

UNIVERSIDAD NACIONAL
“SANTIAGO ANTÚNEZ DE MAYOLO”
FACULTAD DE CIENCIAS DEL AMBIENTE
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERA AMBIENTAL



**“CAPACIDAD DE CAPTURA DE CARBONO DEL
ECOSISTEMA AGROFORESTAL DEL CENTRO DE
PRODUCCIÓN E INVESTIGACIÓN CAÑASBAMBA -
UNASAM- YUNGAY – ÁNCASH, 2015”**

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

Bach: **FRIDA ELIZABET VARGAS ABARCA**

Asesor: **Dr. PRUDENCIO CELSO HIDALGO CAMARENA**

HUARAZ, ANCASH, PERÚ

ENERO, 2021

FORMATO DE AUTORIZACIÓN PARA LA PUBLICACIÓN DE TRABAJOS DE INVESTIGACIÓN, CONDUCENTES A OPTAR TÍTULOS PROFESIONALES Y GRADOS ACADÉMICOS EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL.

1. Datos del autor:

Apellidos y nombres: VARGAS ABARCA FRIDA EIZABET

Código de alumno: 082.0605.020 Teléfono: 947531846

Correo electrónico: fvargasa@unasam.edu.pe DNI o Extranjería: 46539102

(En caso haya más autores, llenar un formulario por autor)

2. Tipo de trabajo de investigación:

- Tesis Trabajo de Suficiencia Profesional
 Trabajo Académico Trabajo de Investigación
 Tesinas (presentadas antes de la publicación de la Nueva Ley Universitaria 30220 – 2014)

3. Título Profesional o Grado obtenido:

INGENIERO AMBIENTAL

4. Título del trabajo de investigación:

CAPACIDAD DE CAPTURA DE CARBONO DEL ECOSISTEMA AGROFORESTAL DEL CENTRO DE
PRODUCCIÓN E INVESTIGACIÓN CAÑASBAMBA - UNASAM - YUNGAY - ÁNCASH, 2015

5. Facultad de: CIENCIAS DEL AMBIENTE

6. Escuela, Carrera o Programa: INGENIERÍA AMBIENTAL

7. Asesor:

Apellidos y nombres HIDALGO CAMARENA PRUDENCIO CELSO Correo electrónico: phidalgoc@unasam.edu.pe

Teléfono: 943203136 N° de DNI o Extranjería: 31671118 ORCID: 31671118

8. Tipo de acceso al Documento

- Acceso público* al contenido completo.
 Acceso restringido** al contenido completo

Si el autor eligió el tipo de acceso abierto o público, otorga a la Universidad Santiago Antúnez de Mayolo una licencia no exclusiva, para que se pueda hacer arreglos de forma en la obra y difundirlo en el Repositorio Institucional, respetando siempre los Derechos de Autor y Propiedad Intelectual de acuerdo y en el Marco de la Ley 822.

En caso de que el autor elija la segunda opción, es necesario y obligatorio que indique el sustento correspondiente:

10. Originalidad del archivo digital

Por el presente dejo constancia que el archivo digital que entrego a la Universidad, como parte del proceso conducente a obtener el título profesional o grado académico, es la versión final del trabajo de investigación sustentado y aprobado por el Jurado.



Firma del autor

11. Otorgamiento de una licencia **CREATIVE COMMONS**

Para las investigaciones que son de acceso abierto se les otorgó una licencia *Creative Commons*, con la finalidad de que cualquier usuario pueda acceder a la obra, bajo los términos que dicha licencia implica.



El autor, por medio de este documento, autoriza a la Universidad, publicar su trabajo de investigación en formato digital en el Repositorio Institucional, al cual se podrá acceder, preservar y difundir de forma libre y gratuita, de manera íntegra a todo el documento.

Según el inciso 12.2, del artículo 12º del Reglamento del Registro Nacional de Trabajos de Investigación para optar grados académicos y títulos profesionales - RENATI "Las universidades, instituciones y escuelas de educación superior tienen como obligación registrar todos los trabajos de investigación y proyectos, incluyendo los metadatos en sus repositorios institucionales precisando si son de acceso abierto o restringido, los cuales serán posteriormente recolectados por el Recolector Digital RENATI, a través del Repositorio ALICIA".

12. Para ser llenado por la Dirección del Repositorio Institucional

Fecha de recepción del documento por el Repositorio Institucional:

19/01/2021

Firma:



Varela Wilian Eduardo
CORRESPONSABLE
- UNASAM -

***Acceso abierto:** uso lícito que confiere un titular de derechos de propiedad intelectual a cualquier persona, para que pueda acceder de manera inmediata y gratuita a una obra, datos procesados o estadísticas de monitoreo, sin necesidad de registro, suscripción, ni pago, estando autorizada a leerla, descargarla, reproducirla, distribuirla, imprimirla, buscarla y enlazar textos completos (Reglamento de la Ley No 30035).

