coffee and pine agroforestry system of 7 years of age, for coffee the planting density is 5000 plants per Ha with a spacing of 2m x 1m, for pine the density planting is 278 trees/Ha in a spacing of 6m x 6m. The plots with dimensions of 25 x10 m for the case of aerial biomass, for the necromass it is 5 plots of 1x1 m and for soil 5 plots of 0.5 x 0.5 m.

From the results obtained, the total carbon capture of the agroforestry system was 609.12 tC/Ha, the component that presented the highest carbon capture was in the soil component with 438.29 tC/Ha, followed by the carbon capture in the aerial biomass was 168.59 tC/Ha and finally the capture of carbon in the necromass was found to be 0.76 tC/Ha, which represents the least amount of carbon stored with respect to the aerial and soil biomass component.

Keywords: Agroforestry systems, carbon sequestration, aerial biomass, necromass, soil.

INTRODUCCIÓN

El calentamiento global es el incremento acelerado de emisiones de gases de efecto invernadero específicamente del CO₂ generado por las actividades antropogénicas como la pérdida cobertura vegetal y arbórea, degradación de suelos y erosión y pérdida de hábitat de la flora y fauna nativa, como consecuencias de este fenómeno es el efecto invernadero y el cambio climático y es un problema ambiental que está generando perturbaciones al funcionamiento de los ecosistemas.

El Perú es uno de los diez países más vulnerables al igual que Venezuela, Honduras y Bangladesh. La alta vulnerabilidad es debido a un alto dependencia de sectores primarios sensibles al cambio climático, tales como el agrícola y el pesquero, así como al bajo nivel institucional, que dificulta la planificación y ejecución de acciones de adaptación concretas (Trinidad, 2019).

Los valles de río Apurímac, Ene y Mantaro (VRAEM) en las últimas décadas sufrió una deforestación significativa debido al cambio de uso de suelo por parte de los productores agrícolas para ampliar su frontera agrícola sobre todo para el establecimiento de cultivo de coca, café y cacao. La práctica de los métodos producción rozo y quema por el agricultor migrante para el sembrío de hoja de coca aporta a variaciones en el equilibrio de los gases de efecto invernadero (Villagaray & Bautista, 2011).

Frente a esta situación los sistemas agroforestales es una alternativa viable para contribuir a la mitigación de gases de efecto invernadero porque contribuye a la captura y almacenamiento del carbono atmosférico mediante la realización de fotosíntesis y su posterior acumulación como biomasa constituyéndose, así como unos de los grandes sumideros del CO₂.

Los sistemas agroforestales son prácticas sostenibles de la agricultura que permite satisfacer las necesidades alimentarias y al mismo tiempo contribuye a mitigar los efectos

del cambio climático proporcionando servicios ambientales esenciales para el desarrollo disfrute de los seres humanos y toda especie viviente (Nair & Nair, 2014).

La pregunta central del trabajo es ¿Cuál es la estimación de carbono Almacenado en Sistemas Agroforestales de Café, Distrito de Anco-La Mar, ¿Región Ayacucho?

El objetivo central es estimar el carbono Almacenado en Sistemas Agroforestales de café y pino para tener un inventario local y obtener información necesaria para valorar su importancia ambiental y ecosistémico.

Para llevar a cabo el estudio, e- trabajo se ha estructurado en 3 capítulos.

Capítulo I: Problema de investigación, trata sobre el cambio climático, captura de carbono y sistemas agroforestales

Capítulo II: Marco Teórico se efectúa algunas precisiones teórico-conceptuales de captura de carbono de ecosistemas terrestres, sistemas agroforestales biomasa aérea, necromasa y suelo.

Capítulo III: Metodología, describe el tipo de investigación, diseño, población y muestra, método empleado, técnicas, instrumentos, análisis y tratamiento de datos.

Capítulo IV: Resultados abarca los resultados, discusiones y conclusiones obtenidos de la investigación.

ÍNDICE

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTO

RESUMEN

ABSTRACT

INTRODUCCIÓN

ÍNDICE

CAPÍTULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACION

1.1.	Identificación y determinación del problema	1
1.2.	Delimitación de la investigación.....	5
1.3.	Formulación del problema	7
	<i>1.3.1. Problema general</i>	7
	<i>1.3.2. Problemas específicos</i>	7
1.4.	Formulación de Objetivos.....	7
	<i>1.4.1. Objetivo General</i>	7
	<i>1.4.2. Objetivosespecíficos</i>	7
1.5.	Justificación de la investigación	8
1.6.	Limitaciones de la investigación.....	9

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1.	Antecedentes de estudio.....	10
------	------------------------------	----

2.1.1. Antecedentes internacionales	10
2.1.2. Antecedentes nacionales	14
2.2. Bases teóricas - científicas.....	18
2.3. Definición de términos básicos.....	34
2.4. Formulación de Hipótesis	36
2.5. Identificación de Variables.	37
2.6. Definición Operacional de variables e indicadores.	37

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

3.1. Tipo de investigación.....	38
3.2. Nivel de investigación	38
3.3. Métodos de investigación	38
3.4. Diseño de investigación.....	42
3.5. Población y muestra.....	42
3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	43
3.7. Técnicas de procesamiento y análisis de datos	44
3.8. Tratamiento Estadístico.	44

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Descripción del trabajo de campo.....	45
4.2. Presentación, análisis e interpretación de resultados.....	46

4.2.1. <i>Carbono almacenado por la biomasa aérea</i>	47
4.2.2. <i>Carbono almacenado por la necromasa</i>	48
4.2.3. <i>Carbono almacenado en el suelo</i>	49
4.2.4. <i>Carbono Total almacenado del sistema agroforestal</i>	50
4.3. Discusión de resultados	51
5. CONCLUSIONES.....	54
6. RECOMENDACIONES	55
7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	56
8. ANEXOS:.....	64

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Operacionalización de variables.....	37
Tabla 2 Carbono de la Biomasa Aérea	47
Tabla 3 Carbono almacenado por la necromasa	48
Tabla 4 Carbono almacenado en el suelo	49
Tabla 5 Carbono total almacenado por el sistema agroforestal.....	50

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Reservorios de carbono.....	25
Figura 2 Distribución de parcelas de muestreo	43
Figura 3 Carbono de la Biomasa Aérea.....	47
Figura 4 Carbono almacenado por la necromasa	48
Figura 5 Carbono almacenado en el suelo.....	49
Figura 6 Carbono total del sistema agroforestal.....	50

CAPÍTULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACION

1.1. Identificación y determinación del problema

Desde el año 1990 el calentamiento global ha ido aumentando siendo uno de los principales gases que aporta en gran proporción el CO₂ con aproximadamente un 80%, pero en los años 2017 al 2018, los gases de efecto invernadero que atrapan el calor en la atmosfera alcanzaron los niveles altos entre estos gases se encuentran el dióxido de carbono (CO₂) aumentó un 147%, el metano (CH₄) un 259%, y el óxido nitroso (N₂O) un 123%. Esta tendencia significa que las generaciones futuras tendrán que sufrir los efectos devastadores del cambio climático; pues estos incrementos hacen que la temperatura aumente y otros fenómenos meteorológicos extremos se multipliquen. Se pronostica que, en el año 2030, donde los gases de efecto invernadero alcanzará su punto máximo y traerá efectos devastadores si no se adoptan políticas para reducir y mitigar los gases de efecto invernadero (Organización Meteorológica Mundial, 2019)

El cambio climático es un problema ambiental que está generando perturbaciones al funcionamiento de los ecosistemas debido a las emisiones de gases de efectos invernadero como metano (CH₄), Óxido Nitroso (N₂O) y, en especial las de Dióxido de Carbono (CO₂); estos gases han superado la capacidad de almacenar carbono de los reservorios de carbono como son los bosques, océanos, biomasa viva y muerta (Ordóñez & Masera, 2001).

La liberación de gases de efecto invernadero (GEI) es como consecuencia de la quema de los bosques que contribuye al cambio climático global; En las últimas décadas se destruyeron el 47% de un total de 600.000 km² de bosques amazónicos primarios y a su vez la propia descomposición de materia orgánica produce metano (CH₄) y dióxido de carbono (CO₂) (Uribe, 2015).

La presencia de CO₂ en la atmosfera es un factor importante en el proceso de calentamiento global del planeta y por lo tanto la cuantificación de emisiones de carbono determina el balance entre la absorción de carbono y la emisión bruta del bosque y la deforestación persistente, altera ese balance (Houghton, 2007).

El aumento de los gases de efecto invernadero en la atmosfera y el consecuente cambio climático traerá efectos importantes en el siglo XXI si no se adopta medidas para disminuir las emisiones de estos gases se tendrá efectos negativos, esto debido principalmente al cambio de uso de suelo. Que fue ampliamente conocido a partir del protocolo Kyoto, donde se tomó acciones para la captura de carbono estimulando cambios importantes para el manejo de uso de suelos propiciando a su vez el incremento del contenido de materia orgánica para obtener un impacto positivo sobre la biodiversidad a partir de las prácticas agrícolas sostenibles que permitirán prevenir el deterioro de los recursos de la tierra. Frente a esta situación una de las alternativas está enfocada en la captura de carbono en la

biomasa y en el suelo para ello es necesario el desarrollo de nuevas estrategias y políticas para el manejo sostenible de la agricultura y los bosques (Robert, 2002).

El Perú no se encuentra exenta ante el calentamiento global, es uno de los diez países más vulnerables al igual que Venezuela, Honduras y Bangladesh. La alta vulnerabilidad es debido a un alto dependencia de sectores primarios sensibles al cambio climático, tales como el agrícola y el pesquero, así como al bajo nivel institucional, que dificulta la planificación y ejecución de acciones de adaptación concretas (Trinidad, 2019). Las emisiones de gases de efecto invernadero en el Perú solo representan el 0.3 % del total de las emisiones globales (Vargas, 2009). La mayor concentración se encuentra en la categoría de uso de suelo específicamente en el cambio de uso de suelo y silvicultura con 47.5 % de las emisiones del Perú; es decir la pérdida de bosques o la degradación de la cobertura vegetal es la principal fuente de emisiones del Perú, puesto que dos tercios de las emisiones están directamente relacionadas con la deforestación (FAO, 2016).

En el departamento de Ayacucho en los últimos años de una superficie total 4,350852 has de cobertura vegetal, se perdió en el periodo de 2001- 2016 un total 6640 ha en la provincia de Huanta y en la provincia de La Mar 4186, que en términos porcentuales representa el 61% y 39% respectivamente. Por otra parte de las coberturas monitoreadas el 214446 ha (%) representa al bosque húmedo amazónico y de esto se perdió 10826 ha (0,2%) entre los años de 2001-2016 (Vizzuality, s. f.).

Los valles de río Apurímac, Ene y Mantaro (VRAEM) en las últimas décadas sufrió una deforestación significativa debido al cambio de uso de suelo por parte de los productores agrícolas para ampliar su frontera agrícola sobre todo para el establecimiento de cultivo de coca, café y cacao. La práctica de los métodos

producción rozo y quema por el agricultor migrante para el sembrío de hoja de coca aporta a variaciones en el equilibrio de los gases de efecto invernadero, por otra parte, la selva emite cantidades grandes de CO₂, CH₄, CO y NO. Del 100% de territorio del VRAEM el 70% presente característica forestal, el 23% presenta características abruptas y rocosas y solamente un 7 % se encuentra apto para el desarrollo de cultivo agrícola. Existe desconocimiento de los sistemas agroforestales en VRAEM en un 78% para el desarrollo de este sistema sostenible (Villagaray & Bautista, 2011).

Alternativas para reducir el calentamiento global son: Reducir las emisiones de CO₂ mejorar las tecnologías de nuestras actividades industriales y de desarrollo, Aumentar la inmovilización de CO₂ por el arbolado, aumentar las superficies arboladas y gestionar bosques considerando este aspecto. Los bosques (árboles) son capaces de fijar o retener una gran cantidad de CO₂ que generamos, pero no todo. Toda la biomasa del árbol tronco, ramas, hojas y raíces, constituyen un almacén de CO₂ (reserva, sumidero de carbono), lo pueden custodiar, hasta que los avances tecnológicos permitan reducir las emisiones (Masera et al., 1997).

En este contexto una de las alternativas para la reducción de gases de efecto invernadero es la conservación de bosques y/o recursos naturales y propiciar el establecimiento de sistemas agroforestales (SAF) que consiste en el cultivo de árboles asociada con plantas perennes y también con ganadería (Terán et al., 2018).

La capacidad de almacenamiento de carbono en SAF se determina mediante estudios de biomasa teniendo en cuenta factores físicos y ambientales, también se estima que de 40-50% de la biomasa corresponde a carbono almacenado (Soto-Pinto et al., 2010).

Los sistemas agroforestales son prácticas sostenibles de la agricultura que permite satisfacer las necesidades alimentarias y al mismo tiempo contribuye a mitigar los efectos del cambio climático proporcionando servicios ambientales esenciales para el desarrollo disfrute de los seres humanos y toda especie viviente (Nair y Nair, 2014).

En el contexto mundial la preocupación hoy en día es el calentamiento global de la tierra debido al incremento acelerado de las emisiones de gases de efecto invernadero específicamente del CO₂ generado por las actividades antropogénicas como la pérdida cobertura vegetal y arbórea, degradación de suelos y erosión y pérdida de hábitad de la flora y fauna nativa. Frente a esta situación los sistemas agroforestales es una alternativa viable para contribuir a la mitigación de gases de efecto invernadero porque contribuye a la captura y almacenamiento del carbono atmosférico mediante la realización de fotosíntesis y su posterior acumulación como biomasa constituyéndose, así como unos de los grandes sumideros del CO₂. Por lo tanto, urge la imperiosa necesidad de estimar y cuantificar el carbono acumulado en los sistemas agroforestales, para tener un inventario local y obtener información necesaria para valorar su importancia ambiental y ecosistémico.

1.2. Delimitación de la investigación

La provincia de La Mar en el periodo de 2001- 2016 de un total de 6640 Ha se perdió el 39% de la cobertura vegetal debido al cambio de uso de suelo por parte de los propios pobladores con el propósito de ampliar sus fronteras agrícolas para el establecimiento de monocultivos a través de métodos inapropiados ancestrales. En este sentido la investigación se desarrolló en el anexo de Rosaspata, Distrito Anco, Provincia La Mar, departamento de Ayacucho, en los meses de

setiembre a noviembre del año 2021, en una parcela compuesta con un sistema agroforestal de café + pino de extensión de 1 Ha.

La generación de gases de efecto invernadero por las actividades del hombre provocan el calentamiento global, esto hace los patrones de clima sufran variaciones que tiene efectos negativos en los ecosistemas terrestres, este fenómeno se conoce como cambio climático. Estos gases de efecto invernadero al haber aumentado en cantidades insostenibles quebró el balance de equilibrio entre las emisiones y la capacidad de secuestro biológico de carbono. Frente a esta situación una de las alternativas productiva viables y sostenibles es el establecimiento de sistemas agroforestales que consiste en unidades de producción agrícola que integra componentes abióticos (aire, suelo y agua) y bióticos (animales, árboles y vegetación) entre sí. Estos sistemas mejoran la calidad de vida de la población rural y en consecuencia se orientan a lograr objetivos ecológicos, económicos y sociales.

A nivel global los sistemas agroforestales juegan un papel muy importante en la reducción del impacto y vulnerabilidad de las acciones antrópicas sobre la fragilidad de estos ecosistemas, ofreciendo servicios ambientales como la protección, conservación de bosques, regulación hidrológica, conservación de la biodiversidad y su capacidad de almacenamiento de carbono como una fuente de sumidero de carbono.

La importancia de estudiar la captura de carbono en los sistemas agroforestales radica generar conocimiento científico de tal manera ayude a la toma de decisiones ambientales y el desarrollo de estrategias de manejo sustentables que impulsen a la creación de conciencia del poblador para la conservación y cuidado y el incremento de las reservas de carbono que contribuya a la mitigación del cambio climático.

1.3. Formulación del problema

1.3.1. Problema general

¿Cuál es la estimación de carbono Almacenado en un Sistemas Agroforestales de Café, Distrito de Anco-La Mar, Región Ayacucho, 2019?

1.3.2. Problemas específicos

¿Cuál es la estimación de carbono almacenado en la biomasa aérea en Sistemas Agroforestales de Café, Distrito de Anco-La Mar, Región Ayacucho, 2019?

¿Cuál es la estimación de carbono almacenado en la necromasa en Sistemas Agroforestales de Café, Distrito de Anco-La Mar, Región Ayacucho, 2019?

¿Cuál es la estimación de carbono almacenado en el suelo en Sistemas Agroforestales de Café, Distrito de Anco-La Mar, Región Ayacucho, 2019?

1.4. Formulación de Objetivos

1.4.1. Objetivo General

Estimar el carbono Almacenado en Sistemas Agroforestales de Café, Distrito de Anco-La Mar, Región Ayacucho, 2019.

1.4.2. Objetivos específicos

Estimar el carbono Almacenado en la biomasa aérea en Sistemas Agroforestales de Café, Distrito de Anco-La Mar, Región Ayacucho, 2019.

Estimar carbono Almacenado en la necromasa en Sistemas Agroforestales de Café, Distrito de Anco-La Mar, Región Ayacucho, 2019.

Estimar carbono Almacenado en el suelo en Sistemas Agroforestales de Café, Distrito de Anco-La Mar, Región Ayacucho, 2019.

1.5. Justificación de la investigación

Bajo esta premisa ante el episodio actual que vivimos el problema del cambio climático, ocasiona el deterioro de los ecosistemas locales, alteraciones en los patrones climáticos hizo que los gases de efecto invernadero (GEI) han ido acumulando en cantidades considerables rompiendo el equilibrio entre las emisiones y la capacidad de secuestro biológico de carbono.

En este contexto los sistemas agroforestales es una alternativa productiva sostenible que aporta a la reducción del impacto y vulnerabilidad de las acciones antrópicas sobre la fragilidad de estos ecosistemas, que brindan servicios ambientales como la protección, conservación de bosques, regulación hidrológica, conservación de la biodiversidad y su capacidad de almacenamiento de carbono como una fuente de sumidero de carbono.