**** Acceso restringido:** el documento no se visualizará en el Repositorio.



ACTA DE SUSTENTACIÓN Y DEFENSA DE TESIS

Los Miembros del Jurado en pleno que suscriben, reunidos en la fecha, en el Auditorium de la FCAM-UNASAM, de conformidad a la normatividad vigente conducen el Acto Académico de Sustentación y Defensa de la Tesis **CAPACIDAD DE CAPTURA DE CARBONO DEL ECOSISTEMA AGROFORESTAL DEL CENTRO DE PRODUCCIÓN E INVESTIGACIÓN CAÑASBAMBA - UNASAM - YUNGAY - ANACASH, 2015**, que presenta la Bachiller **FRIDA ELIZABET VARGAS ABARCA** para optar el **Título Profesional de Ingeniero Ambiental**.

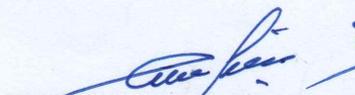
En seguida, después de haber atendido la exposición oral y escuchada las respuestas a las preguntas y observaciones formuladas, lo declaramos:

APROBADO

con el calificativo de: *Quince* (15)

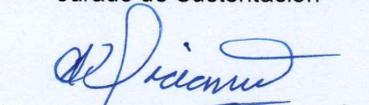
En consecuencia, la Bachiller **FRIDA ELIZABET VARGAS ABARCA** queda expedito para que el Consejo de Facultad de la Facultad de Ciencias del Ambiente de la Universidad Nacional "Santiago Antúnez de Mayolo" apruebe el otorgamiento de su **Título Profesional de Ingeniero Ambiental** de conformidad al Art. 113 numeral 113.9 del Reglamento General de la UNASAM (Resolución de Consejo Universitario N° 399-2015-UNASAM), el Art. 48° del Reglamento General de Grados y Títulos de la UNASAM (Resolución de Consejo Universitario - Rector N° 554-2017-UNASAM) y el Art. 160° del Reglamento de Gestión de la Programación, Ejecución y Control de las Actividades Académicas (Resolución de Consejo Universitario - Rector N° 432-2016-UNASAM).

Huaraz, 30 de Enero de 2018


Dr. HERACLIO FERNANDO CASTILLO PICON
Presidente
Jurado de Sustentación


MSc. ELADIO GUILLERMO TUYA CASTILLO
Secretario
Jurado de Sustentación


Ing. RICARDO RAY VILLANUEVA RAMIREZ
Vocal
Jurado de Sustentación


Dr. PRUDENCIO CELSO HIDALGO CAMARENA
Asesor de Tesis

DEDICATORIA

A ti mi Dios, que me diste la oportunidad de conocerte y servirte, gracias por todas tus bendiciones.

A mi padre querido, Crisóstomo Vargas Ramírez, que tomo como ejemplo de humildad, responsabilidad y perseverancia.

A mi adorada madre, Eugenia Victoria Abarca Blaz, que significa amor, ternura, comprensión y unión.

A mi compañero, Alex, por su valioso apoyo emocional;

A mis hijos, Jhanela y Leunides, que son el motor y motivo para cumplir mis metas.

A mis hermanos, Roger, Omar, Yona, Grover, Nilda y Rulo, por el apoyo que me dieron día a día.

AGRADECIMIENTO

- A la Universidad Nacional “Santiago Antúnez de Mayolo”, por impartirme conocimientos, experiencias de la realidad en que vivimos, de la problemática que se dio, da y se darán, las cuales son retos que nos depara el futuro.
- Al Dr. Hidalgo Camarena Prudencio Celso, asesor del presente trabajo de investigación.
- Al centro de producción e investigación Cañasbamba - UNASAM– Yungay. A su jefe el Ing. Esteban Pedro Reyes Roque y su equipo completo, por brindarme las facilidades para realizar mi tesis en su prestigioso centro.
- A mis padres por el constante apoyo que me dieron tanto material como emocional durante el proceso de desarrollo y término del presente estudio.
- A los miembros del jurado por brindarme su tiempo y aportes con las sugerencias para la mejora continua durante el desarrollo y término del presente trabajo de investigación.
- A mis profesores y amigos de la Universidad Nacional “Santiago Antúnez de Mayolo”, quienes me ayudaron de una u otra manera en mi formación profesional.
- A todos ellos “MUCHAS GRACIAS”

RESUMEN

El estudio “Capacidad de captura de carbono del ecosistema agroforestal del centro de Producción e Investigación Cañasbamba - UNASAM– Yungay – Áncash, 2015” se realizó en cuatro parcelas seleccionadas mediante el sistema de muestreo aleatorio simple dentro de la población de 0.75 hectáreas, con la finalidad de determinar la capacidad de captura de carbono en los diferentes componentes del ecosistema agroforestal. Se registraron los diámetros a la altura del pecho (DAP) de la vegetación comprendida entre 2.50 a 30 cm de diámetro, circunscritos en parcelas de 4 m x 25 m. Se registraron el peso fresco del componente arbustivo/herbáceo en cuadrantes de 1m², las hojarasca y raíces, ambos en cuadrantes de 0.5 m x 0.5 m (0.25 m²).

Para obtener los volúmenes de biomasa arbórea viva se utilizaron ecuaciones, todos indirectamente, por inferencia de sus principales medidas biométricas, al igual que para la estimación de la biomasa arbustiva/herbácea, hojarasca y raíces por muestreo directo en cuadrantes de 1m² y 0.25m², los cuadrantes fueron distribuidos al azar dentro de las parcelas de medición de 4 m x 25 m. (Arévalo, *et al*, 2003)

El resultado obtenido fue de 41.484 tC/ha, que viene a ser el total de la sumatoria de carbono en la biomasa arbórea viva con 30.027 tC/ha, en la biomasa arbustiva/herbácea con 0.690 tC/ha, en la biomasa de hojarasca con 0.911 tC/ha y en la biomasa subterránea 9.856 tC/ha.

Palabra clave: capacidad de captura de carbono; biomasa; ecosistema; calentamiento global; deforestacion; ecosistema agroforestal; parcela.

ABSTRACT

The study "Carbon capture capacity of the agroforestry ecosystem of the Cañasbamba Production and Research Center - UNASAM- Yungay - Ancash, 2015" was carried out in four plots selected by the simple random sampling system within the 0.75 hectare population, with the purpose of determining the capacity of carbon capture in the different components of the agroforestry ecosystem. The diameters at breast height (DBH) of vegetation between 2.50 and 30 cm in diameter were recorded, circumscribed in plots of 4 m x 25 m. The fresh weight of the shrub / herbaceous component was recorded in quadrants of 1m², the litter and roots, both in quadrants of 0.5 m x 0.5 m (0.25 m²).

To obtain the volumes of living arboreal biomass, equations were used, all indirectly, by inference of their main biometric measurements, as well as for the estimation of the shrub / herbaceous biomass, leaf litter and roots by direct sampling in quadrants of 1m² and 0.25m², The quadrants were randomly distributed within the measurement plots of 4 mx 25 m. (Arévalo, *et al*, 2003)

The result obtained was 41,484 tC / ha, which is the total of the sum of carbon in living arboreal biomass with 30,027 tC / ha, in the shrub / herbaceous biomass with 0.690 tC / ha, in the litter biomass with 0.911 tC / ha and in the underground biomass 9.856 tC / ha..

Keyword: capacity of carbon capture, biomass, ecosystem, global warming, deforestation, ecosystem agroforestry plot.

ÍNDICE

DEDICATORIA.....	iii
AGRADECIMIENTO.....	iv
RESUMEN.....	v
ABSTRACT.....	vi
RELACIÓN DE TABLAS.....	xii
RELACIÓN DE FIGURAS.....	xiii
RELACIÓN DE FOTOGRAFÍAS.....	xiv
ABREVIATURAS.....	xv
SIGLAS INSTITUCIONALES.....	xvi
SÍMBOLOS USADOS.....	xvii
I. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Planteamiento del problema.....	5
1.1.1. Problema General.....	5
1.1.2. Problemas específicos.....	6
1.2. Objetivos.....	6
1.2.1. Objetivo general.....	6
1.2.2. Objetivos específicos.....	6
1.3. Hipótesis.....	7

1.4. Justificación.....	7
II. MARCO TEÓRICO	9
2.2. Antecedentes de investigación	9
2.2. Bases teóricas	15
2.2.1. Ecosistemas agroforestales	15
2.2.2. Características de los SAF	16
2.2.3. Cambio climático	16
2.2.4. Efecto invernadero	17
2.2.5. Dióxido de carbono.....	17
2.2.6. El carbono (C).....	18
2.2.7. El ciclo del carbono	19
2.2.8. Carbono fijado (Cf).....	20
2.2.9. Carbono almacenado	21
2.2.10. Reservas de carbono	22
2.2.11. Secuestro de carbono.....	22
2.2.12. Flujos de carbono	23
2.2.13. Carbono en las plantas	23
2.2.14. Sistemas agroforestales como sumideros de carbono	24

2.2.15. Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático	25
2.2.16. Protocolo de Kyoto	26
2.2.17. Pago por Servicios Ambientales (PSA)	28
2.2.18. Descripción de las fuentes medidas	29
2.3. Definición de términos	33
III. MATERIALES Y MÉTODOS	35
3.1.1. Ubicación política	35
3.1.2. Localización geográfica.....	36
3.1.3. Accesibilidad	36
3.1.4. Clima	36
3.2. Materiales y Equipos	37
3.2.1. Material cartográfico	37
3.2.2. Material de campo.....	37
3.2.3. Equipo de campo	37
3.2.4. Equipos de gabinete.....	38
3.3. Método	38
3.3.1. Población	39
3.3.2. Muestra	39