En la actualidad la humanidad se encuentra frente a un gran desafío: disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero, entre las que destaca el dióxido de carbono (CO_2), en este sentido resulta de especial interés conocer la capacidad de almacenar carbono de los sistemas agroforestales que deslumbré y determine un porcentaje representativo de la cantidad de carbono secuestrada. Para que de esta manera se pueda revertir el proceso de degradación, como consecuencia de la deforestación y mal uso y manejo inadecuado de este ecosistema; es decir revertir las malas prácticas, acciones y el proceso de degradación por parte del poblador para obtener beneficios ambientales, mayor biodiversidad y por ende una mejor conservación y manejo ambiental y un incremento de la captura del carbono.

La presente investigación nace de la necesidad de estudiar y estimar la cantidad de carbono capturado en los sistemas agroforestales para generar conocimiento científico relevante sobre la captura de carbono de estos sistemas

agroforestales que ofrecen servicios ambientales y son nicho de biodiversidad constituyéndose en una estrategia de producción sostenible en este contexto servirá para la toma de decisiones ambientales y el desarrollo de estrategias de manejo sustentables que impulsen a la creación de conciencia del poblador para la conservación y cuidado, a su vez el incremento de las reservas de carbono que contribuya a la mitigación del cambio climático.

La investigación busca proporcionar información que será útil a toda la comunidad científica para mejorar el conocimiento sobre el alcance del problema en la sociedad actual.

Debido a que no se cuenta con suficientes estudios de alcance local y nacional sobre el secuestro de carbono en los sistemas agroforestales en el presente trabajo es conveniente para afianzar un mayor conocimiento sobre esta problemática ambiental global.

El trabajo tiene una utilidad metodológica, ya que podría realizarse futuras investigaciones que utilizarán metodologías compatibles de manera que se posibilitaran análisis conjuntos, comparaciones entre periodos temporales concretas y evaluaciones de las intervenciones que se estuvieran llevando con el fin de reducir y mitigar el cambio climático. La investigación es viable, pues se dispone de los recursos necesarios para llevarla a cabo.

1.6. Limitaciones de la investigación

Las limitaciones que se tuvo en la presente investigación fueron la carencia de laboratorio de análisis de suelos para la determinación de carbono del suelo, por otra parte, se tuvo facilidad al acceso a parcelas en estudio.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de estudio.

2.1.1. Antecedentes internacionales

(Sarango y Tenempaguay, 2020) en su tesis titulada “Estimación del carbono almacenado en la biomasa aérea, necromasa (hojarasca) y en el suelo en un bosque de pino en la comuna Paquizhapa (provincia de Loja)” estimo la cantidad de carbono almacenado de un bosque de pino mediante la generación de un inventario de carbono y a partir de esto estimo el contenido de CO₂ capturado por el pino en la parte aérea, hojarasca y en el suelo.

La recolección de datos fue mediante el método de parcelas para ello estableció treinta parcelas de 400 m² de forma circular ubicadas aleatoriamente de donde tomó las variables dasométricas (diámetro-altura) y para las hojarascas estableció tres subparcelas de 1 m² distribuidas en tres cuadrantes de la parcela total y la recolección del suelo se realizó en el centro de cada parcela a profundidades de 0 a 10cm, 10 a 20cm y 20 a 30cm.

A partir de ecuaciones alométricas determino el contenido de carbono capturado por la biomasa aérea, mientras para las hojarasca utilizó el método de relación de biomasa y finalmente terminó el contenido de carbono en el suelo por el método de pérdida de peso.

Los resultados que obtuvo fue que existe 60.01 tonC/ha en la biomasa aérea mientras que en la hojarasca es de 3.20 tonC/ha y en el suelo es de 328.73tonC/ha considerado que la parte con mayor almacenamiento de carbono es el suelo en una profundidad de 30cm es mayor la captura de carbono (170.66 tonC/ha).

(Masuhara et al., 2015) en su investigación titulada “Carbono almacenado en diferentes sistemas agroforestales de café en Huatusco, Veracruz, México”, estimó la cantidad de carbono almacenado en la biomasa aérea mediante ecuaciones alométrica, específicamente de la vegetación arbórea, arbustiva, troncos y mantillo y a su vez determino el contenido de carbono almacenado en el suelo en profundidades de 0 -10, 10-20, 20-30, y 30-60 cm. Para ello tomo dos sistemas agroforestales de café: un sistema especializado (ESP) y el Policultivo Tradicional (PTR), luego comparó con un ecosistema natural ubicado a la misma altitud denominada Bosque Mesófilo de Montaña (BMM).

El sistema especializado (ESP) consistió en la producción de café bajo sombra utilizando árboles de género Inga en una superficie de 0.5 hectáreas. Mientras el sistema de policultivo tradicional (PTR) consistió en una plantación de café bajo sombra asociado con diversos árboles nativos como de *Persea schiedeana* Nees (chinene), *Inga* spp. (Inga), y *Grevillea robusta* A. Cunn. (grevillea). Finalmente, el Bosque Mesófilo de Montaña (BMM) que consiste en un bosque

natural de niebla tropical muy denso y con una composición alta de endemismo florístico.

Para la medición de la biomasa y muestreo de suelo diseño unidades de muestreo (UM) de tipo sistemático de forma rectangular de 25 x 4 m (100 m²), colocando 3 UM en sentido Norte – Sur (UM 2,3 y 4) y una en sentido Este – Oeste (UM 1) para cada sistema del estudio de donde obtuvo datos de la biomasa vegetal (arbustivo, herbácea y matillo). El muestreo del suelo para medir el carbono edáfico consistió en dos pozos por UM a diversas profundidades.

Las conclusiones que llego fue que la mayor cantidad de carbono total se encuentra en el BMM (61%) debido a que registrar mayor cantidad de biomasa arbórea, superando ampliamente a los dos sistemas agroforestales ESP 4%) y PTR (11%). El contenido de carbono orgánico del suelo fue de 88% en el sistema ESP y 82% en el PTR, y 27% en el BMM en la capa superficial de 0 a 10 cm entre los. Por otra parte, no encontró diferencia estadísticamente significativa entre sistemas agroforestales y el BMM.

(Jurado et al., 2019) en su investigación titulada “Evaluación de captura de carbono en sistemas productivos de café (*Coffea arabica* L.), Consacá, Nariño – Colombia” estimó el carbono almacenado en biomasa aérea y bajo el suelo en el ecotopo 221A a partir de la evaluación de 4 sistemas productivos de café de cuatro años de edad, mediante un Diseño de Bloques Completos al Azar (DBCA); los bloques están determinados por tres rangos altitudinales: I (>1800); II (1800–1500) y III (<1500) msnm; y los tratamientos corresponden a: café a libre exposición (T1), café-limón (T2), café-guamo (T3) y café-carbonero (T4). Para determinar el carbono almacenado se empleó el método no destructivo utilizando ecuaciones alométricas de cada especie; los resultados mostraron diferencias estadísticas

significativas en el rango >1800 msnm (109,81 t ha⁻¹) y el más bajo almacenamiento de carbono en el rango <1500 msnm (42,39 t ha⁻¹); por otra parte, los resultados no mostraron diferencias estadísticas significativas en los sistemas, sin embargo, se cuantificó el mayor almacenamiento de carbono en T4 (74,82 t ha⁻¹) y el valor más bajo en T3 (56,56 t ha⁻¹). Lo anterior indica que la captura de carbono es mayor en sistemas de café asociados a especies leñosas a alturas superiores a 1800 msnm.

(Hernández et al., 2021) en la investigación titulada “Almacenamiento de carbono en sistemas agroforestales en los Llanos Orientales de Colombia” estimó el almacenamiento de carbono en la superficie biomasa, necromasa y carbono orgánico del suelo bajo SAF con cacao (SAF cacao), SAF con café (café SAF) sistemas silvopastoriles (SPS) y forestales en Mesetas, Meta (Colombia). Estableció 44 parcelas de muestreo, en donde se tomaron medidas dasométricas a individuos con un diámetro del tronco a la altura del pecho (dap) ≥ 2.5 cm (latizales, fustales y fustales grandes), cuyos valores fueron transformados a carbono con modelos de biomasa y una fracción de carbono default. En los tres sistemas agropecuarios, se contó el número de árboles de cacao, café, plantas asociadas y se identificó el tipo de uso (maderable, alimento, combustión). Los resultados que obtuvo es el almacenamiento de carbono presenta una diferencia significativa ($P < 0.0001$) entre usos del suelo. La mayor acumulación se encontró en bosque, con 216.6 t C ha⁻¹, superando en 59, 72 y 73 % a SAF cacao, SSP y SAF café, respectivamente. En SAF cacao, la mayor acumulación de carbono fue encontrada en especies para alimento humano; en SAF café y SSP, el mayor almacenamiento fue presentado en las especies maderables.

(Terán et al., 2018) en la investigación titulada “Biomasa aérea y ecuaciones alométricas en un cafetal en la Sierra Norte de Oaxaca” analizó la estructura y acumulación de biomasa aérea en un SAFC y ajustar ecuaciones alométricas de biomasa para *Coffea arábica* L., se estableció un experimento bajo un diseño completamente al azar, con tres niveles de cobertura de copa en unidades experimentales de 400 m², en las que se registraron medidas dasométricas de todos los árboles, los datos se sometieron a un análisis de varianza y pruebas de medias de Duncan ($p < 0.05$); por medio de regresión se seleccionaron las ecuaciones de biomasa aérea de los cafetos. La estructura del SAFC es irregular, se identificaron 14 especies presentando mayor frecuencia las especies *Inga edulis* Mart (749 árboles ha⁻¹) y *Liquidambar styraciua* L. (493 árboles ha⁻¹). La mayor acumulación de biomasa se encontró en SAFC con nivel medio de cobertura para árboles sombra y total aéreo de 43 y 86% con 78.429.4 y 87.02 33.3 t ha⁻¹. La biomasa en el piso no mostró diferencias significativas entre los niveles de cobertura evaluados. Los compartimentos de biomasa aérea para *C. arábica* se estiman con coeficientes de ajuste entre 0.71 y 0.89, donde el diámetro basal y altura de los cafetos son variables independientes.

2.1.2. Antecedentes nacionales

(Odar, 2018) en su tesis titulada “Evaluación de almacenamiento de carbono en sistemas agroforestales de café (*Coffea* spp.) En el anexo de Vilaya, distrito de Colcamar, provincia de Luya, Amazonas, 2017-2018”, evaluó el carbono almacenado en la biomasa aérea, suelo hojarasca y maleza en sistemas agroforestales de café asociado con guaba y pashaco. Mediante ecuación alométrica: $B(\text{kg}) = 14.928 - 5.319(\text{DAP}) + 0.598(\text{DAP})^2 - 0.019(\text{DAP})^3$, estimó la

cantidad de carbono almacenado de café obteniendo un coeficiente de determinación de 0.947.

Los resultados que obtuvo son las siguientes 22.441 tn C/ha en guaba, 15.393 tn C/ha en pashaco y 10.254 tn C/ha para café de biomasa aérea total estimada por otro lado en los sistemas agroforestales de café-guaba-pashaco (PA) y de café-guaba (PM) es de 6.813 y 3.439 tn C/ha, con una densidad de plantación de 5917 plantas por hectárea. El carbono almacenado en guaba en los sistemas policultivo PA y PM fue de 10.918 y 11.523 tn C/ha respectivamente. En el pashaco, la cantidad de almacenamiento de carbono fue de 7.696 tn C/ha.

(Díaz, 2019) en su tesis titulada “Estimación de la captura de carbono en dos sistemas agroforestales de café en la provincia de Rioja, San Martín – Perú” estimó la cantidad de carbono secuestrado (tC/ha) en tres componentes biomasa aérea, necromasa y suelo en los sistemas agroforestales “pino chuncho” + “café” y “eucalipto torrellano” + “café” en la provincia de Rioja, para ello estableció cinco parcelas de muestreo en el siguiente orden para el muestreo de biomasa aérea fue 100 m², 1 m² para muestreo de necromasa y cinco calicatas de 0.30 m de profundidad para muestreo de suelo.

La comparación de los resultados lo realizó mediante un análisis de varianza a partir de cálculos de contenido de carbono mediante fórmulas por cada componente los resultados que obtuvo fue 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.

Concluyo 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.

(Hurtado, 2020) en su tesis titulada “Reserva de biomasa y captura del carbono de un sistema agroforestal de *Coffea arabica* L. y *Eucalyptus saligna*, Naranjillo, 2018”, determino la biomasa y captura de carbono de un sistema agroforestal para lo cual estableció tres parcelas de *Coffea arabica* L. y *Eucalyptus saligna* de 25 x 4 m de cuatro años de edad donde tomó muestra de biomasa arbustiva, para la biomasa herbácea fue un cuadrante de 1x1 m y para hojarasca fue de 0.5 x 0.5 m y la muestra de suelo recolectó de la parcela de 25x4 m un total de tres muestras una por parcela a una profundidad de 0 a 30 cm. Posteriormente estimó el carbono almacenado de las biomásas mediante modelos alométricas.

Los resultados que obtuvo fue que la biomasa aérea presentó 424.94 Tn/Ha y 191.22 Tn/Ha siendo esta biomasa que almacenó mayor cantidad de carbono en ambos sistemas, el componente suelo también presentó mayor cantidad de carbono almacenado con el componente arbustivo y herbáceo registró un valor de 2.36 Tn/Ha para reserva de biomasa y 1.06 Tn/Ha para almacenamiento de carbono 86.99 TnC/Ha y finalmente la hojarasca presentó una biomasa de 1.24 Tn/Ha y el carbono almacenado es 0.56 Tn/Ha.

Concluyó que el sistema agroforestal almacena 428.55 Tn/Ha de biomasa y 279.83 TnC/Ha de carbono.

(Sánchez & Flores, 2019) en su tesis titulada “Captura de Carbono en Plantación Forestal de Laurel y Sistema Agroforestal Laurel - Café en la Provincia de San Ignacio”, determino la captura de carbono en cultivo de laurel y sistemas agroforestales laurel – café (SAF) en dos rangos diamétricas (DAP) de menores de 30 cm y mayores a 30 cm. Para ello aplicó método no destructivo para el laurel, destructivo para el cafeto, hojarasca y carbono orgánico del suelo mediante extracción de muestras, estableciendo ocho parcelas en total distribuidas en dos distritos de donde seleccionó dos parcelas bajo plantación forestal laurel y dos parcelas bajo sistema agroforestal laurel + café.

Los resultados que obtuvo fue que la parcela forestal con $DAP > 30$ cm capturó 482.07 tn.C. ha⁻¹ siendo esta parcela que capturo mayor cantidad de carbono, mientras que el sistema agroforestal con $DAP < 30$ cm almacenó menor carbono, con 118.1 tn.C. ha⁻¹. Concluyó que los sistemas de uso de tierra son mecanismos importantes de mitigación de cambio climático.

(Chuquizuta et al., 2016) en su investigación titulada “Carbono almacenado en cinco sistemas de uso de tierra, en la región San Martín Perú” cuantificó el carbono almacenado en la biomasa aérea y en el suelo, en cinco sistemas de uso de la tierra: bosque Primario, bosque secundario, Pijuayo (*Bactris gasipaes* Kunth), Cacao (*Theobroma cacao* L.) y Café (*Coffea arabica* L.) en tres parcelas de 4 m x 25 m en cada sistema donde evaluó la biomasa aérea viva, la hojarasca y el suelo (0 - 30 cm) basándose en la metodología desarrollada por el ICRAF.

Los resultados que obtuvo fueron los siguientes el carbono total en el bosque primario y secundario fue de 398.78 y 396.78 t ha⁻¹, mientras que los sistemas de pijuayo, cacao y café presentaron valores de 22.68, 17.46 y 17.88 t ha-

1; respectivamente. Tanto el bosque primario como el bosque secundario superaron por 20 veces más a los demás sistemas estudiados. En el componente suelo el bosque secundario tuvo un total de carbono almacenado de 113.94 t ha⁻¹, el bosque primario tuvo el 81%; y los sistemas de pijuayo, cacao y café presentaron valores de 43.4%, 48.7% y 49.81% respectivamente, con relación al bosque primario.

Finalmente concluyó que el cambio de uso de suelo de bosques por plantaciones con monocultivo disminuye la capacidad de captura carbono y por ende de CO₂ uno de los gases causante del cambio climático.

2.2. Bases teóricas - científicas.

Cambio climático

El crecimiento de la población en los últimos siglos fue exponencial y a su vez paralelo a esto los niveles promedio de consumo individual aumentaron en forma vertiginosa la demanda global de todo tipo de recursos, modificó casi completamente la superficie continental del planeta. Esta expansión del consumo se sustenta en la base del desarrollo de un ritmo explosivo tecnológico, que trajo consigo que el hombre genere impactos globales sobre la tierra, cambiando drásticamente la vida del mismo. Estos impactos son las crecientes emisiones de gases de efecto invernadero que durante los últimos años aportaron a un calentamiento totalmente inusual. Se prevé que este proceso se acelere en las próximas décadas; si el hombre no cambia su comportamiento y por ende las consecuencias serán catastróficas durante el siglo XXII (Barros, 2004).

El Cambio climático es el cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que perturba la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante

períodos de tiempo comparables (Convención Marco De Las Naciones Unidas Sobre el Cambio Climático, 2016). Es un problema de naturaleza global y con características únicas, sus impactos mayores se percibirán en largo plazo e involucra interacciones complejas entre procesos naturales (fenómenos ecológicos y climáticos) y procesos sociales, económicos y políticos a escala mundial (Martínez & Fernández, 2004).

En este contexto el cambio climático es el incremento de temperatura media natural (calentamiento global), debido a la acumulación en exceso de la concentración de gases de efecto invernadero en la atmosfera generados por las actividades del hombre.

Efecto Invernadero

La denominación de efecto invernadero proviene de la semejanza con las instalaciones agrícolas de cultivo de plantas bajo un ambiente cálido que el exterior; dado que la cobertura de un invernadero tiene la propiedad de dejar pasar la radiación solar a su interior y bloquea la salida del calor al exterior. La atmosfera es una mezcla de gases y partículas liquidas y sólidas (aerosoles) que se encuentran en suspensión (Martínez & Fernández, 2004).

El efecto invernadero es un proceso natural que influye en el calentamiento de la superficie terrestre, mediante la acción de la radiación solar. Este equilibrio se debe a los gases atmosféricos, de poca proporción en la composición global del aire tales como son dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), Óxido de nitroso (N₂O) y otros gases, que son denominados gases de efecto invernadero (GEI); por otra parte, estos gases tienen la capacidad de modificar el balance energético de la tierra y sol. El CO₂ solo representa el 0,035 % de los componentes del aire, pero juega un papel crítico sobre los patrones del clima del

planeta debido a su propiedad de absorber intensamente la radiación infrarroja emitida por la tierra (Peris, 2003). Sin efecto invernadero la vida en la tierra no sería posible este fenómeno hace que la temperatura media global de 15 oC de la planeta se mantenga, caso contrario la temperatura media global sería de -18 oC considerando como extremadamente perjudicial (Ciesla, 1996).

En las dos últimas décadas las concentraciones de gases de efecto invernadero (GEI) aumentaron su concentración en la atmosfera en cantidades considerables que rompieron el equilibrio natural de la temperatura de la tierra, debido principalmente por el consumo de combustibles fósiles, tala y quema indiscriminada de bosques (Alonso, 2013).

La acción antropogénica sobre el medio

Desde los albores de la historia las acciones del hombre fue introduciendo cada vez agresivas y notorias alteraciones en el equilibrio ecológico, agravando la problemática con la llegada de la revolución industrial se genera un problema de carácter global, afectando a toda la tierra con la introducción de sustancias nuevas no naturales, la utilización de recursos no renovables en forma masiva y la aparición de las poblaciones urbanas a partir de las rurales y el comienzo de la utilización de diferentes métodos dando lugar al empleo de energía provenientes de combustibles fósiles.

Los recursos naturales son el conjunto de materias de que dispone la sociedad para asegurar su subsistencia y bienestar; es decir los recursos naturales son elementos procedentes de la naturaleza que son utilizados en su estado bruto o transformado por la humanidad para satisfacer sus necesidades de todo tipo u obtener un beneficio económico. Cualquier recurso puede degradarse, lo cual implica perdida de aptitud de uso.

La degradación suele ser consecuencia de los cambios cualitativos y cuantitativos introducidos paralelamente a su utilización fenómenos como la intensidad de los aprovechamientos o los procesos de contaminación están en la base de tal degradación (Cáncer, 1999).

Ciclo de carbono

Los bosques pueden absorber grandes cantidades de dióxido de carbono que es el principal gas de efecto invernadero, a razón de este hecho en los años nace un gran interés para incrementar el contenido de carbono por medio del aumento de la cobertura vegetal, mediante la forestación, la reforestación, la agroforestería y otros métodos de manejo del suelo (H. J. de Jong et al., 2007). Los bosques asimilan dióxido de carbono mediante el proceso de fotosíntesis, captura y conservan carbono con un flujo anual 90% de carbono entre la atmosfera y la superficie de la tierra (Masera et al., 1997).

El carbono es un componente primordial de todos compuestos orgánicos que se encuentra en constante circulación entre la materia viva y muerta. Todas las plantas verdes tienen la capacidad de fijar carbono atmosférico a través de la fotosíntesis que pasan a formar parte de la estructura de las plantas en forma de biomasa, pero con la muerte de las plantas y su propia respiración devuelven a la atmosfera el carbono absorbido. El ciclo de carbono muy complejo debido a la fijación del carbono atmosférico por la fotosíntesis de las plantas y su posterior liberación de las mismas por medio de la respiración (Montero et al., 2005).

En el proceso de fotosíntesis la energía solar catalizado, el CO₂ y el agua reaccionan para formar carbohidratos y liberar oxígeno a la atmósfera. En este proceso una parte de los carbohidratos se consumen directamente para suministrar energía a la planta, y el CO₂ liberado como producto de este proceso lo hace a

través de las hojas, ramas, fuste o raíces. Por su parte los animales consumen los carbohidratos y liberan CO₂, y finalmente las y los animales mueren y pasan a ser descompuestos por los microorganismos los que hace que el carbono se oxide en CO₂, para luego retornar a la atmosfera nuevamente (Schimel, 1995). La fijación de carbono por bacterias y animales contribuye a disminuir la cantidad de dióxido de carbono, pero en cantidades pequeñas en comparación con las plantas, a la vez todos organismos que mueren son descompuestos por sedimentación y sufren cambios químicos para formar turba. Se considera carbono capturado desde que forma parte de la estructura vegetal hasta que es retornado nuevamente a la atmosfera mediante procesos de descomposición y quema de biomasa, así es que el CO₂ fluye para regresar al ciclo de carbono (Smith et al., 1993).

El CO₂ es un gas de efecto invernadero que tiene la función de mantener la temperatura de la tierra en equilibrio. La concentración de carbono atmosférico especialmente el CO₂ está controlada por la circulación de carbono entre la tierra y la atmosfera, pero debido a las malas prácticas antropogénicas las concentraciones de CO₂ fueron en aumento provocando un incremento en la temperatura global de la tierra en 0.74 °C, esto trajo como consecuencia un impacto sobre el clima de la tierra ocasionando variabilidad climática. Pero resaltar la función de los bosques que almacenan grandes cantidades de carbono en la parte aérea (biomasa), hojarasca y en el suelo contribuyendo en el control de la concentración del CO₂ de la atmosfera (Ryan et al., 2010).

La capacidad de fijación de carbono mediante el proceso biótico es una de las alternativas para reducir la cantidad de concentración de CO₂ atmosférico mediante la absorción de este gas por la vegetación por medio del proceso de fotosíntesis son capaces de almacenar carbono en forma de biomasa vegetal que

posteriormente se convierten en materia orgánica mediante proceso de descomposición. Para conocer la cantidad de biomasa de las especies arbóreas hay que es estimar la cantidad de carbono que almacena un bosque que presta servicios ambientales por consiguiente Es una de las estrategias viables para el manejo de los recursos naturales y para reducir los gases de efecto invernadero (Avendaño et al., 2009).

La fotosíntesis es el proceso por el cual las plantas verdes usan dióxido de carbono (CO_2), agua (H_2O) y la luz solar para hacer su propia comida. La palabra fotosíntesis significa “juntar con luz”. Cuando todos estos los componentes se juntan producen azúcar y oxígeno (O_2).

El carbono en los ecosistemas terrestres

El crecimiento de la población que continúa aumentando tiene consecuencias para aumentar todos los sectores de las necesidades de la vida, incluida la necesidad de alimentos y madera. En un esfuerzo por satisfacer la necesidad de alimentos y madera, fomenta la tala de bosques para tierras agrícolas e industriales. Los cambios en los sistemas de uso de la tierra provocan una disminución de las reservas de carbono en un ecosistema, debido a la rápida pérdida de biomasa aérea y la disminución gradual de la materia orgánica del suelo (Albrecht y Kandji, 2003).

Los cambios en el ecosistema tendrán un impacto en el ciclo geoquímico, en las emisiones de gases de efecto invernadero que afectarán el clima global. El sistema agrícola reducirá el nivel de materia orgánica del suelo y contribuirá a la adición de concentraciones de CO_2 (Locatelli et al., 2009).

El carbono en los ecosistemas terrestres se encuentra en la biomasa vegetal y en el suelo en forma de carbono orgánico edáfico (substancias húmicas), el 50%

del total de carbono de los ecosistemas terrestres se encuentra en los suelos y en la biomasa de los ecosistemas forestales, los sistemas agrícolas y praderas se encuentran 17 y el 33 % del carbono respectivamente. El mayor porcentaje de carbono acumulado por los bosques sustenta su valiosa importancia de estos ecosistemas en el momento de considerar la captura de carbono. Los bosques tropicales y los boreales son los que acumulan grandes cantidades de carbono debido a la distribución interna del carbono que es muy diferente en estos ecosistemas, mientras que en las zonas templadas y frías acumulan cantidades mucho más superiores en la vegetación que el suelo (Gallardo & Merino, 2007).

En este contexto la dinámica del clima terrestre está directamente influenciada por la actividad de uso de suelo del hombre la cual modifica la disponibilidad o cantidad de biomasa en la vegetación y en el suelo, por consiguiente, alterar la cantidad de carbono almacenado y emitido para la atmósfera.

Reservorios terrestres de carbono

Las reservas terrestres de carbono en un ecosistema se encuentran en los siguientes:

Biomasa de plantas vivas: comprende tronco, ramas y hojas árboles vivos, también la vegetación herbácea. En suelos agrícolas abarca árboles, cultivos y malezas.

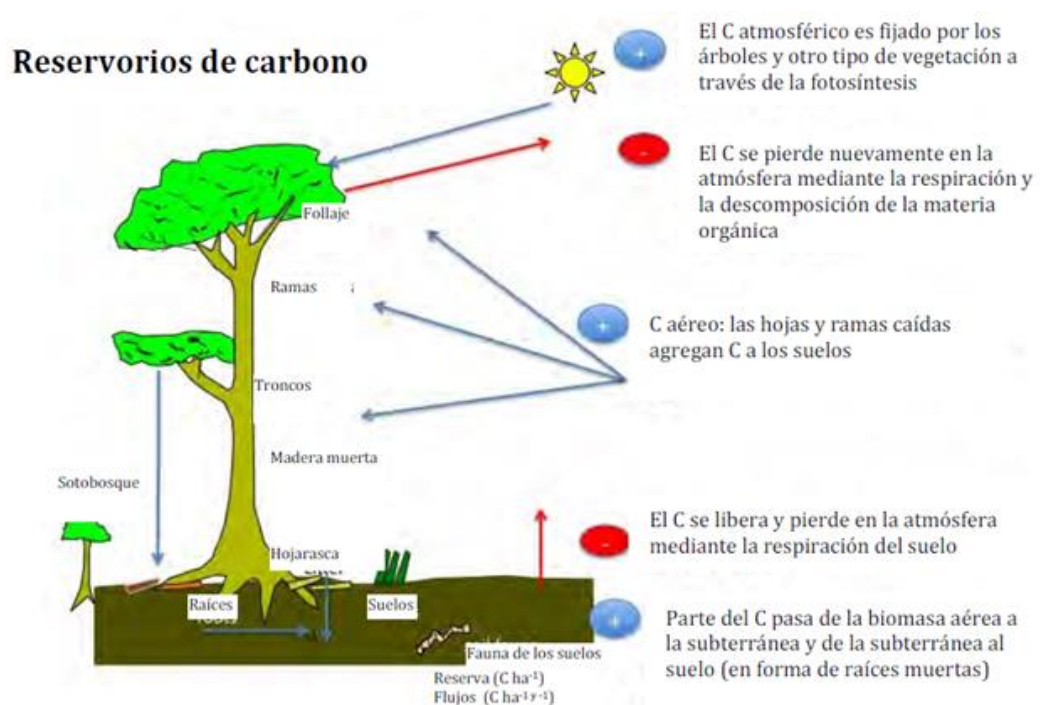
Biomasa de plantas muertas: comprende la biomasa subterránea como raíces, fauna del suelo y microorganismos. También incluye a la materia orgánica muerta (necromasa), árboles caídos, tocones hojarasca, entre otros.

Suelo: comprende carbono orgánico e inorgánico presente en el suelo como materia orgánica de la tierra y en cantidades mínimas en la biomasa animal y de microorganismos.

Sumideros terrestres de carbono: son el carbono que contienen los ecosistemas forestales en las siguientes partes la vegetación viva, materia orgánica en descomposición y suelo (Amescua & Sandoval, 2004).

Figura 1

Reservorios de carbono



Tomado de (White & Velarde, 2020).

Sistemas Agroforestales

Los sistemas agroforestales son unidades esbozadas por el hombre que integra componentes abióticos (aire, suelo y agua) y bióticos (animales, árboles y vegetación) entre sí con la finalidad de generar equilibrio del bosque. Los SAF son una práctica sostenible de los sistemas de producción, que mejora la calidad de vida

de la población rural y en consecuencia se orientan a lograr objetivos ecológicos, económicos y sociales (Guevara et al., 2008).

Agroforestería es la integración deliberada de árboles con cultivos agrícolas y/o ganado, ya sea simultánea o secuencialmente en la misma unidad de tierra, que optimiza los beneficios de las interacciones biológicas creadas cuando los árboles o arbustos se combinan deliberadamente con cultivos y/o ganado (Garrett, 1994).

Se basa en la producción de árboles y arbustos dentro y fuera de la finca haciendo uso sostenible de la tierra y gestión de los recursos naturales puesto que la gama de diversidad que se encuentra encima y debajo del suelo brinda estabilidad y resiliencia al sistema a nivel de sitio, el sistema proporciona conectividad con los bosques y otras características del paisaje a nivel del paisaje de la cuenca (Nair, 2011). Estos fundamentos ecológicos de los sistemas agroforestales se manifiestan en la prestación de servicios ambientales como la conservación del suelo, el almacenamiento de carbono, la conservación de la biodiversidad y la mejora de la calidad del agua (Montambault et al., 2006).

La agroforestería es una herramienta primordial para la búsqueda de la seguridad alimentaria y para la conservación de los recursos naturales, gracias a la interacción entre las plantas, animales, suelo, atmosfera y el hombre maximizando sus beneficios económicos, ecológicos y sociales. También la agroforestería contribuye significativamente a diversas funciones productivas y de los servicios ecológicos o de protección (Jiménez et al., 2001).

Los sistemas agroforestales (AFS) proporcionan una serie de bienes de mercado como alimentos, productos de madera, forraje para ganado, bienes y servicios no comerciales incluida la conservación del suelo, la calidad del agua y

del aire mejoramiento y conservación de la biodiversidad y belleza paisajística. Por otra parte los sistemas agroforestales aportan a la economía rural, genera empleo, alivia la pobreza y protege el medioambiente (Alavalapati et al., 2004).

Frente al incremento de carbono atmosférico una de las opciones es almacenarlo en la biosfera terrestre mediante el sistema agroforestal, puesto que las tierras agrícolas en la actualidad son consideradas como sumideros de carbono y en la actualidad son de importancia ecológica porque contribuye a la sostenibilidad de los recursos naturales y a la mitigación del cambio climático (Albrecht & Kandji, 2003).

Los sistemas agroforestales generan atributos específicos debido a la presencia de árboles y arbustos como una herramienta de uso de tierra sostenible de allí la importancia de los árboles. En un SAF existen interacciones variadas entre árboles, cultivos, animales y el hombre de allí depende el éxito de un sistema agroforestal. Para comprender en su integridad un SAF con presencia marcada de árboles, primero se debe examinar bajo qué circunstancias los árboles los pueden beneficiar al suelo, a los cultivos y al hombre (Jiménez et al., 2001).

Eliminar el carbono atmosférico (C) y almacenarlo en la biosfera terrestre es una de las opciones que se han propuesto para compensar las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). Se cree que las tierras agrícolas son un importante sumidero potencial y podrían absorber grandes cantidades de C si los árboles se reintroducen en estos sistemas y se manejan con prudencia junto con cultivos y / o animales. Por lo tanto, la importancia de la agroforestería como sistema de uso de la tierra está recibiendo un reconocimiento más amplio no solo en términos de sostenibilidad agrícola sino también en temas relacionados con el cambio climático (Albrecht & Kandji, 2003).

Finalmente la agroforestería es una técnica diseñada por el hombre donde se practica una asociación sistemática entre plantas herbáceas y leñosas integrando los componentes abióticos (suelo, aire y agua) y bióticos (insectos, plantas, animales y el hombre) con el propósito de lograr objetivos ambientales, económicos y sociales sostenibles en el tiempo y que contribuya a la mitigación del cambio climático como una opción tecnológica limpia de captura y almacenamiento de CO₂ y recuperación de los ecosistemas degradados.

Servicios ambientales de los sistemas agroforestales

Los principales servicios ambientales que brindan los sistemas agroforestales son los siguientes: Mantenimiento de la fertilidad del suelo reducción de la erosión mediante el aporte de material orgánico al suelo, fijación nitrógeno y reciclaje de nutrientes (Harvey et al., 2019).

Captura y almacenamiento de carbono

La cantidad total de carbono contenida en la biomasa y en el suelo se denomina reserva de C o reserva de carbono. La captura consiste en la eliminación y almacenamiento de carbono de la atmosfera en sumideros de carbono como son océanos, vegetación y suelos mediante de procesos físicos y biológicos. Los árboles y arbustos en un SAF pueden incrementar la cantidad de carbono capturado a diferencia de los campos de monocultivo de plantas de cultivo o pastos (Bishaw, 2013).

Los sistemas agroforestales y secuestro de carbono

Una de las consecuencias del crecimiento de la población es el aumento en las necesidades de la vida en todos los sectores en este caso alimentos y madera, el ser humano en un esfuerzo por satisfacer la necesidad de alimentos y madera, fomenta la tala de bosques para tierras agrícolas. Los cambios en los sistemas de

uso de la tierra provocan una disminución de las reservas de carbono en un ecosistema, debido a la rápida pérdida de biomasa aérea y la disminución gradual de la materia orgánica del suelo. Cabe mencionar que la cantidad total de carbono contenida en la biomasa y en el suelo se denomina reserva de carbono y como consecuencia de estas acciones del hombre estos cambios en el ecosistema tendrán un impacto en el ciclo geoquímico, en las emisiones de gases de efecto invernadero que afectarán el clima global. Esta práctica agrícola reducirá el nivel de materia orgánica del suelo y contribuirá a la adición de concentraciones de CO₂ (Arifin, 2001).

En las últimas décadas el impacto global de las actividades humanas sobre el medio ambiente, los problemas ambientales de escala mundial, cambio climático y la conservación de la biodiversidad se han vuelto cada vez más importantes, en la actualidad las funciones de calidad ambiental y servicios ecosistémico que se asocian comúnmente con la agroforestería son el secuestro de carbono, cambio climático, conservación de la biodiversidad, el mejoramiento de la calidad del agua y el mejoramiento del suelo (Bishaw, 2013).

Los sistemas agroforestales se fundamentan en la prestación de servicios ambientales como la conservación del suelo, el almacenamiento de carbono y la conservación de biodiversidad y la mejora de la calidad del agua (Nair, 2011). La capacidad de almacenamiento de C depende de la especie de árbol y arbusto, la densidad de plantación y sobre todo la distribución espacial y la tolerancia de especies herbáceas a la sombra (Harvey et al., 2019).

Los sistemas Agroforestales y la conservación de la biodiversidad

Los SAF contribuyen a la provisión de recursos como plantas y animales propiciando un hábitat manteniendo una interacción en el paisaje del movimiento

fauna diversa así también de semillas y polen haciendo al paisaje poco severo para las especies perennes y disminuye los incendios forestales. Por otra parte, los SAF hay que tener claro que no proveen los mismos hábitats ni nichos ecológicos que proveen los bosques nativos. En este sentido los sistemas agroforestales son una herramienta complementaria para la conservación de la biodiversidad, suelo, flora y mejorar la calidad de agua (Harvey et al., 2019).