3.3.3. Toma de datos	40
3.4. Procedimiento	40
3.4.1. Características estructurales y funcionales del ecosistema agroforestal	41
3.4.2. Biomasa arbórea viva	42
3.4.3. Biomasa arbustiva/herbácea (agrícola, pastizal y malezas) (BA/H)	43
3.4.4. Biomasa de la hojarasca (BH).....	46
3.4.5. Biomasa subterránea (raíces) (BS).....	48
3.5. Cálculos.....	51
3.5.1. Cálculos de la biomasa vegetal total	51
3.5.2. Biomasa arbórea viva (kg/árbol)	51
3.5.3. Cálculo de la biomasa arbustiva/herbácea (fresa, alfalfa, malezas, etc.) (t/ha)	52
3.5.4. Cálculo de la biomasa de la hojarasca (t/ha)	53
3.5.5. Biomasa subterránea (raíces).....	53
3.5.6. Cálculo del carbono en la biomasa vegetal total (t/ha)	55
IV. RESULTADOS	56
4.1. Características estructurales y funcionales del ecosistema agroforestal	56
4.1.1. Características estructurales.....	56

4.1.2. Características funcionales.....	58
4.2. Capacidad de captura de carbono del componente forestal del ecosistema agroforestal	61
4.3. Capacidad de captura de carbono del componente arbustivo/herbáceo (fresa y alfalfa y malezas) del ecosistema agroforestal	62
4.4. Capacidad de captura de carbono de la hojarasca del ecosistema agroforestal	63
4.5. Capacidad de captura de carbono del componente subterráneo (raíces) del ecosistema agroforestal.....	65
4.6. Capacidad de la captura de carbono del ecosistema agroforestal	66
V. DISCUSIÓN	69
VI. CONCLUSIONES	75
VII. RECOMENDACIONES	77
VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	79

RELACIÓN DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Clasificación Taxonómica de la Lucma.....	31
Tabla 2. Clasificación Taxonómica de la Alfalfa.....	33
Tabla 3. Clasificación Taxonómica de la Fresa.....	35
Tabla 4. Coordenadas UTM (Zona18L, Datum Horizontal PSD 56) de las parcelas de muestreo.....	43
Tabla 5. Biomasa arbórea viva y carbono orgánico almacenado en t/ha.....	67
Tabla 6. Biomasa arbustiva/herbácea y carbono orgánico almacenado en t/ha.....	68
Tabla 7. Biomasa de la hojarasca y carbono orgánico en t/ha.....	69
Tabla 8. Biomasa subterránea y carbono orgánico en t/ha.....	71
Tabla 9. Carbono orgánico de la biomasa vegetal total en (t/ha).....	72
Tabla 10. Carbono orgánico almacenado en todas las fuentes en t/ha.....	73

RELACIÓN DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Biomasa de arbórea viva y carbono orgánico almacenado.....	67
Figura 2. Biomasa arbustiva/herbácea y carbono orgánico almacenado.....	69
Figura 3. Biomasa de la hojarasca y carbono orgánico almacenado.....	70
Figura 4. Biomasa subterránea y carbono orgánico almacenado.....	71
Figura 5. Carbono orgánico de la biomasa vegetal total.....	72
Figura 6. Carbono total almacenado en todas las fuentes del SAF.....	74

RELACIÓN DE FOTOGRAFÍAS

	Pág.
Fotografía 1. Medición de diámetro a la altura de pecho (DAP) de la biomasa arbórea viva dentro de las parcelas.....	47
Fotografía 2. Muestreo de la biomasa arbustivo/herbáceo (fresa).....	48
Fotografía 3. Muestreo de la biomasa arbustivo/herbáceo (alfalfa).....	48
Fotografía 4. Peso fresco de las submuestras de la biomasa arbustiva/herbácea (alfalfa).....	49
Fotografía 5. Embolsados de las submuestras para el posterior secado.....	49
Fotografía 6. Submuestras de biomasa arbustiva/herbácea a 75c°/48horas.....	50
Fotografía 7. Muestreo de la biomasa hojarasca (alfalfa).....	51
Fotografía 8. Peso fresco de las submuestras de la biomasa hojarasca.....	52
Fotografía 9. Muestreo de la biomasa subterránea (alfalfa).....	53
Fotografía 10. Lavado de la biomasa subterránea (alfalfa) para el posterior secado.....	54
Fotografía 11. Peso fresco de las submuestras de la biomasa subterránea.....	54

ABREVIATURAS

SAF: Sistema agroforestal

DAP: Diámetro a la altura de pecho

CER's: Certificados de emisiones reducidas

GEI: Gases de efecto invernadero

GPS: Sistema de Posición Geográfica

MDL: Mecanismo de desarrollo limpio

Cf: Carbono fijado

IC: La implementación conjunta

PSA: Pago por Servicios Ambientales

SA: Servicios Ambientales

Cm: Centímetro

m: Metro.

ha: Hectárea.

g: Gramo.

kg: Kilogramo.

t: Tonelada.

CO₂: Dióxido de carbono

CC: Cambio Climático.

SIGLAS INSTITUCIONALES

CNUMAD: Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y Desarrollo

MINAM: Ministerio Nacional del Ambiente

ICRAF: El Centro Internacional de Investigación Agroforestal

IPCC: Panel Intergubernamental del Cambio Climático

PNUMA: Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente

FAO: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación

UNFCCC: Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático

SÍMBOLOS USADOS

BAV: Biomasa arbórea viva

BA/H: Biomasa arbustiva/herbácea

BH: Biomasa de la hojarasca

BAVT: Biomasa total arbórea viva

BVT: Biomasa vegetal total

BSAV/H: Biomasa subterránea arbórea viva/hojarasca

BSA/H: Biomasa subterránea arbustiva/herbácea

BAV/H: Biomasa vegetal total arbórea viva/hojarasca

C: Carbono

CBV: Carbono de la biomasa vegetal

CT: Carbono total

F de C: Factor de conversión

PFM: Peso fresco de la muestra

PFT: Peso fresco total

PSM: Peso seco de la muestra

P1, P2, P3, P4: Parcelas

I. INTRODUCCIÓN

La revolución industrial en el siglo XIX fue el comienzo del uso a gran escala de combustibles fósiles para actividades industriales, las cuales crearon puestos de trabajo. Conforme iban pasando los años, la gente se trasladó desde las zonas rurales a las ciudades, tendencia que se mantiene hasta hoy en día. Por esta razón, los sistemas de vegetación son sustituidos por ciudades (crecimiento sin control actualmente). Los recursos naturales están siendo ampliamente utilizados para la construcción, la industria, el transporte, la ganadería extensiva, la agricultura migratoria y el consumo. El consumismo aumenta a pasos agigantados creando montañas de residuos, degradación de ecosistemas. Además, nuestra población se ha multiplicado sin control. Todo esto ha contribuido a un aumento de los gases de efecto invernadero en la atmósfera, generándose así el cambio climático.

El cambio climático global es uno de los principales problemas que enfrenta el mundo de hoy. La concentración de gases de invernadero –dióxido de carbono (CO₂)- en la atmósfera ha aumentado considerablemente, lo cual fortalece al efecto invernadero, con el consecuente sobrecalentamiento del planeta. El CO₂, principal gas de efecto invernadero, incrementó su concentración de 280 ppm en 1750 a 360 ppm en el 2000, y a 430 ppm en la actualidad y se prevé un aumento a 550 ppm de CO₂ antes del 2050. El uso de combustibles fósiles genera en la actualidad de 80 al 85 % del CO₂ emitido. Se prevé que el consumo de energía aumente en un 50 % en los próximos 25 años, y que los países continúen dependiendo de combustibles fósiles para satisfacer sus necesidades. (Andrade y Ibrahim, 2003), mientras que del 20-25% proviene de la extensión de la frontera agrícola, la explotación comercial de

bosques y el incremento de la oxidación de la materia orgánica en los suelos. (Erickson, 1992)

El Perú, es un país muy vulnerable al efecto de los cambios climáticos debido a que posee extensos territorios con ecosistemas frágiles y montañosos; al contar con grandes extensiones de zonas áridas y semiáridas, zona de cobertura boscosa con riesgo de deterioro forestal; así como con zonas expuestas a los desastres naturales, a la sequía, a la desertificación y a las inundaciones. El efecto del calentamiento global se puede ver claramente en el retroceso de diferentes glaciares, principal fuente hídrica para los ríos andinos. Según el Instituto Nacional de Recursos Naturales, la disminución de los glaciares ha sido de un 22% de su superficie con relación a 1970, que equivale aproximadamente al agua que consume el Perú en una década. (CONAM, 2005)

Anualmente se deforestan 17 millones de hectáreas para convertirlas en agricultura y/o plantaciones silvícolas. En términos generales, la deforestación libera aproximadamente 1000 millones de toneladas de carbono a la atmósfera cada año, en forma de dióxido de carbono. (Houghton, 1991)

En América Latina el sector agropecuario ha crecido durante los últimos años a una tasa anual cercana al 4 %, superior a la tasa promedio de crecimiento global. Sin embargo, debido a los sistemas agropecuarios convencionales, se presentan cifras preocupantes de degradación de recursos naturales; sobre pastoreo de praderas, mayor número de incendios, deforestación, pérdida de biodiversidad, contaminación de agua y vulnerabilidad al cambio climático, a las cuales se enfrenta la región. Por otra parte, el cambio de uso del suelo ha sido y es una de las principales causas que contribuye a la emisión de gases de efecto invernadero. (FAO, 2007)