Sistemas agroforestales de café y pino

Se define como una serie de técnicas de aprovechamiento de tierra en la que se utiliza arboles forestales con café para el aprovechamiento de beneficios ambientales, económicos y sociales como una alternativa sustentable de producción que mejora la economía familiar y la calidad de vida.

Los sistemas agroforestales de café con sombra diversificada son sistemas potenciales de captura de carbono (Pineda et al., 2005), a su vez mejora la fertilidad del suelo, regula la fenología del cultivo, mejora la calidad organoléptica del café, protege y conserva la biodiversidad mediante la regulación de la microclima, entre otros beneficios (Rubí, 2000).

El mercado de café genera 90 billones de dólares anualmente, 8% de la población mundial están inmersos en el mercado de café desde su siembra hasta su consumo final es por ello se considera el principal producto agrícola de consumo (DaMatta & Rodríguez, 2007).

En el Perú el café es considerado principal producto de agro exportación que genera 43 millones de mano de obra o jornales al año en el contexto mundial el Perú es el séptimo país exportador. El manejo inadecuado del cultivo de café genera la degradación de suelos por el cambio de uso de suelo (de bosque a agrícola) que trae como resultado la alteración de un ecosistema disminuyendo su

capacidad de prestar servicios ambientales, sociales y económicos (Dilas & Mugruza, 2020).

En el VRAEM la agroforestería está establecido bajo el sistema taungya que consiste en sembrar una o dos especies forestales en asocio en el primer año con cultivos transitorios para auto consumo y comercialización, en este sistema la función principal de las especies forestales es la producción de madera. También una de las funciones importantes desde el punto de vista ecológico es la captura y almacenamiento de CO₂ este sistema se encuentra dentro de las 4 tecnologías agroforestales y de mayor producción de café en asociación con *Pinus Tecunumanii* en este sistema (Villagaray & Bautista, 2011).

Los árboles de sombra reducen el estrés del café mejorando las condiciones climáticas adversas y los desequilibrios nutricionales, pero también pueden competir por recursos de crecimiento. Por ejemplo, los árboles de sombra amortiguan las temperaturas altas y bajas extremos hasta en 5 ° C y puede producir hasta 14 Mg ha – 1 año – 1 de hojarasca y poda. La importancia relativa y el efecto general de las diferentes interacciones entre árboles de sombra y café dependen de las condiciones del sitio (suelo / clima), selección de componentes (especie, variedades y procedencias), características subterráneas y aéreas de los árboles y cultivos y prácticas de manejo (Beer et al., 1998).

Descripción de café

Nombre común : café

Nombre científico: *Coffea arabica* L.

Familia : Rubiaceae

Periodo vegetativo: arbusto perenne, empieza producir a 3-4 años.

El arbusto de café puede alcanzar hasta 20 m de altura si crece libremente, pero debido al manejo agronómico, ciclo productivo, las funciones biológicas y metabólicas se encuentran árboles de hasta 3 m de altura con más de 6 años de edad.

El café peruano se cultiva entre los 1.000 y los 1800 m.s.n.m, esta área representa un 75% de producción de café del Perú con rendimientos de 752 kg/ha promedio. El café es un grano muy valorado a nivel del mercado internacional los principales consumidores son los países de Estados Unidos, Europa y países asiáticos. En el Perú se produce el café Arabica con una densidad de plantas de 2000 cafetos/ ha establecidos en parcelas bajo sombra o en sistemas agroforestales.

El cultivo de café en sistemas agroforestales produce café de alta calidad física y organoléptica, debido que gracias a la asociación con otras especies el café acumula sustancias aromáticas mediante simbiosis y el proceso fisiológico es por ello es primordial conocer el componente del sistema agroforestal. La densidad de siembra está en función de la topografía del terreno, la variedad y la tecnología en sistemas agroforestales de café + pinus tecunumanii es de 2 m x 1.20 m, 1.8 m x 1.5 m.

Descripción de Pino Tecunumanii

Nombre común : Pino Tecunumanii

Nombre científico: Pinus Tecunumanii

Familia : Pinaceae

Esta especie de pino tiene un crecimiento rápido alcanza alturas de hasta 55m con diámetro de altura de pecho (DAP) de 50 a 90 cm, posee un fuste recto cilíndrico y limpio de ramas hasta 60% de su altura, el corte propicio esta entre 15

a 25 años. Su madera es dura y moderadamente pesada de color castaño amarillenta.

El pino tecunumanii por ser una especie sobresaliente de crecimiento rápido y fuste cilíndrico es considerado como una opción potencial para la forestación y sobre todo para la agroforestería debido a su buen comportamiento con café que genera una buena sombra y de baja competencia.

Medición del carbono

En este estudio se tomó en cuenta la metodología propuesta por The World Agroforestry Centre (ICRAF), que es un centro de excelencia científica y de desarrollo que aprovecha los beneficios de los árboles para las personas y el medio ambiente. Esta metodología consiste en estimar la captura de carbono en las diferentes partes del árbol mediante ecuaciones alométricas de manera indirecta sin derivar el árbol.

Los ecosistemas forestales son reservorios de carbono importantes por que retienen grandes cantidades de CO₂, por medio del proceso de fotosíntesis forma biomasa aérea que está en función de la población y densidad de cada comunidad vegetal, de esta manera contribuye en la mitigación del cambio climático. La medición de carbono es importante tener en cuenta la biomasa, permite determinar la cantidad total de stock de carbono almacenado, fijado y su potencial de carbono que puede ser liberado a la atmósfera en una determinada superficie de un bosque.

Para la medición y cuantificación de carbono es importante tener presente que se pretende evaluar el stock de carbono o el flujo de carbono de acuerdo a esta premisa existe dos metodologías que a continuación se detalla:

Método destructivo: consiste en medir los parámetros básicos de un árbol mediante el pesaje directo de los diferentes componentes de un bosque mediante

una balanza previo derribo del árbol. Los parámetros a medir son diámetro a la altura del pecho (DAP, cm), altura total (AT, m), diámetro de copa (DC, m) y longitud de copa (LC, m) (Ruiz et al., 2014). Se aplica para los componentes menores como el peso de arbustos, hierbas, árboles con diámetro menor a 3 cm, madera muerta con diámetro menor a 10 cm, hojarasca y raíces finas. Para los árboles de tamaño mayor se utiliza para obtener o verificar ecuaciones alométricas que relacionan la biomasa del árbol con variables medibles en el bosque como el diámetro del árbol. En este caso, se prueba estadísticamente cuál de las variables medidas está más relacionada con la biomasa (Honorio y Baker, 2010).

Método indirecto: Consiste en cubicar y estimar el volumen de la biomasa o partes del árbol mediante el uso de ecuaciones alométricas, sin necesidad de derribar los árboles, generalmente se utiliza cuando existen árboles de grandes dimensiones y en casos en los que se requiere conocer el carbono de ecosistema o bosque (Ruiz et al., 2014).

2.3. Definición de términos básicos.

Agrobiodiversidad: la diversidad de plantas, insectos y biota del suelo que se encuentran en sistemas cultivados.

Biomasa: la masa de tejidos de los organismos vivos en una población, ecosistema o unidad espacial.

Bosque: tierra dotada de árboles con altura superior a 5 metros.

Sistemas agroforestales: sistemas mixtos de cultivos y árboles que proporcionan madera, productos forestales no madereros, alimentos, combustible, forraje y refugio.

Biodiversidad: variedad de plantas, animales y microorganismos vivientes que se encuentran en un ecosistema.

Captura de carbono: Extracción y almacenamiento de carbono atmosférico en reservas de carbono como océanos, bosques y la tierra por medio de procesos físicos y biológicos como la fotosíntesis.

El carbono orgánico del suelo (COS): es la cantidad de carbono almacenado en el suelo proveniente de materia orgánica presente en el suelo y está vinculado con la cantidad y disponibilidad de nutrientes del suelo, al aportar elementos como el N cuyo aporte mineral es normalmente deficitario.

Carbono de la biomasa aérea: es la cantidad de carbono contenido en la parte aérea de un árbol, según estudio el 50 % de carbono corresponde a la biomasa, pero esto depende a la especie y tejido del árbol.

Carbono de necromasa: es el carbono proveniente de la descomposición de restos de árboles con hojarascas tocones entre otros, representa de 14 al 40% de almacenamiento de carbono.

Deforestación: cambio de uso de tierra de los bosques o la reducción de árboles en un bosque natural.

Dióxido de carbono: gas de efecto invernadero constituido por moléculas de carbono y oxígeno.

Diversidad: La variedad y abundancia relativa de diferentes entidades en una muestra.

Ecosistema: un complejo dinámico de plantas, animales y microorganismos, comunidades y su entorno no vivo interactuando como una unidad Funcional

Degradación de los ecosistemas: reducción persistente de la capacidad de proporcionar servicios ecosistémicos.

Descomposición: El proceso ecológico llevado a cabo principalmente por microbios que conduce a una transformación de materia orgánica muerta en materia inorgánica.

Desertificación: degradación de la tierra en las tierras secas como resultado de diversos factores, incluidas las variaciones climáticas y las actividades humanas.

Servicios ambientales: son los beneficios que obtiene el hombre de los ecosistemas.

Forestación: Plantación de bosques en tierras que históricamente no han contenido bosques.

Reservas de carbono: cantidad de carbono en sistema con capacidad de almacenar y liberar carbono.

Hojarasca: conjunto de hojas secas y muertas que caen de las plantas y que cubren el suelo.

Perturbación: Un movimiento impuesto de un sistema lejos de su estado actual.

Simbiosis: Relación estrecha y generalmente obligatoria entre dos organismos de diferentes especies, no necesariamente en beneficio mutuo.

Sostenibilidad: una característica o estado mediante el cual las necesidades de la población local y presente pueden satisfacerse sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras o poblaciones en otros lugares para satisfacer sus necesidades.

Servicios de regulación: Los beneficios que se obtienen de la regulación de procesos de los ecosistemas, incluida, por ejemplo, la regulación del clima, el agua y algunas enfermedades humanas.

2.4. Formulación de Hipótesis

La presente investigación tiene una hipótesis implícita, por ser una investigación de nivel descriptivo y de una sola variable.

2.5. Identificación de Variables.

La variable de la investigación es el carbono almacenado

2.6. Definición Operacional de variables e indicadores.

Tabla 1

Operacionalización de variables

VARIABLE	DEFINICION CONCEPTUAL	DEFINICION OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORE S
Almacenamiento de Carbono	Proceso de eliminación de carbono atmosférico mediante sumideros de carbono principalmente los árboles y arbustos con el objeto de reducir las emisiones de CO ₂ generadas por las actividades antropogénicas.	La captura de carbono se determinará teniendo en cuenta la metodología ICRAF, de la cual se obtendrá información de las medidas dasométricas de las unidades de estudio y con esto estimar la cantidad de carbono almacenado.	Sistema agroforestal Biomasa aérea Necromasa Suelo	Carbono total capturado del Sistema agroforestal Carbono total de la biomasa aérea Carbono total de la necromasa Carbono total del Suelo

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

3.1. Tipo de investigación

Este estudio es una investigación básica porque los resultados están basados en hechos que se observaron y miden de manera directa y objetiva, sirve como base para otras investigaciones (Nieto, 2018)

3.2. Nivel de investigación

Esta investigación se enfoca en el nivel descriptivo. Los estudios descriptivos miden y evalúan una variedad de componentes o fenómenos a investigar, su objetivo no es relacionar las variables medidas, si no selecciona diversas cuestiones para luego medir con rigurosa precisión las variables de forma independiente. Desde un enfoque científico, describir es medir (R. Hernández et al., 2014).

3.3. Métodos de investigación

Esta investigación obedece método inductivo porque que parte de lo particular (extrae propiedades, atributos, cantidades, magnitudes y otras características de un caso particular) y las lleva hacia lo general (induce que lo

general también tiene esas propiedades o características). Y de un enfoque cuantitativo se concentra en medir variables y magnitudes de los distintos aspectos del problema (Casallas, 2020).

La presente investigación se desarrolló en un sistema agroforestal de Coffea arábica + Pinustecunumanii de una extensión de 1ha de propiedad del agricultor Edwin Huamán Gamboa que está ubicado el anexo de Rosaspata comprensión del distrito de Anco provincia de La Mar, departamento de Ayacucho

La metodología utilizada para la determinación de carbono fue de acuerdo a la Guía para la determinación de carbono en pequeñas propiedades rurales desarrollado por el Centro Internacional de Investigación Agroforestal (ICRAF).

Cálculo de la biomasa aérea

Para el cálculo de carbono almacenado en la biomasa aérea de café se utilizó la siguiente ecuación alométrica propuesto por Hairiah, (2011).

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

Donde:

Y = Biomasa aérea en (Kg/árbol)

0.2811 = constante

DAP = diámetro a altura de pecho (cm)

2.0635 = constante exponencial

La determinación de la biomasa aérea en pino (Kg/árbol) se utilizó la siguiente ecuación alométrica propuesto por Macdicken, (1997)

$$Y = 0.1184 * DAP^{2.53}$$

Donde:

Y = Biomasa aérea en (Kg/árbol)

0.1184 = constante

DAP = diámetro a altura de pecho (cm)

2.53 = constante exponencial

Para la determinación de la biomasa por hectárea se utilizó la siguiente fórmula

$$\mathbf{BAVT (Tn/Ha) = BTAV * 0,1}$$

Donde:

BAVT = Biomasa árboles vivos en Tn/Ha

BTAV = Biomasa total en parcelas de 10 m por 25 m

0,1 = Factor de conversión

El cálculo de carbono en necromasa

El carbono de la necromasa se calculó utilizando la siguiente expresión:

$$\mathbf{CH = (Phs - Pss)/Phs}$$

Donde:

CH: Contenido de humedad

Phs: Peso húmedo de la sub muestra (kg)

PSS: Peso seco de la sub muestra (kg)

Calculado el contenido de humedad de cada una de las muestras posteriormente se procedió calcular la biomasa de la necromasa utilizando la siguiente expresión:

$$\mathbf{Y = Pht - (Pht * CH)}$$

Donde:

Y = Biomasa de la necromasa (kg)

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

CH = Contenido de Humedad

Obtenido los valores de la necromasa se multiplicó por 0.001 y 0.50 para convertir a toneladas de carbono capturado. Finalmente, este valor se divide por el total de parcelas muestreadas (5m) luego se multiplica por 10 000m² obteniéndose tC/ha.

Cálculo de carbono en el suelo (tC/ha)

Para el cálculo de carbono en el suelo primero se calculó la densidad aparente (g/cc) mediante la siguiente expresión:

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

Donde:

DA = Densidad Aparente (g/cc)

PSN = Peso seco del suelo dentro del cilindro

VCH = Volumen del cilindro (constante).

Luego se pasó a calcular el peso del volumen del suelo mediante la siguiente expresión:

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

Donde:

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

DA = Densidad Aparente

Ps = Espesor o profundidad del horizonte del suelo

10000 = Constante

Finalmente se procedió a calcular el 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

Determinación de carbono total almacenado del sistema agroforestal

El carbono total almacenado por el sistema agroforestal de Coffea arábica + Pinustecunumanii se calculó mediante la siguiente expresión:

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

Donde:

CBV = carbono en la biomasa vegetal total

BAVT = biomasa aérea vegetal total

Y = carbono en necromasa

COS = contenido de carbono orgánico en el suelo

3.4. Diseño de investigación.

Esta investigación obedece al diseño no experimental, descriptivo y transversal porque se observan los fenómenos tal como ocurren en la naturaleza sin manipular las variables deliberadamente, La variable independiente ocurre y no es posible manipularlo, no se tiene control directo sobre dichas variables y no se puede influir sobre ellas porque ya sucedieron al igual que sus efectos. Transversal recolecta datos en un solo momento y en un tiempo único y tiene como objetivo indagar las incidencias de las modalidades o niveles de una o más variables en la población (R. Hernández et al., 2014).

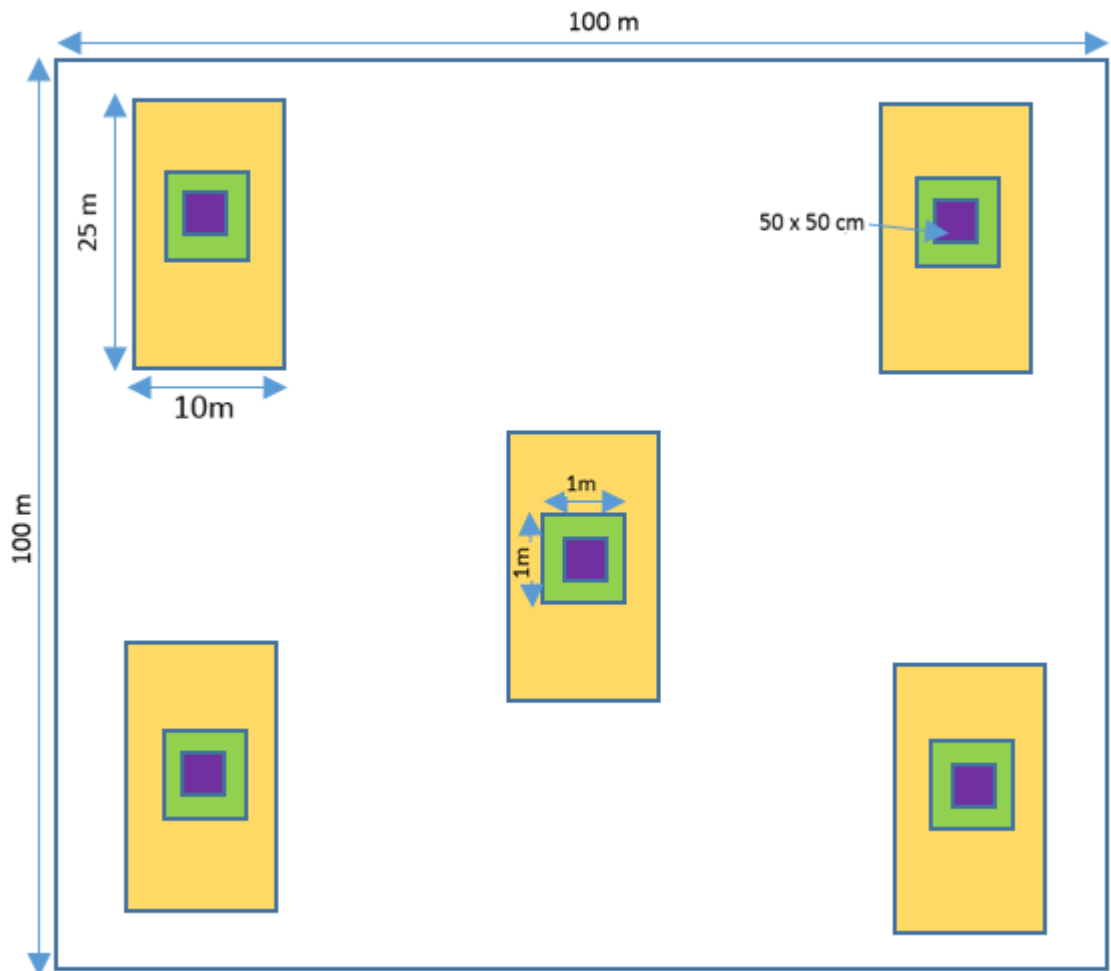
3.5. Población y muestra

Población: está constituida por una hectárea de sistemas agroforestales de café y pino de 7 años de edad, para el café la densidad de siembra es de 5000 plantas por Ha con un distanciamiento de 2m x 1m, para pino la densidad de siembra es 278 árboles/Ha en un distanciamiento de 6m x 6m.