La vegetación constituye uno de los reservorios de carbono más dinámicos del mundo desde el punto de vista espacial y temporal. La cantidad de carbono almacenada en la biomasa leñosa de la vegetación sobre la superficie es particularmente variable, y está sujeta a rápidos cambios a consecuencia de los usos de la tierra que eliminan la cobertura vegetal, generando emisiones de carbono. Es por ello prioritario para las estrategias nacionales e internacionales reducir las emisiones de carbono provenientes de la deforestación y degradación forestal, así como de otros ecosistemas no boscosos, a fin de conservar los ecosistemas y reducir la acumulación de dióxido de carbono en la atmósfera. (MINAM, 2011)

En el contexto del cambio climático y el ciclo global del carbono, los sistemas forestales, productivos, al igual que la agroforestería, son de mucho interés, ya que pueden contribuir de manera importante en cuanto a la mitigación de los gases que afectan al calentamiento global. Se conoce que la cantidad de carbono secuestrado directamente por los árboles dentro de diferentes sistemas agroforestales oscila normalmente de 3 a 25 tC/ha, además de suministrar bienes y servicios que pueden potencialmente evitar que se deforesten de 5 a 20 ha. (Lopez, 1998)

Un sistema agroforestal típico crea una interacción sinérgica entre los cultivos y los árboles para sostener la productividad, mientras que al mismo tiempo el carbono es secuestrado continuamente para la mitigación del clima. Los sistemas agroforestales tienen dos beneficios principales para conservar carbono: almacenaje directo de C a corto y mediano plazo (décadas y hasta siglos) en los árboles y en el suelo; y reducción indirecta de la emisión de los gases de efecto invernadero causada por la deforestación y la agricultura migratoria. (Rojas, *et al*, 2009)

En los sistemas agroforestales, el secuestro de carbono es un proceso dinámico y se puede dividir en fases: cuando se establece muchos sistemas probablemente son fuentes de gases de efecto invernadero. Luego, sigue una fase rápida de acumulación y período de

maduración cuando el carbono es almacenado en los troncos, raíces y en el suelo y al final del periodo de rotación, cuando los árboles son cosechados y la tierra retornada al cultivo (sistemas secuenciales), parte del carbono será lanzado de nuevo a la atmósfera. Por lo tanto, un secuestro efectivo de carbono solo puede ser considerado si hay un balance positivo después de varias décadas al compararlas con una reserva de carbono inicial. (Rojas, *et al*, 2009)

El objetivo de la investigación es determinar la capacidad de captura de carbono del ecosistema agroforestal del Centro de Producción e Investigación Cañasbamba - UNASAM - Yungay -Áncash, 2015.

En la investigación se ha empelado la metodología estandarizada del Centro Internacional para la Investigación en Agroforestería – ICRAF, plasmada en el Manual para la Determinación de las Reservas Totales de Carbono en los diferentes Sistemas de uso de la Tierra en Perú (Arévalo et al, 2003) cuyo principio se basa en la determinación de la biomasa total mediante el uso de ecuaciones alométricas si son árboles y en la toma de muestras de manera destructiva del componente arbustivo, herbáceo, cultivos, pastos, etc., así como la hojarasca (Woomer y Palm, 1993; Arévalo et al, 2003; Woomer et al, 2000; citados por Callo-Concha, 2000) y en la biomasa subterránea calculada de manera directa (Arévalo *et al*, 2003) y de manera indirecta (Mac Dicken, 1997 y Gamarra, 2001).

Finalmente con el resultado de la investigación se contrastó que la captura de carbono en el ecosistema agroforestal, con los resultados obtenidos, tiene mucha proximidad a las cifras de captura de carbono reportados por literatura especializada en bosques secundarios y sistemas agroforestales de ecosistemas tropicales. El carbono capturado en la biomasa arbórea viva fue de 30.027tC/ha, con un 72 % del total y es el componente de mayor volumen en captura de carbono. El carbono capturado del componente arbustivo/herbáceo fue de 0.690tC/ha, con un 2 % del total, y es el componente de menor volumen en captura de carbono.

El contenido de la tesis está estructurado: Introducción, marco teórico, métodos y materiales, resultados, discusión de resultados, referencias bibliográficas.