Muestra: la muestra estará constituida por 5 parcelas de 25 x10 m para el caso de biomasa aérea, para el necromasa es 5 parcelas de 1x1 m y para suelo 5 parcelas de 0.5 x 0.5 m distribuidas en forma aleatoria.

Figura 2

Distribución de parcelas de muestreo



3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Técnicas de la Investigación

La información de la biomasa y carbono almacenado se obtiene mediante la observación directa y medición de las unidades muestrales y su registro correspondiente de los parámetros dasométricos en el inventario forestal y finalmente se aplica las ecuaciones alométricas para la estimación de carbono.

Instrumentos de la Investigación

Los instrumentos que se utilizaron para la obtención de información de campo serán los siguientes:

- Geoposicionador (GPS)

- Clinómetro
- Palas y excavadores
- Bolsas plásticas
- Cinta métrica de 50 m
- Machetes
- Cordel de 100 m
- Balanza
- Cámara fotográfica
- Fichas de campo.

3.7. Técnicas de procesamiento y análisis de datos

Para el procesamiento y análisis de datos se aplicará estadística descriptiva previo agrupación y estructuración de los datos de acuerdo al problema y objetivos de la investigación en el siguiente orden tabulación de resultados y organización visual (tablas, lista y gráficos).

3.8. Tratamiento Estadístico.

El tratamiento estadístico se realizó por medio gráficos, tablas y cuadros, luego se describe los valores de los datos y su correspondiente interpretación teniendo en cuenta el problema de la investigación, objetivos y sobre todo el marco teórico.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Descripción del trabajo de campo.

Para desarrollo de la investigación se tuvo tres etapas:

Etapas preliminar

Esta etapa consistió en la ubicación y reconocimiento de la parcela a estudiar y concertación con el propietario, posteriormente se procedió a elaborar las fichas de campo y disponer los instrumentos y equipos necesarios para el desarrollo de la toma de datos.

Etapas de campo

Esta etapa consistió en la toma de muestras y mediciones en campo de acuerdo a la “Guía para la determinación de carbono en pequeñas propiedades rurales” propuesto por el Centro Internacional de Investigación Agroforestal (ICARF, 2009), a continuación, se describe los pasos seguidos en la toma de información:

Para la delimitación del área de estudio se realizó por medio de un hilo de nilón previamente medido con un flexómetro un área total de 100 x 100 obteniendo un área total de 10 000 m² donde cada vértice fue georreferenciado con la ayuda de GPS. Una vez delimitado el área del estudio se trazó cinco parcelas de 25 x 10 m de una extensión de 250 m² ubicado estratégicamente tal como se muestra en la figura en este cuadrante se midió el diámetro a la altura del pecho en *Coffea arabica* a una altura de 30 cm del nivel del suelo, para caso de *Pinus tecuman* se hizo a una altura de 1.3 metros.

Dentro de las parcelas de 250 m² se trazó parcelas de 1x1m (1m²) de donde se tomó la muestra para determinar la necromasa todos los distritos y hojarascas en el interior de la parcela fueron recolectados y homogenizados para luego secar a temperatura ambiental y sacar solo una muestra de 200g finalmente se embolso y rotulo dichas muestras para envió a laboratorio.

Dentro de las parcelas de 1 m² se estableció parcelas de 50 x 50cm (250 cm²) de donde se extrajo muestras de suelo para la medición de densidad aparente de una profundidad de 30 cm con la ayuda de un tubo metálico de volumen conocido.

Etapas de gabinete

Esta etapa consistió en procesar y sistematizar los datos obtenidos del trabajo de campo y análisis muestras en laboratorio para luego presentar mediante tablas y gráficos, que posteriormente servirán para el análisis descriptivo e interpretación de los resultados.

4.2. Presentación, análisis e interpretación de resultados.

A continuación, se presentan los resultados obtenidos de las diversas etapas de este trabajo de investigación

4.2.1. Carbono almacenado por la biomasa aérea

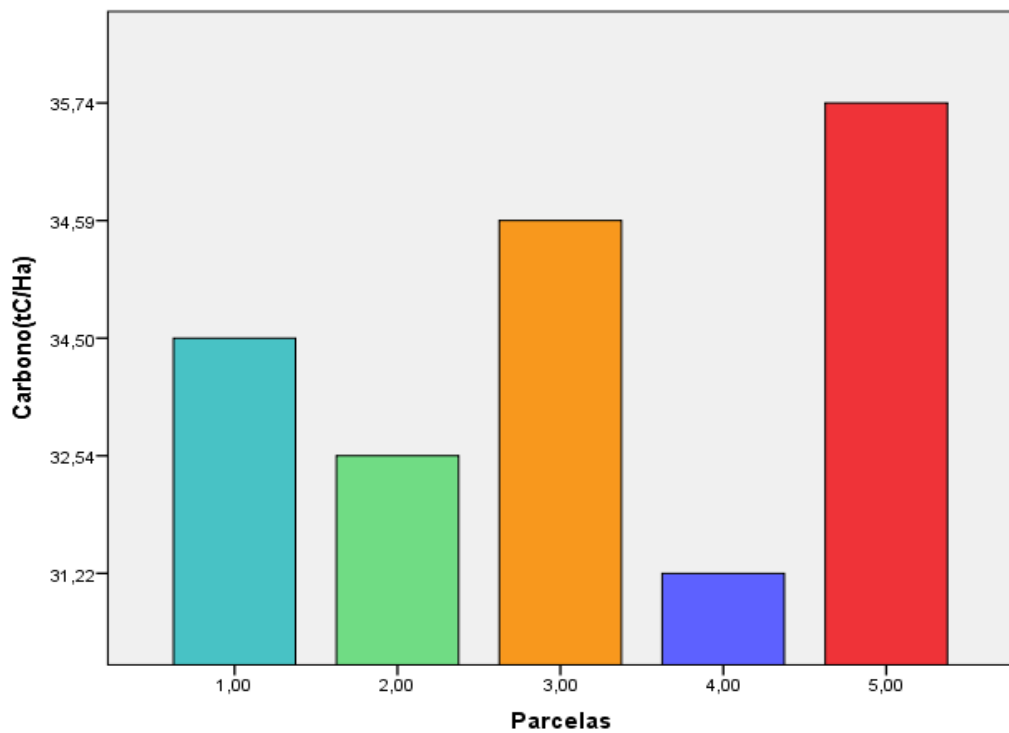
Tabla 2

Carbono de la Biomasa Aérea

Parcelas	Carbono(tC/Ha)
1	34.50
2	32.54
3	34.59
4	31.22
5	35.74

Figura 3

Carbono de la Biomasa Aérea



Interpretación: De la Tabla 2 y Figura 3 se desprende que la parcela 5 se obtuvo el mayor valor de carbono en la biomasa aérea de 35.74 tC/Ha, mientras que el valor menor de carbono almacenado se obtuvo en la parcela 4 con 31.22 tC/Ha.

4.2.2. *Carbono almacenado por la necromasa*

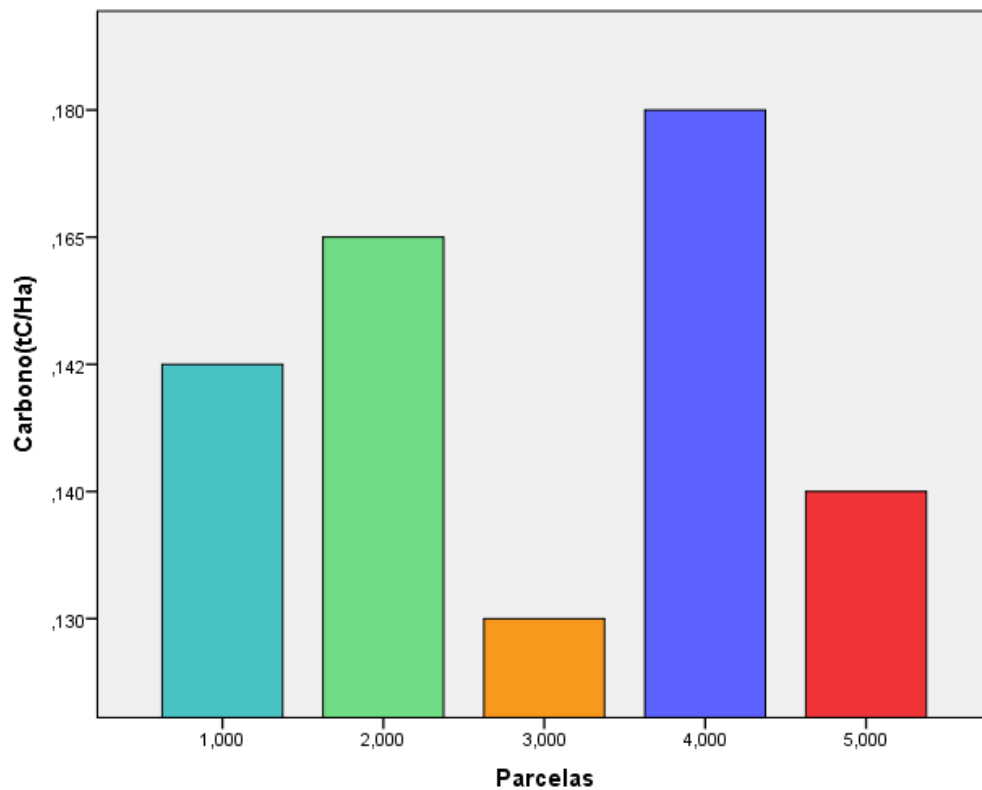
Tabla 3

Carbono almacenado por la necromasa

Parcelas	Carbono(tC/Ha)
1	0.142
2	0.165
3	0.130
4	0.180
5	0.140

Figura 4

Carbono almacenado por la necromasa



Interpretación: En la Tabla 3 y Figura 4 se observa que en la parcela 4 se obtuvo el mayor valor de carbono almacenado en la necromasa de 0.180 tC/Ha, mientras el menor valor se obtuvo en la parcela 3 con 0.130 tC/Ha.

4.2.3. Carbono almacenado en el suelo

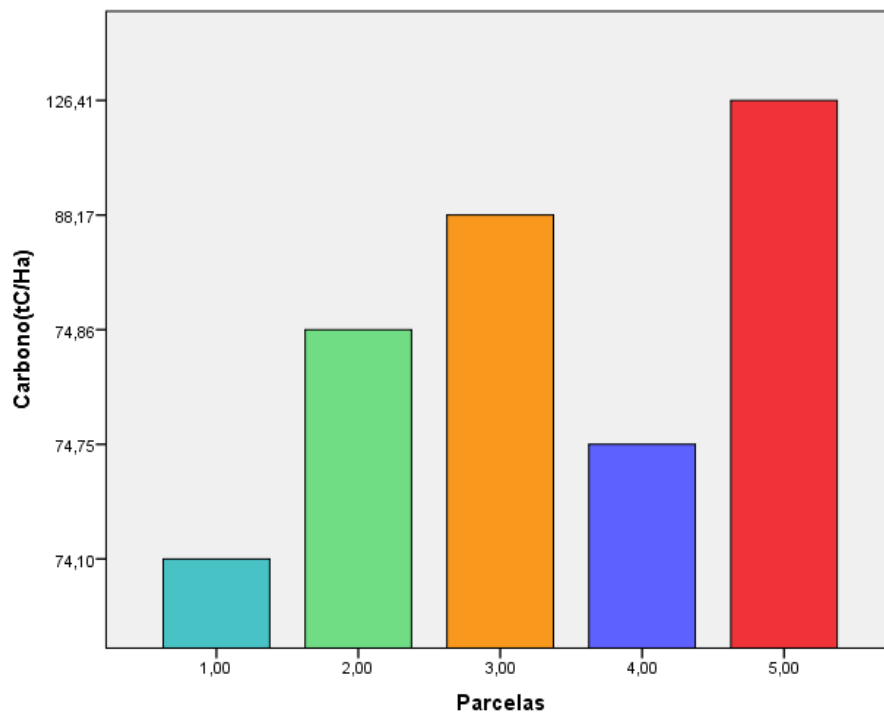
Tabla 4

Carbono almacenado en el suelo

Parcelas	Densidad aparente(g/cm ³)	Profundidad(cm)	Porcentaje de carbono (%)	Carbono almacenado tC/Ha
1	0.800	30	3.09	74.10
2	0.827	30	3.02	74.86
3	0.999	30	2.94	88.17
4	0.942	30	2.65	74.75
5	1.023	30	4.12	126.41

Figura 5

Carbono almacenado en el suelo



Interpretación: De la Tabla 4 y Figura 5, se desprende que en la parcela 5 se obtuvo la mayor cantidad de carbono almacenado con 126.41 tC/Ha, mientras que la menor cantidad de carbono almacenado se obtuvo en la parcela 1 con 74.10 tC/Ha.

4.2.4. Carbono Total almacenado del sistema agroforestal

Tabla 5

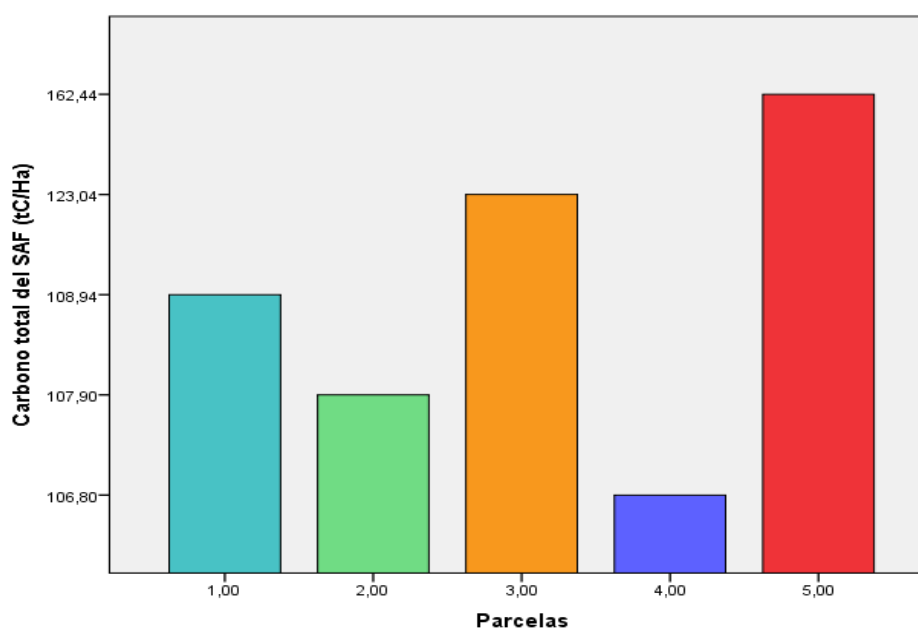
Carbono total almacenado por el sistema agroforestal

Parcelas	Biomasa Aérea (tC/Ha)	Necromasa (tC/Ha)	Carbono Suelo (tC/Ha)	Carbono total del SAF (tC/Ha)
1	34.50	0.14	74.10	108.74
2	32.54	0.17	74.86	107.57
3	34.59	0.13	88.17	122.89
4	31.22	0.18	74.75	106.15
5	35.74	0.14	126.41	162.29
Total	168.59	0.76	438.29	607.64
Promedio	33.72	0.15	87.66	121.53

Interpretación: De la Tabla 5 se desprende que el carbono total almacenado en el sistema agroforestal es 607.64 tC/Ha de las cuales la biomasa aérea almacena 168.59 tC/Ha, necromasa almacena 0.76 tC/Ha y suelo almacena 438.29 tC/Ha. Apreciando que el componente que mayor cantidad de carbono almacena es el suelo seguido de la biomasa aérea.

Figura 6

Carbono total del sistema agroforestal



Interpretación: De la Tabla 4 y Figura 5, se desprende que la mayor cantidad de carbono almacenado es el suelo con un promedio de 87.66 tC/Ha, y la menor cantidad de carbono almacenado se obtuvo en la necromasa 0.15 tC/Ha. Del total de carbono la parcela 5 es la que mayor cantidad almacenó con 162.44 tC/Ha y la menor cantidad almacenó la parcela 4 con 106.80 tC/Ha.

4.3. Discusión de resultados

Según el objetivo general, estimar carbono Almacenado en Sistemas Agroforestales de Café, Distrito de Anco-La Mar, Región Ayacucho, los resultados obtenidos en la tabla 5 evidencia que el almacenamiento de carbono total del SAF es de 609.12 tC/Ha y un promedio de 121.82 tC/Ha, datos que al ser comparados con lo encontrado por Díaz (2019) en su tesis titulada: “Estimación de la captura de carbono en dos sistemas agroforestales de café en la provincia de Rioja, San Martín – Perú,” quien concluyó que los sistemas agroforestales de “pino chuncho” (*Schizolobium amazonicum*) + “café” (*Coffea arabica*) almaceno 790.21tC/Ha y mientras que en el SAF de “eucalipto” (*Eucalyptus torelliana*) + “café” (*Coffea arabica*) almacenó 1130.99 tC/Ha en total, se observó que los resultados son diversas cantidades de carbono almacenado por cada sistema agroforestal esto debido sobre todo al diámetro de altura pecho, necromasa y contenido de carbono del suelo. Con estos resultados se afirma que los sistemas agroforestales almacenan cantidades variados de carbono en sus diversos componentes, tal como manifiesta Albrecht & Kandji (2003), los sistemas agroforestales son considerados sumideros de carbono y en la actualidad son de importancia ecológica porque contribuye a la sostenibilidad de los recursos naturales y a la mitigación del cambio climático.