Ante tal situación, es necesario encontrar estrategias productivas, ecológicas y económicamente sustentables. Una alternativa a los problemas de degradación de los recursos naturales por cambios de uso de suelo es la implementación de SAF, que son formas de uso de la tierra, donde los árboles o arbustos interactúan biológica y económicamente en una misma superficie con cultivos y/o animales, asociados de forma simultánea o secuencial. El propósito fundamental es diversificar y optimizar la producción para un manejo sostenible. Además, ofrecen múltiples bondades, no solo al ambiente sino también al productor, puesto que protegen al suelo de la erosión y adicionan materia orgánica, proveen de alimento y sombra para los animales todo el año, y mantienen una alta biodiversidad. Asimismo, la integración de especies leñosas dentro de estos sistemas, promueven la recuperación de áreas degradadas, así como también la captura de dióxido de carbono, el cual es uno de los principales gases causantes del efecto invernadero. Frente al panorama descrito, a fin de dilucidar la problemática del cambio climático local y global como consecuencia de la deforestación tropical, se plantea la siguiente interrogante:

1.1. Planteamiento del problema

1.1.1. Problema General

¿Cuál es la capacidad de captura de carbono en el ecosistema agroforestal del Centro de Producción e Investigación Cañasbamba – UNASAM – Yungay – Áncash, 2015?

1.1.2. Problemas específicos

- a. ¿Cuáles son las características estructurales y funcionales del ecosistema agroforestal del Centro de Producción e Investigación Cañasbamba – UNASAM –Yungay - Áncash, 2015?
- b. ¿Cuál es la capacidad de captura de carbono del componente forestal del ecosistema agroforestal del Centro de Producción e Investigación Cañasbamba – UNASAM –Yungay - Áncash, 2015?
- c. ¿Cuál es la capacidad de captura de carbono del componente arbustivo/ herbáceo (fresa y alfalfa) del ecosistema agroforestal del Centro de Producción e Investigación Cañasbamba – UNASAM –Yungay - Áncash, 2015?
- d. ¿Cuál es la capacidad de captura de carbono de la hojarasca del ecosistema agroforestal del Centro de Producción e Investigación Cañasbamba – UNASAM –Yungay - Áncash, 2015?
- e. ¿Cuál es la capacidad de captura de carbono del componente subterráneo (raíces) del ecosistema agroforestal del Centro de Producción e Investigación Cañasbamba – UNASAM –Yungay - Áncash, 2015?

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

Determinar la capacidad de captura de carbono del ecosistema agroforestal del Centro de Producción e Investigación Cañasbamba - UNASAM - Yungay - Áncash, 2015.

1.2.2. Objetivos específicos

- a. Caracterizar estructuralmente y funcionalmente el ecosistema agroforestal del Centro de Producción e Investigación Cañasbamba – UNASAM – Yungay - Áncash, 2015.

- b. Determinar la capacidad de captura de carbono del componente forestal del ecosistema agroforestal del Centro de Producción e Investigación Cañasbamba – UNASAM –Yungay - Áncash, 2015.
- c. Establecer la capacidad de captura de carbono del componente arbustivo/ herbáceo (fresa y alfalfa) del ecosistema agroforestal del Centro de Producción e Investigación Cañasbamba – UNASAM –Yungay - Áncash, 2015.
- d. Determinar la capacidad de captura de carbono del componente de la hojarasca del ecosistema agroforestal del Centro de Producción e Investigación Cañasbamba – UNASAM –Yungay - Áncash, 2015.
- e. Fijar la capacidad de captura de carbono del componente subterráneo (raíces) del ecosistema agroforestal del Centro de Producción e Investigación Cañasbamba – UNASAM –Yungay - Áncash, 2015.
- f. Determinar la capacidad de la captura de carbono del ecosistema agroforestal.

1.3. Hipótesis

Por tratarse de una investigación cuyo alcance es de carácter descriptivo, la hipótesis se considera implícita.

1.4. Justificación

El cambio climático representa una de las amenazas preocupantes para el ambiente global debido al gran impacto negativo que está causando en la salud humana, la seguridad alimentaria, la economía mundial, los recursos naturales y la infraestructura física. Este fenómeno es reflejado en el calentamiento global, causado por el aumento en las concentraciones de los Gases de Efecto Invernadero (GEI), especialmente del dióxido de Carbono (CO₂), gran parte del cual proviene del cambio en el uso de la tierra, la deforestación, el uso de combustibles fósiles y la producción de cemento en países desarrollados.

El trabajo se justifica porque permitirá tener una base bibliográfica para un buen manejo de los recursos, obtener servicios ambientales y socioeconómicos. Por esta razón, el presente estudio permitirá calcular la disponibilidad cuantitativa de la captura de carbono, ya que uno de los problemas más graves que derivan de la poca retención del carbono que conlleva al recalentamiento del planeta debido a los efectos de la alta contaminación de CO₂, la deforestación, el cambio de uso de tierra y de la no concordancia de las naciones para reducir el incremento de gases de efecto invernadero. Todo esto permite que eleve paulatinamente la temperatura terrestre.

- **Teórica.** - Nuestra investigación permitirá estimar las cantidades de CO₂ que se puede capturar con ecosistemas agroforestales.
- **Metodológica.** - Los instrumentos y técnicas de esta investigación serán válidos por su rigurosidad, ellos servirán para estudios a niveles macro: regional, nacional, además de ser una fuente confiable para los investigadores.
- **Práctica.** - Se podrá estimar la cantidad de sistemas agroforestales en la provincia, de acuerdo a la población existente en ella, necesaria para frenar la destrucción de la capa de ozono y el calentamiento global.