Según el objetivo específico, Estimar el carbono almacenado en la biomasa aérea en Sistemas Agroforestales de Café, Distrito de Anco-La Mar, Región Ayacucho, 2019. Los resultados obtenidos muestran que la biomasa aérea almacena 168.59 tC/Ha, datos que al ser comparados con lo encontrado por Hurtado (2018) en su tesis titulado: “Reserva de biomasa y captura del carbono de un sistema agroforestal de *Coffea arabica* L. y *Eucalyptus saligna*, Naranjillo, 2018”. Obtuvo que el almacenamiento de carbono en la biomasa aérea de 191.23 tC/Ha concluyendo que este componente es que almaceno mayor cantidad de carbono con respecto a los componentes de biomasa arbustiva-herbácea y hojarasca, pero no del componente suelo. Con estos resultados se afirma que el componente de biomasa aérea depende de la especie de árbol y arbusto, la densidad de plantación y sobre todo la distribución espacial y la tolerancia de especies herbáceas a la sombra tal como afirma Harvey et al. (2019), en nuestro caso no se tuvo mucha diferencia significativa.

Según el objetivo específico, Estimar el carbono Almacenado en la necromasa en Sistemas Agroforestales de Café, Distrito de Anco-La Mar, Región Ayacucho, 2019. Los resultados obtenidos muestran que la necromasa almacena 0.76 tC/Ha, datos que al ser comparados con lo encontrado por Díaz (2019) en su tesis titulada: “Estimación de la captura de carbono en dos sistemas agroforestales de café en la provincia de Rioja, San Martín – Perú. Obtuvo que el almacenamiento de carbono en la necromasa fue de 0.473 tC/Ha y 1.003 tC/Ha respecto a los dos sistemas evaluados concluyendo así que este componente es el que almaceno menor cantidad de carbono con respecto a los componentes de biomasa aérea y suelo. Por otro lado según lo encontrado por (Sarango y Tenempaguay, 2020) en su tesis titulado: “Estimación del carbono almacenado en la biomasa aérea,

necromasa (hojarasca) y en el suelo en un bosque de pino en la comuna Paquizhapa (provincia de Loja)” obtuvo 3.20 tC/Ha en el componente necromasa. Con estos resultados se afirma que el componente de necromasa almacena menor cantidad de carbono con respecto a otros componentes concediendo así con estos autores.

Según el objetivo específico, Estimar carbono almacenado en el suelo en Sistemas Agroforestales de Café, Distrito de Anco-La Mar, Región Ayacucho, 2019. Los resultados obtenidos muestran que el suelo almacena en total 438.29 tC/Ha, datos que al ser comparados con lo encontrado por Díaz (2019) en su tesis titulada: “Estimación de la captura de carbono en dos sistemas agroforestales de café en la provincia de Rioja, San Martín – Perú. Obtuvo que el almacenamiento de carbono en el suelo fue de 728.100 tC/Ha y 1060.694 tC/Ha respecto a los dos sistemas evaluados concluyendo así que este componente es el que almacena mayor cantidad de carbono con respecto a los otros componentes. Con estos resultados se afirma que el componente de suelo almacena gran cantidad de carbono con respecto a otros componentes tal como afirma (Harvey et al., 2019), esta diferencia es debido a la especie de árbol y arbusto, la densidad de plantación y sobre todo la distribución espacial y la tolerancia de especies herbáceas a la sombra. De esta manera se coincide con los resultados obtenidos por estos autores.

CONCLUSIONES

Según el objetivo general en esta tesis se estimó carbono Almacenado en Sistemas Agroforestales de Café, Distrito de Anco-La Mar, Región Ayacucho, fue de 609.12 tC/Ha.

Según el objetivo específico 1, se estimó carbono Almacenado en la biomasa aérea en Sistemas Agroforestales de Café, Distrito de Anco-La Mar, Región Ayacucho, fue de 168.59 tC/Ha.

Según el objetivo específico 2, se estimó carbono Almacenado en la necromasa en Sistemas Agroforestales de Café, Distrito de Anco-La Mar, Región Ayacucho, fue de 0.76 tC/Ha que representa la menor cantidad de carbono almacenado con respecto al componente biomasa aérea y suelo.

Según el objetivo específico 3, se estimó carbono Almacenado en el suelo en Sistemas Agroforestales de Café, Distrito de Anco-La Mar, Región Ayacucho, fue de 438.29 tC/Ha representado la mayor cantidad de carbono almacenado con respecto al componente biomasa aérea y necromasa.

RECOMENDACIONES

Los sistemas agroforestales son una alternativa sostenible de manejo de tierras que pueden contribuir a la mitigación del cambio climático mediante la captura de CO², en este contexto se recomienda a todos los agricultores a implementar este tipo de sistemas.

A la Universidad nacional Daniel Alcides Carrión promover la investigación científica en esta materia asociada a diversas especies de cultivos y árboles con la finalidad de tener una metodología de estimación de captura carbono basado en métodos directos (tala) e indirectos (ecuaciones alométricas).

A las municipalidades y todos los sectores dedicados al fomento y promoción del cultivo de café propiciar, difundir y sensibilizar la importancia de los sistemas agroforestales debido a su gran importancia ambiental económico y social.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alavalapati, J., Shrestha, R., Stainback, G., & Matta, J. (2004). Agroforestry development: An environmental economic perspective. *Agroforestry Systems*, 61-62, 299-310. <https://doi.org/10.1023/B:AGFO.0000029006.64395.72>
- Albrecht, A., & Kandji, S. T. (2003). Carbon sequestration in tropical agroforestry systems. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 99(1), 15-27. [https://doi.org/10.1016/S0167-8809\(03\)00138-5](https://doi.org/10.1016/S0167-8809(03)00138-5)
- Alonso, J. A. (2013). *El Planeta Tierra en peligro: Calentamiento Global, Cambio Climático, Soluciones*. Editorial Club Universitario.
- Amescua, A. V.-M., & Sandoval, A. Y. (2004). La captura de carbono en bosques: ¿una herramienta para la gestión ambiental? *Gaceta Ecológica*, 70, 5-56.
- Arifin, J. (2001). *Estimasi cadangan karbon pada berbagai sistem penggunaan lahan di kecamatan Ngantang, Malang*. World Agroforestry | Transforming Lives and Landscapes with Trees. <https://www.worldagroforestry.org/publication/estimasi-cadangan-karbon-pada-berbagai-sistem-penggunaan-lahan-di-kecamatan-ngantang>
- Avendaño, D. M., Acosta Mireles, M., Carrillo Anzures, F., & Etchevers Barra, J. D. (2009). Estimación de biomasa y carbono en un bosque de *Abies religiosa*. *Revista fitotecnica mexicana*, 32(3), 233-238.
- Barros, V. (2004). *Cambio climático global*. Libros del Zorzal.
- Beer, J., Muschler, R., Kass, D., & Somarriba, E. (1998). Shade management in coffee and cacao plantations. *Agroforestry Systems*, 38, 139-164. <https://doi.org/10.1023/A:1005956528316>
- Bishaw, B. (2013, julio 16). *Agroforestry an Integrated Land-use system to meet agricultural production and environmental protection in the United States 1*.

- Cáncer, L. A. (1999). *La degradación y la protección del paisaje*.
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=117719>
- Casallas, A. (2020). *Investigacion Fundamentos y me—Alma del Cid (1)*.
https://www.academia.edu/23345482/Investigacion_Fundamentos_y_me_-_Alma_del_Cid_1_
- Chuquizuta, P. D., Ruiz, G. F., Salas, C. T., & López, L. A. (2016). Carbono almacenado en cinco sistemas de uso de tierra, en la región San Martín Perú. *RINDERESU*, 1(2), 57-67.
- Ciesla, W. M. (1996). *Cambio climatico bosques y ordenacion forestal: Una vision de conjunto*. Food & Agriculture Org.
- Convención Marco De Las Naciones Unidas Sobre el Cambio Climático*. (2016, octubre 13). [Text]. Observatorio del Principio 10.
<https://observatoriop10.cepal.org/es/tratados/convencion-marco-naciones-unidas-cambio-climatico>
- DaMatta, F., & Rodríguez, N. (2007). Producción sostenible de cafetales en sistemas agroforestales del Neotrópico: Una visión agronómica y ecofisiológica. *Agronomía Colombiana*, 25(1), 113-123.
- Díaz, Lady. (2019). *Estimación de la captura de carbono en dos sistemas agroforestales de café en la provincia de Rioja, San Martín—Perú* [Universidad Católica Sedes Sapientiae]. <http://repositorio.ucss.edu.pe/handle/UCSS/746>
- Dilas, J. O., & Mugruza, C. A. (2020). Instalación de fincas cafetaleras en sistema agroforestal para recuperación y sostenibilidad de suelos degradados de selva alta. *Revista de Investigación de Agroproducción Sustentable*, 4(1), 8-18.
<https://doi.org/10.25127/aps.20201.534>
- Esteban Nieto, N. (2018). *Tipos de Investigación*.

- FAO. (2016). *Boaques y Cambio Climático en el Perú* (Documento de trabajo N.º 14; p. 142). FAO. <http://www.fao.org/3/i5184s/i5184s.pdf>
- Gallardo, J., & Merino, A. (2007). El ciclo del carbono y la dinámica de los sistemas forestales. *El papel de los bosques españoles en la mitigación del cambio climático*, 43-64.
- Garrett, H. E. «Gene». (1994). *Agroforestry: An Integrated Land-Use Management System for Production and Farmland Conservation*. 30.
- Guevara, J. T., Tenorio, A., & Gómez, A. (2008). *Agroforestería: Una estrategia de adaptación al cambio climático : propuesta de adaptación tecnológica del cultivo de café y cacao en respuesta al cambio climático en San Martín*. Soluciones Practicas.
- H. J. de Jong, B., Masera, O., & Hernández, T. (2007, noviembre 15). *Los bosques y selvas como sumederos de carbono*. Opciones de captura de carbono en el sector forestal. <http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones2/libros/437/bernardus.html>
- Hairiah, K. (2011). *Measuring carbon stocks: Across land use systems: a manual*. Published in close cooperation with Brawijaya University and ICALRRD (Indonesian Center for Agricultural Land Resources Research and Development).
- Harvey, C., Ibrahim, M., Harmand, J. M., Somarriba, E., & Jiménez, F. (2019). Servicios ambientales de los sistemas agroforestales. *Agroforestería en las Américas*, 10(37-38), Article 37-38. <http://bco.catie.ac.cr:8087/portal-revistas/index.php/AGRO/article/view/304>
- Hernández, H. E., Andrade, H.-J., Suárez-Salazar, J.-C., Sánchez-A., J.-R., Gutiérrez-S., D.-R., Gutiérrez-García, G.-A., Trujillo-Trujillo, E., Casanoves, F., Hernández-Núñez, H.-E., Andrade, H.-J., Suárez-Salazar, J.-C., Sánchez-A., J.-R., Gutiérrez-S., D.-R., Gutiérrez-García, G.-A., Trujillo-Trujillo, E., & Casanoves, F. (2021).

- Almacenamiento de carbono en sistemas agroforestales en los Llanos Orientales de Colombia. *Revista de Biología Tropical*, 69(1), 352-368.
<https://doi.org/10.15517/rbt.v69i1.42959>
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2014). *Metodología de la Investigación* (Sexta edición). McGraw-Hill.
- Honorio, E., & Baker, T. R. (2010). Manual para el monitoreo del ciclo del carbono en bosques amazónicos. *Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana*.
<http://repositorio.iiap.gob.pe/handle/IIAP/290>
- Houghton, R. A. (2007). Balancing the Global Carbon Budget. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 35(1), 313-347.
<https://doi.org/10.1146/annurev.earth.35.031306.140057>
- Hurtado, P. J. (2020). *Reserva de biomasa y captura del carbono de un sistema agroforestal de Coffea arabica L. y Eucalyptus saligna, Naranjillo, 2018* [Universidad Nacional de San Martín - Tarapoto].
<http://repositorio.unsm.edu.pe/handle/11458/3765>
- Jiménez, F., Muschler, R., & Köpsell, E. (2001). *Funciones y aplicaciones de sistemas agroforestales*. CATIE, Turrialba (Costa Rica). Proyecto Agroforestal.
<http://repositorio.bibliotecaorton.catie.ac.cr:80/handle/11554/2202>
- Jurado, M. A., Ordoñez Jurado, H. R., Ballesteros Possú, W., & Delgado Vargas, I. A. (2019). *Evaluación de captura de carbono en sistemas productivos de café (Coffea arabica L.), Consacá, Nariño – Colombia*. [Monografía]. Facultad de Ciencias Agrícolas. <http://sired.udenar.edu.co/5909/>
- Locatelli, B., Kanninen, M., Brockhaus, M., Colfer, C. J. P., Murdiyarso, D., & Santoso, H. (2009, marzo 4). *Ante un futuro incierto: Cómo se pueden adaptar los bosques*

- y las comunidades al cambio climático*. CIFOR; Center for International Forestry Research (CIFOR). <https://doi.org/10.17528/cifor/002842>
- Macdicken, K. (1997). *A Guide to Monitoring Carbon Storage in Forestry and Agroforestry Projects*.
- Martínez, J., & Fernández, A. (2004). *Cambio climático: Una visión desde México*. Instituto Nacional de Ecología.
- Masera, O., ordoñez, maria de jesus, & Dirzo, R. (1997). Carbon emissions from Mexican forests: Current situation and long-term scenarios. *Climatic Change*, 35, 265-295. <https://doi.org/10.1023/A:1005309908420>
- Masuhara, A., Valdés, E., Pérez, J., Gutiérrez, D., Vázquez, J. C., Pérez, E. S., Hernández, M. de J. J., & García, A. M. (2015). Carbono almacenado en diferentes sistemas agroforestales de café en Huatusco, Veracruz, México. *Revista Amazónica Ciencia y Tecnología*, 4(1), 66-93.
- Montambault, J., Alavalapati, J., & Mercer, D. (2006). *Agroforestry Systems and Valuation Methodologies* (Vol. 2, pp. 1-8). https://doi.org/10.1007/1-4020-2413-4_1
- Montero, G., Ruiz-Peinado, R., & Muñoz, M. (2005). Producción de Biomasa y Fijación de CO₂ Por Los Bosques Españoles. En *Producción De Biomasa Y Fijación De CO₂ Por Los Bosques Españoles*.
- Nair, P. (2011). Agroforestry Systems and Environmental Quality: Introduction. *Journal of environmental quality*, 40, 784-790. <https://doi.org/10.2134/jeq2011.0076>
- Nair, P., & Nair, V. (2014). ‘Solid–fluid–gas’: The state of knowledge on carbon-sequestration potential of agroforestry systems in Africa. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 6, 22-27. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2013.07.014>

- Odar, B. A. (2018). *Evaluación de almacenamiento de carbono en sistemas agroforestales de café (Coffea spp.) En el anexo de Vilaya, distrito de Colcamar, provincia de Luya, Amazonas, 2017-2018* [Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza - UNTRM].
<http://repositorio.untrm.edu.pe/handle/UNTRM/1384>
- Ordóñez, J. A. B., & Masera, O. (2001). Captura de carbono ante el cambio climático. *Madera y Bosques*, 7(1), 3-12. <https://doi.org/10.21829/myb.2001.711314>
- Peris, J. A. (2003). *El Efecto Invernadero, el Cambio Climático, la Crisis Medioambiental y el Futuro de la Tierra*. Real Academia Nac. Medicina.
- Pineda, M. del R., Ortiz-Ceballos, G., Sánchez-Velásquez, L. R., Pineda-López, M. del R., Ortiz-Ceballos, G., & Sánchez-Velásquez, L. R. (2005). Los cafetales y su papel en la captura de carbono: Un servicio ambiental aún no valorado en Veracruz. *Madera y bosques*, 11(2), 3-14.
<https://doi.org/10.21829/myb.2005.1121253>
- Robert, M. (2002). *Captura de carbono en suelos para un mejor manejo de la tierra*. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.
- Rubí, L. R. (2000). Sistemas agroforestales en café produciendo más que una bebida. *Ecofronteras*, 19-19.
- Ruiz, C., Rodríguez, G., Leyva, J. C., & Enríquez, R. (2014). *Metodologías para estimar biomasa y carbono en especies forestales de México*. 12, 9.
- Ryan, M. G., Harmon, M. E., Birdsey, R. A., Giardina, C. P., Heath, L. S., Houghton, R. A., Jackson, R. B., McKinley, D. C., Morrison, J. F., Murray, B. C., Pataki, D. E., & Skog, K. E. (2010). *Síntesis del estado del conocimiento del ciclo de carbono en ecosistemas boscosos de los Estados Unidos*. 20.

- Sánchez, I., & Flores, Y. M. (2019). *Captura de Carbono en Plantación Forestal de Laurel y Sistema Agroforestal Laurel—Café en la Provincia de San Ignacio* [Universidad Nacional de Jaén]. <http://repositorio.unj.edu.pe/handle/UNJ/191>
- Sarango, F. A., & Tenempaguay, W. S. (2020). *Estimación del carbono almacenado en la biomasa aérea, necromasa (hojarasca) y en el suelo en un bosque de pino en la comuna Paquizhapa (provincia de Loja)*. <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/19153>
- Schimel, D. S. (1995). Terrestrial ecosystems and the carbon cycle. *Global Change Biology*, 1(1), 77-91. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.1995.tb00008.x>
- Smith, T., Cramer, W., Dixon, R., Leemans, R., Neilson, R., & Solomon, A. (1993). The Global Terrestrial Carbon Cycle. *Water Air and Soil Pollution*, 70, 19-37. <https://doi.org/10.1007/BF01104986>
- Soto-Pinto, L., Anzueto, M., Mendoza, J., Jimenez-Ferrer, G., & Jong, B. (2010). Carbon Sequestration through Agroforestry in Indigenous Communities of Chiapas, Mexico. *Agroforestry Systems*, 78, 39-51. <https://doi.org/10.1007/s10457-009-9247-5>
- Terán, M. A., Rodríguez, G., Enríquez, J. R., Velasco, V. A., Terán, M., Rodríguez-Ortiz, G., Enríquez-del Valle, J. R., & Velasco-Velasco, V. A. (2018). Biomasa aérea y ecuaciones alométricas en un cafetal en la Sierra Norte de Oaxaca. *Ecosistemas y recursos agropecuarios*, 5(14), 217-226. <https://doi.org/10.19136/era.a5n14.1444>
- Tito, M., Mario, C., & Porro, R. (2009). *Guía para la determinación de carbono en pequeñas propiedades rurales*.
- Trinidad, C. (Ed.). (2019). *Precio al carbono en América Latina: Tendencias y oportunidades* (Primera edición). Sociedad Peruana de Derecho Ambiental.

Uribe, E. (2015). *El cambio climático y sus efectos en la biodiversidad en América Latina*. 86.

Vargas, P. (2009). *El cambio climático y sus efectos en el Perú*. 59.

Villagaray, S. M., & Bautista, E. (2011). Sistemas agroforestales con tecnología limpia en los suelos del VRAEM, Perú. *Acta Nova*, 5(2), 289-311.

Vizzuality. (s. f.). *Huamanga, Ayacucho, Peru Deforestation Rates & Statistics / GFW*.

Recuperado 13 de septiembre de 2021, de
<https://www.globalforestwatch.org/dashboards/country/PER/5/2>

White, D., & Velarde, S. (2020). *Estimación de los costos de oportunidad de REDD*.

https://www.academia.edu/1814756/Estimaci%C3%B3n_de_los_costos_de_opportunidad_de_REDD_-_Manual_de_capacitaci%C3%B3n

ANEXOS:

REGISTRO DE CARBONO ALMACENADO POR BIOMASA AEREA PARCELA 1

N°	Especie	DAP	Biomasa (kg /árbol)	Biomasa (Tn/Ha)	Carbono almacenado (Tn/Ha)
1	café	4.10	5.16	0.52	0.23
2	café	3.99	4.90	0.49	0.22
3	café	3.69	4.17	0.42	0.19
4	café	3.57	3.87	0.39	0.17
5	café	3.07	2.85	0.29	0.13
6	café	3.35	3.41	0.34	0.15
7	café	3.42	3.56	0.36	0.16
8	café	2.72	2.22	0.22	0.10
9	café	3.31	3.32	0.33	0.15
10	café	1.29	0.47	0.05	0.02
11	café	2.92	2.56	0.26	0.12
12	café	4.05	5.04	0.50	0.23
13	café	2.47	1.82	0.18	0.08
14	café	3.57	3.88	0.39	0.17
15	café	2.46	1.80	0.18	0.08
16	café	3.35	3.40	0.34	0.15
17	café	3.36	3.43	0.34	0.15
18	café	2.84	2.41	0.24	0.11
19	café	2.35	1.64	0.16	0.07
20	café	3.26	3.21	0.32	0.14
21	café	3.35	3.41	0.34	0.15
22	café	2.85	2.45	0.24	0.11
23	café	3.41	3.53	0.35	0.16
24	café	2.24	1.48	0.15	0.07
25	café	2.42	1.74	0.17	0.08
26	café	2.15	1.36	0.14	0.06
27	café	1.62	0.76	0.08	0.03
28	café	2.26	1.51	0.15	0.07
29	café	1.99	1.16	0.12	0.05
30	café	2.74	2.24	0.22	0.10
31	café	2.17	1.38	0.14	0.06
32	café	2.13	1.34	0.13	0.06
33	café	2.87	2.48	0.25	0.11
34	café	4.29	5.69	0.57	0.26
35	café	3.88	4.61	0.46	0.21
36	café	2.86	2.46	0.25	0.11
37	café	2.06	1.25	0.12	0.06
38	café	2.20	1.43	0.14	0.06
39	café	3.03	2.77	0.28	0.12
40	café	1.68	0.82	0.08	0.04

41	café	1.46	0.61	0.06	0.03
42	café	4.73	6.93	0.69	0.31
43	café	4.18	5.37	0.54	0.24
44	café	2.37	1.66	0.17	0.07
45	café	2.46	1.80	0.18	0.08
46	café	3.44	3.60	0.36	0.16
47	café	3.07	2.85	0.28	0.13
48	café	2.43	1.75	0.18	0.08
49	café	2.03	1.21	0.12	0.05
50	café	2.91	2.55	0.26	0.11
51	café	3.37	3.45	0.35	0.16
52	café	4.02	4.97	0.50	0.22
53	café	1.40	0.56	0.06	0.03
54	café	1.85	1.00	0.10	0.04
55	café	3.34	3.38	0.34	0.15
56	café	2.97	2.66	0.27	0.12
57	café	2.94	2.60	0.26	0.12
58	café	1.90	1.05	0.11	0.05
59	café	2.64	2.09	0.21	0.09
60	café	2.42	1.74	0.17	0.08
61	café	3.05	2.80	0.28	0.13
62	café	3.44	3.60	0.36	0.16
63	café	1.36	0.53	0.05	0.02
64	café	1.35	0.52	0.05	0.02
65	café	1.59	0.73	0.07	0.03
66	café	2.03	1.21	0.12	0.05
67	café	3.56	3.86	0.39	0.17
68	café	1.41	0.57	0.06	0.03
69	café	2.32	1.59	0.16	0.07
70	café	2.00	1.17	0.12	0.05
71	café	1.02	0.29	0.03	0.01
72	café	2.82	2.39	0.24	0.11
73	café	1.27	0.46	0.05	0.02
74	café	1.92	1.08	0.11	0.05
75	café	2.89	2.52	0.25	0.11
76	café	2.29	1.55	0.16	0.07
77	café	3.39	3.48	0.35	0.16
78	café	1.41	0.57	0.06	0.03
79	café	2.88	2.50	0.25	0.11
80	café	2.07	1.27	0.13	0.06
81	café	2.70	2.18	0.22	0.10
82	café	1.77	0.91	0.09	0.04
83	café	2.96	2.63	0.26	0.12
84	café	1.51	0.66	0.07	0.03
85	café	2.16	1.38	0.14	0.06

86	café	2.49	1.85	0.18	0.08
87	café	3.71	4.20	0.42	0.19
88	café	3.51	3.74	0.37	0.17
89	café	1.48	0.63	0.06	0.03
90	café	3.06	2.82	0.28	0.13
91	café	2.82	2.39	0.24	0.11
92	café	1.29	0.47	0.05	0.02
93	café	1.63	0.77	0.08	0.03
94	café	2.33	1.61	0.16	0.07
95	café	0.87	0.21	0.02	0.01
96	café	3.43	3.57	0.36	0.16
97	café	3.00	2.71	0.27	0.12
98	café	2.61	2.04	0.20	0.09
99	café	2.31	1.59	0.16	0.07
100	café	2.04	1.22	0.12	0.05
101	café	2.07	1.26	0.13	0.06
102	café	1.42	0.58	0.06	0.03
103	café	2.59	2.00	0.20	0.09
104	café	2.26	1.51	0.15	0.07
105	café	1.44	0.60	0.06	0.03
106	café	2.31	1.58	0.16	0.07
107	café	3.13	2.96	0.30	0.13
108	café	3.04	2.79	0.28	0.13
109	café	2.68	2.14	0.21	0.10
110	café	1.96	1.13	0.11	0.05
111	café	2.14	1.35	0.14	0.06
112	café	3.00	2.71	0.27	0.12
113	café	2.84	2.43	0.24	0.11
114	café	2.56	1.95	0.20	0.09
115	café	1.78	0.92	0.09	0.04
116	café	4.09	5.13	0.51	0.23
117	café	2.05	1.23	0.12	0.06
118	café	3.49	3.72	0.37	0.17
119	café	3.42	3.55	0.35	0.16
120	café	3.55	3.84	0.38	0.17
121	pino	12.1	65.08	6.51	2.93
122	pino	12.1	64.81	6.48	2.92
123	pino	11.8	60.98	6.10	2.74
124	pino	12.7	73.45	7.34	3.31
125	pino	11.6	58.96	5.90	2.65
126	pino	14.3	98.53	9.85	4.43
127	pino	12.6	72.44	7.24	3.26

REGISTRO DE CARBONO ALMACENADO POR BIOMASA AEREA PARCELA 2

N°	Especie	DAP	Biomasa (kg /árbol)	Biomasa (Tn/Ha)	Carbono almacenado (Tn/Ha)
1	café	2.48	1.83	0.18	0.08
2	café	1.06	0.32	0.03	0.01
3	café	2.64	2.09	0.21	0.09
4	café	1.09	0.33	0.03	0.02
5	café	2.65	2.10	0.21	0.09
6	café	2.87	2.48	0.25	0.11
7	café	2.46	1.81	0.18	0.08
8	café	2.33	1.60	0.16	0.07
9	café	2.42	1.73	0.17	0.08
10	café	1.12	0.36	0.04	0.02
11	café	1.58	0.72	0.07	0.03
12	café	2.83	2.40	0.24	0.11
13	café	3.18	3.05	0.30	0.14
14	café	2.53	1.91	0.19	0.09
15	café	2.62	2.05	0.21	0.09
16	café	2.26	1.51	0.15	0.07
17	café	2.61	2.03	0.20	0.09
18	café	3.10	2.90	0.29	0.13
19	café	1.50	0.65	0.06	0.03
20	café	2.22	1.46	0.15	0.07
21	café	2.59	2.00	0.20	0.09
22	café	1.99	1.17	0.12	0.05
23	café	1.97	1.13	0.11	0.05
24	café	1.27	0.46	0.05	0.02
25	café	2.24	1.48	0.15	0.07
26	café	1.12	0.35	0.04	0.02
27	café	2.00	1.17	0.12	0.05
28	café	1.99	1.16	0.12	0.05
29	café	2.94	2.60	0.26	0.12
30	café	2.35	1.64	0.16	0.07
31	café	2.14	1.35	0.13	0.06
32	café	2.63	2.07	0.21	0.09
33	café	2.34	1.63	0.16	0.07
34	café	2.67	2.13	0.21	0.10
35	café	2.94	2.60	0.26	0.12
36	café	2.80	2.35	0.24	0.11
37	café	2.10	1.30	0.13	0.06
38	café	3.49	3.70	0.37	0.17
39	café	2.10	1.30	0.13	0.06
40	café	2.40	1.71	0.17	0.08

41	café	2.55	1.94	0.19	0.09
42	café	3.28	3.26	0.33	0.15
43	café	1.86	1.01	0.10	0.05
44	café	2.27	1.53	0.15	0.07
45	café	2.93	2.59	0.26	0.12
46	café	1.88	1.04	0.10	0.05
47	café	0.92	0.23	0.02	0.01
48	café	2.22	1.46	0.15	0.07
49	café	1.88	1.03	0.10	0.05
50	café	2.12	1.33	0.13	0.06
51	café	1.32	0.50	0.05	0.02
52	café	3.28	3.25	0.33	0.15
53	café	2.12	1.33	0.13	0.06
54	café	1.98	1.15	0.12	0.05
55	café	2.05	1.24	0.12	0.06
56	café	2.50	1.87	0.19	0.08
57	café	2.03	1.21	0.12	0.05
58	café	2.21	1.44	0.14	0.06
59	café	2.20	1.44	0.14	0.06
60	café	2.46	1.80	0.18	0.08
61	café	2.80	2.35	0.24	0.11
62	café	2.41	1.72	0.17	0.08
63	café	2.55	1.93	0.19	0.09
64	café	1.74	0.89	0.09	0.04
65	café	2.23	1.47	0.15	0.07
66	café	2.23	1.47	0.15	0.07
67	café	2.48	1.83	0.18	0.08
68	café	2.00	1.18	0.12	0.05
69	café	2.43	1.76	0.18	0.08
70	café	1.16	0.38	0.04	0.02
71	café	1.26	0.45	0.05	0.02
72	café	1.83	0.98	0.10	0.04
73	café	1.62	0.76	0.08	0.03
74	café	1.99	1.17	0.12	0.05
75	café	2.37	1.67	0.17	0.08
76	café	2.59	2.01	0.20	0.09
77	café	2.17	1.39	0.14	0.06
78	café	1.42	0.58	0.06	0.03
79	café	1.66	0.80	0.08	0.04
80	café	2.39	1.70	0.17	0.08
81	café	1.94	1.11	0.11	0.05
82	café	2.72	2.21	0.22	0.10
83	café	2.03	1.22	0.12	0.05
84	café	1.92	1.08	0.11	0.05
85	café	2.54	1.92	0.19	0.09

86	café	2.40	1.71	0.17	0.08
87	café	1.58	0.72	0.07	0.03
88	café	2.45	1.78	0.18	0.08
89	café	2.02	1.20	0.12	0.05
90	café	3.67	4.11	0.41	0.18
91	café	2.99	2.69	0.27	0.12
92	café	2.43	1.75	0.17	0.08
93	café	1.18	0.40	0.04	0.02
94	café	1.81	0.95	0.10	0.04
95	café	2.82	2.39	0.24	0.11
96	café	2.26	1.51	0.15	0.07
97	café	2.99	2.70	0.27	0.12
98	café	1.83	0.98	0.10	0.04
99	café	1.21	0.42	0.04	0.02
100	café	1.29	0.48	0.05	0.02
101	café	2.76	2.28	0.23	0.10
102	café	1.75	0.90	0.09	0.04
103	café	1.46	0.61	0.06	0.03
104	café	2.09	1.28	0.13	0.06
105	café	1.91	1.07	0.11	0.05
106	café	0.96	0.26	0.03	0.01
107	café	0.25	0.02	0.00	0.00
108	café	3.12	2.94	0.29	0.13
109	café	1.95	1.11	0.11	0.05
110	café	1.13	0.36	0.04	0.02
111	pino	7.8	21.54	2.15	0.97
112	pino	15.4	120.24	12.02	5.41
113	pino	14.9	110.84	11.08	4.99
114	pino	15.1	113.20	11.32	5.09
115	pino	12.3	67.33	6.73	3.03
116	pino	10.4	44.82	4.48	2.02
117	pino	13.1	79.10	7.91	3.56

REGISTRO DE CARBONO ALMACENADO POR BIOMASA AEREA PARCELA 3

N°	Especie	DAP	Biomasa (kg /árbol)	Biomasa (Tn/Ha)	Carbono almacenado (Tn/Ha)
1	café	3.28	3.25	0.33	0.15
2	café	2.05	1.23	0.12	0.06
3	café	1.05	0.31	0.03	0.01
4	café	2.41	1.73	0.17	0.08

5	café	1.41	0.57	0.06	0.03
6	café	1.60	0.74	0.07	0.03
7	café	2.38	1.69	0.17	0.08
8	café	2.17	1.39	0.14	0.06
9	café	1.63	0.77	0.08	0.03
10	café	2.20	1.43	0.14	0.06
11	café	3.35	3.41	0.34	0.15
12	café	2.39	1.70	0.17	0.08
13	café	2.11	1.31	0.13	0.06
14	café	0.95	0.25	0.03	0.01
15	café	2.30	1.57	0.16	0.07
16	café	3.47	3.65	0.37	0.16
17	café	3.09	2.89	0.29	0.13
18	café	3.27	3.25	0.32	0.15
19	café	0.94	0.25	0.02	0.01
20	café	0.93	0.24	0.02	0.01
21	café	3.89	4.62	0.46	0.21
22	café	1.72	0.86	0.09	0.04
23	café	2.40	1.71	0.17	0.08
24	café	4.04	5.00	0.50	0.23
25	café	4.82	7.21	0.72	0.32
26	café	1.19	0.40	0.04	0.02
27	café	1.82	0.97	0.10	0.04
28	café	3.90	4.67	0.47	0.21
29	café	1.21	0.42	0.04	0.02
30	café	1.19	0.40	0.04	0.02
31	café	3.57	3.88	0.39	0.17
32	café	2.19	1.41	0.14	0.06
33	café	2.09	1.28	0.13	0.06
34	café	1.08	0.33	0.03	0.01
35	café	3.75	4.30	0.43	0.19
36	café	0.72	0.14	0.01	0.01
37	café	3.33	3.35	0.34	0.15
38	café	2.67	2.13	0.21	0.10
39	café	1.21	0.42	0.04	0.02
40	café	3.28	3.25	0.33	0.15
41	café	1.11	0.35	0.03	0.02
42	café	1.97	1.14	0.11	0.05
43	café	1.79	0.93	0.09	0.04
44	café	0.94	0.25	0.02	0.01
45	café	2.74	2.25	0.23	0.10
46	café	3.47	3.66	0.37	0.16
47	café	3.53	3.80	0.38	0.17
48	café	2.13	1.34	0.13	0.06
49	café	3.04	2.79	0.28	0.13

50	café	1.59	0.73	0.07	0.03
51	café	0.97	0.27	0.03	0.01
52	café	1.96	1.12	0.11	0.05
53	café	1.15	0.38	0.04	0.02
54	café	1.64	0.78	0.08	0.03
55	café	2.75	2.26	0.23	0.10
56	café	1.23	0.43	0.04	0.02
57	café	3.54	3.81	0.38	0.17
58	café	3.10	2.91	0.29	0.13
59	café	1.21	0.42	0.04	0.02
60	café	3.83	4.48	0.45	0.20
61	café	2.44	1.77	0.18	0.08
62	café	2.63	2.07	0.21	0.09
63	café	1.75	0.89	0.09	0.04
64	café	2.62	2.05	0.21	0.09
65	café	2.58	1.99	0.20	0.09
66	café	2.87	2.48	0.25	0.11
67	café	1.26	0.45	0.05	0.02
68	café	2.35	1.63	0.16	0.07
69	café	3.17	3.04	0.30	0.14
70	café	3.01	2.72	0.27	0.12
71	café	3.00	2.71	0.27	0.12
72	café	2.37	1.67	0.17	0.07
73	café	2.52	1.90	0.19	0.09
74	café	2.31	1.58	0.16	0.07
75	café	1.04	0.31	0.03	0.01
76	café	2.96	2.65	0.26	0.12
77	café	3.05	2.81	0.28	0.13
78	café	1.60	0.74	0.07	0.03
79	café	0.86	0.20	0.02	0.01
80	café	1.84	0.98	0.10	0.04
81	café	3.61	3.98	0.40	0.18
82	café	1.51	0.66	0.07	0.03
83	café	2.15	1.36	0.14	0.06
84	café	3.00	2.72	0.27	0.12
85	café	1.46	0.61	0.06	0.03
86	café	2.84	2.42	0.24	0.11
87	café	1.23	0.43	0.04	0.02
88	café	2.44	1.77	0.18	0.08
89	café	2.97	2.66	0.27	0.12
90	café	2.99	2.70	0.27	0.12
91	café	1.80	0.95	0.09	0.04
92	café	1.02	0.29	0.03	0.01
93	café	2.88	2.49	0.25	0.11
94	café	2.29	1.55	0.15	0.07

95	café	1.25	0.44	0.04	0.02
96	café	2.16	1.38	0.14	0.06
97	café	2.01	1.18	0.12	0.05
98	café	2.35	1.64	0.16	0.07
99	café	1.59	0.73	0.07	0.03
100	café	1.97	1.14	0.11	0.05
101	café	2.12	1.33	0.13	0.06
102	café	2.09	1.28	0.13	0.06
103	café	2.06	1.25	0.12	0.06
104	café	1.71	0.85	0.08	0.04
105	café	2.36	1.65	0.16	0.07
106	café	1.41	0.57	0.06	0.03
107	café	1.82	0.96	0.10	0.04
108	café	2.17	1.39	0.14	0.06
109	café	1.63	0.77	0.08	0.03
110	café	1.66	0.80	0.08	0.04
111	café	1.43	0.59	0.06	0.03
112	café	1.26	0.45	0.04	0.02
113	pino	14.0	94.48	9.45	4.25
114	pino	14.6	105.35	10.53	4.74
115	pino	15.4	120.11	12.01	5.40
116	pino	13.1	79.24	7.92	3.57
117	pino	14.1	95.04	9.50	4.28
118	pino	13.4	84.44	8.44	3.80

REGISTRO DE CARBONO ALMACENADO POR BIOMASA AEREA PARCELA 4

N°	Especie	DAP	Biomasa (kg /árbol)	Biomasa (Tn/Ha)	Carbono almacenado (Tn/Ha)
1	café	3.54	3.82	0.38	0.17
2	café	1.67	0.80	0.08	0.04
3	café	2.12	1.32	0.13	0.06
4	café	1.98	1.15	0.11	0.05
5	café	2.74	2.24	0.22	0.10
6	café	4.44	6.10	0.61	0.27
7	café	2.49	1.85	0.19	0.08
8	café	3.08	2.86	0.29	0.13
9	café	2.91	2.55	0.25	0.11
10	café	2.43	1.76	0.18	0.08
11	café	1.96	1.13	0.11	0.05
12	café	3.00	2.71	0.27	0.12
13	café	1.21	0.42	0.04	0.02
14	café	2.28	1.53	0.15	0.07

15	café	1.61	0.75	0.08	0.03
16	café	2.48	1.83	0.18	0.08
17	café	1.88	1.03	0.10	0.05
18	café	2.98	2.67	0.27	0.12
19	café	2.32	1.59	0.16	0.07
20	café	2.30	1.57	0.16	0.07
21	café	1.51	0.66	0.07	0.03
22	café	1.61	0.75	0.08	0.03
23	café	2.52	1.89	0.19	0.08
24	café	1.60	0.74	0.07	0.03
25	café	2.07	1.26	0.13	0.06
26	café	2.44	1.78	0.18	0.08
27	café	2.30	1.56	0.16	0.07
28	café	1.12	0.35	0.04	0.02
29	café	3.40	3.51	0.35	0.16
30	café	2.24	1.48	0.15	0.07
31	café	2.80	2.36	0.24	0.11
32	café	3.12	2.94	0.29	0.13
33	café	2.24	1.49	0.15	0.07
34	café	0.98	0.27	0.03	0.01
35	café	3.23	3.17	0.32	0.14
36	café	1.23	0.43	0.04	0.02
37	café	1.51	0.66	0.07	0.03
38	café	0.84	0.20	0.02	0.01
39	café	1.48	0.63	0.06	0.03
40	café	1.33	0.51	0.05	0.02
41	café	1.86	1.01	0.10	0.05
42	café	1.46	0.62	0.06	0.03
43	café	2.90	2.53	0.25	0.11
44	café	3.56	3.85	0.39	0.17
45	café	2.38	1.68	0.17	0.08
46	café	1.22	0.43	0.04	0.02
47	café	3.13	2.96	0.30	0.13
48	café	3.36	3.43	0.34	0.15
49	café	2.95	2.61	0.26	0.12
50	café	3.08	2.85	0.29	0.13
51	café	1.67	0.81	0.08	0.04
52	café	2.88	2.49	0.25	0.11
53	café	2.52	1.90	0.19	0.09
54	café	2.57	1.97	0.20	0.09
55	café	0.99	0.27	0.03	0.01
56	café	1.33	0.50	0.05	0.02
57	café	3.29	3.28	0.33	0.15
58	café	2.69	2.16	0.22	0.10
59	café	1.92	1.08	0.11	0.05

60	café	2.29	1.55	0.15	0.07
61	café	1.76	0.90	0.09	0.04
62	café	0.97	0.27	0.03	0.01
63	café	1.61	0.75	0.07	0.03
64	café	2.98	2.68	0.27	0.12
65	café	2.53	1.91	0.19	0.09
66	café	2.79	2.34	0.23	0.11
67	café	2.10	1.30	0.13	0.06
68	café	1.68	0.82	0.08	0.04
69	café	1.72	0.86	0.09	0.04
70	café	1.58	0.72	0.07	0.03
71	café	1.44	0.59	0.06	0.03
72	café	2.73	2.24	0.22	0.10
73	café	1.47	0.63	0.06	0.03
74	café	1.93	1.10	0.11	0.05
75	café	3.65	4.05	0.41	0.18
76	café	2.08	1.27	0.13	0.06
77	café	3.44	3.59	0.36	0.16
78	café	3.62	3.99	0.40	0.18
79	café	1.61	0.75	0.08	0.03
80	café	3.72	4.22	0.42	0.19
81	café	2.14	1.35	0.14	0.06
82	café	3.75	4.29	0.43	0.19
83	café	3.27	3.23	0.32	0.15
84	café	1.32	0.50	0.05	0.02
85	café	1.85	0.99	0.10	0.04
86	café	2.22	1.46	0.15	0.07
87	café	1.81	0.96	0.10	0.04
88	café	1.82	0.97	0.10	0.04
89	café	2.95	2.61	0.26	0.12
90	café	2.06	1.25	0.12	0.06
91	café	1.82	0.96	0.10	0.04
92	café	1.55	0.69	0.07	0.03
93	café	1.84	0.99	0.10	0.04
94	café	1.79	0.93	0.09	0.04
95	café	2.40	1.71	0.17	0.08
96	café	1.71	0.85	0.09	0.04
120	café		0.00	0.00	0.00
121	pino	15.4	120.22	12.02	5.41
122	pino	11.6	58.45	5.85	2.63
123	pino	15.4	120.20	12.02	5.41
124	pino	6.7	14.58	1.46	0.66
125	pino	6.9	15.72	1.57	0.71
126	pino	14.7	107.21	10.72	4.82
127	pino	12.5	70.10	7.01	3.15

128	pino	8.201	24.29	2.43	1.09
-----	------	-------	-------	------	------

REGISTRO DE CARBONO ALMACENADO POR BIOMASA AEREA PARCELA 5

N°	Especie	DAP	Biomasa (kg /árbol)	Biomasa (Tn/Ha)	Carbono almacenado (Tn/Ha)
1	café	3.11	2.93	0.29	0.13
2	café	1.30	0.48	0.05	0.02
3	café	1.92	1.08	0.11	0.05
4	café	2.95	2.62	0.26	0.12
5	café	3.00	2.70	0.27	0.12
6	café	1.87	1.03	0.10	0.05
7	café	2.14	1.35	0.14	0.06
8	café	2.48	1.83	0.18	0.08
9	café	2.82	2.39	0.24	0.11
10	café	1.27	0.46	0.05	0.02
11	café	1.45	0.61	0.06	0.03
12	café	1.07	0.33	0.03	0.01
13	café	1.14	0.37	0.04	0.02
14	café	2.40	1.70	0.17	0.08
15	café	2.48	1.83	0.18	0.08
16	café	3.16	3.02	0.30	0.14
17	café	2.24	1.48	0.15	0.07
18	café	2.26	1.51	0.15	0.07
19	café	1.79	0.93	0.09	0.04
20	café	2.27	1.53	0.15	0.07
21	café	2.53	1.91	0.19	0.09
22	café	1.92	1.08	0.11	0.05
23	café	1.46	0.61	0.06	0.03
24	café	2.41	1.72	0.17	0.08
25	café	2.68	2.15	0.22	0.10
26	café	1.67	0.81	0.08	0.04
27	café	1.01	0.29	0.03	0.01
28	café	2.08	1.27	0.13	0.06
29	café	1.16	0.38	0.04	0.02
30	café	1.08	0.33	0.03	0.01
31	café	2.23	1.46	0.15	0.07
32	café	1.73	0.87	0.09	0.04
33	café	2.13	1.33	0.13	0.06
34	café	1.52	0.67	0.07	0.03
35	café	2.66	2.11	0.21	0.10
36	café	1.55	0.70	0.07	0.03
37	café	3.15	3.00	0.30	0.14

38	café	2.73	2.23	0.22	0.10
39	café	2.11	1.31	0.13	0.06
40	café	3.14	2.98	0.30	0.13
41	café	2.94	2.60	0.26	0.12
42	café	3.59	3.94	0.39	0.18
43	café	1.33	0.51	0.05	0.02
44	café	3.08	2.87	0.29	0.13
45	café	1.48	0.63	0.06	0.03
46	café	3.13	2.95	0.30	0.13
47	café	1.38	0.55	0.05	0.02
48	café	1.29	0.47	0.05	0.02
49	café	2.33	1.61	0.16	0.07
50	café	2.53	1.91	0.19	0.09
51	café	3.06	2.83	0.28	0.13
52	café	1.00	0.28	0.03	0.01
53	café	1.83	0.97	0.10	0.04
54	café	3.03	2.76	0.28	0.12
55	café	3.82	4.46	0.45	0.20
56	café	3.81	4.44	0.44	0.20
57	café	1.34	0.51	0.05	0.02
58	café	1.49	0.64	0.06	0.03
59	café	1.02	0.29	0.03	0.01
60	café	1.02	0.30	0.03	0.01
61	café	0.99	0.28	0.03	0.01
62	café	0.72	0.14	0.01	0.01
63	café	1.38	0.54	0.05	0.02
64	café	0.75	0.16	0.02	0.01
65	café	2.56	1.95	0.19	0.09
66	café	2.78	2.32	0.23	0.10
67	café	2.65	2.10	0.21	0.09
68	café	2.32	1.60	0.16	0.07
69	café	2.38	1.68	0.17	0.08
70	café	1.67	0.81	0.08	0.04
71	café	2.33	1.62	0.16	0.07
72	café	2.57	1.98	0.20	0.09
73	café	2.25	1.50	0.15	0.07
74	café	1.61	0.75	0.08	0.03
75	café	0.83	0.19	0.02	0.01
76	café	1.56	0.70	0.07	0.03
77	café	2.53	1.91	0.19	0.09
120	pino	15.96	130.90	13.09	5.89
121	pino	15.44	120.30	12.03	5.41
122	pino	7.50	19.38	1.94	0.87
123	pino	14.81	108.30	10.83	4.87
124	pino	13.72	89.32	8.93	4.02

125	pino	13.93	92.75	9.27	4.17
126	pino	15.43	120.16	12.02	5.41

DATOS PROCESADOS DE NECROMASA

Peso humedo necromasa en 1 m2)(kg)	Peso humedo de la muestra(g)	Peso seco de muestra(g)
0.480	200	59.17
0.660	200	50.00
0.410	200	63.41
1.008	200	35.71
0.430	200	65.12

Parcela	Peso humedo de la muestra(kg)	Peso seco de la muestra(kg)	Contenido de humedad	Peso húmedo total del area de muestreo(kg)	y	x 0.001	x 0.5	el total de metros muestreados (5 m)	x 10.000 m2 tC/HA
1	0.200	0.059	0.704	0.480	0.142	0.000142	0.0000710	0.0000142	0.142
2	0.200	0.050	0.750	0.660	0.165	0.000165	0.0000825	0.0000165	0.165
3	0.200	0.063	0.683	0.410	0.130	0.000130	0.0000650	0.0000130	0.130
4	0.200	0.036	0.821	1.008	0.180	0.000180	0.0000900	0.0000180	0.180
5	0.200	0.065	0.674	0.430	0.140	0.000140	0.0000700	0.0000140	0.140

DATOS PROCESADOS DE SUELO

Transecto	Peso seco(g)	Volumen del cilindro (cm3)	Densidad (g/cm3)	Profundidad del horizonte (m)	Constante	Peso del volumen del suelo (PVs)	% C Orgánico total de suelo	Carbono en suelo (t/ha)
1	146.35	182.85	0.800	0.3	10000	2401.15	3.09	74.10
2	151.26	182.85	0.827	0.3	10000	2481.71	3.02	74.85
3	182.73	182.85	0.999	0.3	10000	2998.03	2.94	88.17
4	172.25	182.85	0.942	0.3	10000	2826.09	2.65	74.75
5	187.08	182.85	1.023	0.3	10000	3069.40	4.12	126.41



UNIVERSIDAD NACIONAL SAN CRISTOBAL DE HUAMANGA
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
PROGRAMA DE INVESTIGACIÓN EN PASTOS Y GANDERÍA
LABORATORIO DE SUELOS Y ANALISIS FOLIAR
Jr. Abraham Valdelomar N° 249 –Telf. 315936 966942996

Ayacucho - Perú

"Año del Bicentenario del Perú: 200 años de Independencia"

HR: 0029

Región : Ayacucho

Provincia : La Mar

Comunidad : Rosaspata

Proyecto : tesis "Estimación de carbono Almacenado en Sistemas Agroforestales de Café, Distrito de Anco-La Mar, Región Ayacucho, 2019".

Solicitante : Fredy Alexander Gómez Lázaro

RESULTADO DE ANALISIS DE CARACTERIZACIÓN DE SUELO

Parcelas	Textura			Clase textual	pH	C-orgánico (%)	C-total (%)	M.O%	P	K	Nt(%)
	Arena %	Arcilla %	Limo %								
1	43.30	30.30	26.40	Fr-Ar	4.46	3.09	9.95	5.32	9.30	94.2	0.27
2	35.30	36.00	28.70	Fr-Ar	4.56	3.02	8.19	5.20	11.50	13.70	0.26
3	35.30	44.30	20.40	Arcilloso	4.51	2.94	8.44	5.07	7.70	89.4	0.25
4	37.30	24.40	38.30	Fr-Ar	4.64	2.65	9.14	4.56	8.60	75.7	0.23
5	37.30	42.30	18.40	Arcilloso	4.34	4.12	9.45	7.10	15.8	97.5	0.36

Ayacucho, 29 de octubre 2019.

LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS
PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES
ESPECIALIZADO

Inaf B. Gómez Molina
C.I.P. 77120

PANEL FOTOGRAFICO



VISTA 01 Toma muestra de necromasa parcela 01



VISTA 02 Toma muestra de necromasa parcela 04



VISTA 03 Toma muestra de suelo parcela 03



VISTA 04 Toma muestra de suelo parcela 05



VISTA 05 Medición de diámetro altura de pecho en la parcela 03



VISTA 06 Medición de diámetro altura de pecho en la parcela 05

TITULO: " Estimación de carbono Almacenado en Sistemas Agroforestales de Café, Distrito de Anco-La Mar, Región Ayacucho, 2019".

PROBLEMA	OBJETIVO	DIMENSIONES	INDICADORES	VARIABLE	METODOLOGIA
<p>PROBLEMA GENERAL ¿Cuál es la estimación de carbono almacenado en un Sistemas Agroforestales de Café, Distrito de Anco-La Mar, Región Ayacucho, 2019.</p>	<p>OBJETIVO GENERAL Estimar el almacenamiento de carbono en un Sistemas Agroforestales de Café, Distrito de Anco-La Mar, Región Ayacucho, 2019.</p>	Sistema agroforestal	Carbono total almacenado del sistema agroforestal		<p>ENFOQUE DE INVESTIGACIÓN Cuantitativo TIPO DE INVESTIGACIÓN Básica NIVEL DE INVESTIGACIÓN Descriptivo DISEÑO DE INVESTIGACIÓN No experimental transeccional MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN Inductivo POBLACIÓN DE ESTUDIO Será una hectárea de sistema agroforestal de café + pino con una densidad de 5000 plantas/ha. MUESTRA DE ESTUDIO Será 5 parcelas de 250 m²(25x10 m), 5 parcelas 1 m²(1x1m) y 5 parcelas de 0.25x0.25m²(0.5x0.5m) MUESTREO Probabilístico INSTRUMENTOS GPS Clinómetro Pala y pico Cinta métrica Marcadores Balanza</p>
<p>PROBLEMA ESPECIFICOS ¿Cuál es la estimación de almacenamiento de carbono en la biomasa aérea en un Sistema Agroforestal de Café, Distrito de Anco-La Mar, Región Ayacucho, 2019?</p>	<p>Estimar el almacenamiento de carbono en la biomasa aérea en un Sistema Agroforestal de Café, Distrito de Anco-La Mar, Región Ayacucho, 2019.</p>	Biomasa aérea	Carbono total de la biomasa aérea	Captura de carbono.	
<p>¿Cuál es la estimación de almacenamiento de carbono en la necromasa en un Sistema Agroforestal de Café, Distrito de Anco-La Mar, Región Ayacucho, 2019.</p>	<p>Estimar el almacenamiento de carbono en la necromasa en un Sistema Agroforestal de Café, Distrito de Anco-La Mar, Región Ayacucho, 2019.</p>	Necromasa	Carbono total de la necromasa		
<p>¿Cuál es la estimación de almacenamiento de carbono en el suelo en un Sistema Agroforestal de Café, Distrito de Anco-La Mar, Región Ayacucho, 2019.</p>	<p>Estimar el almacenamiento de carbono en el suelo en un Sistema Agroforestal de Café, Distrito de Anco-La Mar, Región Ayacucho, 2019.</p>	Suelo	Carbono total del suelo		