II. MARCO TEÓRICO

2.2. Antecedentes de investigación

El cambio climático representa una de las amenazas más preocupantes para la tierra debido al gran impacto negativo que está causando al ambiente, a la salud humana, la seguridad alimentaria, la economía mundial, los recursos naturales y la infraestructura física. Este fenómeno es reflejado en el calentamiento global, causado por el aumento de las concentraciones de los Gases de Efecto Invernadero (GEI), especialmente del Dióxido de Carbono (CO₂), gran parte del cual proviene del cambio en el uso de la tierra, la deforestación y el uso de combustibles fósiles.

Ante este hecho, los países industrializados responsables de más del 36% de las emisiones totales de CO₂, asumieron el compromiso de estabilizar sus concentraciones de GEI en la atmósfera en los términos de un acuerdo político internacional suscrito durante la *Cumbre de la Tierra* (1992), conocido como la *Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático* (UNFCCC por sus siglas en inglés).

Con la aprobación del Protocolo de Kyoto (1997), durante la III Conferencia de las Partes (COP-3), se establecieron los mecanismos que facilitan a los países comprometidos ante la UNFCCC alcanzar sus metas de reducción de 5.2% entre el año

2008 y 2012, despertándose un gran interés sobre el potencial de los sistemas agroforestales (SAF) en la fijación y almacenamiento de Carbono. (MINAM, 2011)

En razón de tal preocupación, científicos de muchas partes del mundo han efectuado inicialmente trabajos de investigación orientados a diseñar métodos estandarizados y modelos de simulación del secuestro de carbono por fotosíntesis en organismos vegetales, para posteriormente efectuar estimaciones del potencial de carbono equivalente total almacenado en bosques, pastizales y sistemas agroforestales. Lamentablemente, la bibliografía y también expertos en la materia sostienen que las reservas de carbono en los diferentes escenarios varía en función de la latitud, altitud, clima, densidad, tipo de suelo, especies vegetales involucradas, tipo de manejo, etc.; por lo que será necesario efectuar estimaciones de las reservas de carbono en los diferentes ecosistemas teniendo en cuenta los criterios antes señalados, a fin de evitar generalizaciones que podrían conducir a errores mayúsculos en lugar de alternativas alentadoras. En dicho contexto, a continuación, se describen algunos trabajos previos relacionados con el tema que nos ocupa.

Hidalgo *et al* (2013), en el estudio “Caracterización de los sistemas agroforestales y sus bienes y servicios ambientales como estrategia de adaptación al cambio climático en el Callejón de Huaylas – Ancash, 2012” se concluyó que la práctica agroforestal que más predomina en el Callejón de Huaylas es la práctica denominada “cerco vivo”. Consiste en el establecimiento de árboles y/o arbustos alrededor de la parcela con el objeto de obtener leña y madera y otros productos forestales diferentes a la madera, delimitar la propiedad y crear condiciones microclimáticas benignas y agradables al interior del área de cultivo, así como en las áreas de influencia, las cuales determinan mayor viabilidad y productividad agrícola, así como un ambiente más agradable para el poblador rural que convive en o cerca de sus parcelas. Las especies forestales utilizadas para tal fin varían en función de las características ecológicas y edafológicas de las parcelas según su ubicación altitudinal y que además proporcionan servicios ambientales

de gran importancia como: conservación del suelo, regulación del flujo hidrológico y conservación del agua, conservación de la biodiversidad, reciclaje de nutrientes y mejoramiento de la fertilidad natural, capacidad de sombra, captura de carbono, regulación de las temperaturas extremas, etc.

Sifuentes (2015), manifiesta que la tasa de absorción de carbono en los sistemas agroforestales, puede ser muy alta ya que la captura de carbono se efectúa tanto por los árboles como por los cultivos: de 2 a 9 t C/ha, dependiendo de la duración (15 a 40 años). Añade que, en las áreas tropicales se puede obtener un almacenamiento de 21 a 50 t C/ha en zonas subhúmedas y húmedas respectivamente. Las raíces por sí solas podrían incrementar esos valores en 10 %. En los sistemas agrícolas o ganaderos, los sumideros de carbono en el suelo son considerablemente pequeños, mientras que en sistemas agroforestales aumenta. Los sumideros superficiales de carbono en sistemas agroforestales son similares a aquellos encontrados en bosques secundarios. Los sistemas agroforestales, ofrecen muchas ventajas, especialmente para los pequeños agricultores. Puesto que, representan una alternativa sostenible a la deforestación y a la agricultura de roza, tumba y quema.

Hidalgo (2009), en su trabajo denominado “Determinación de las Reservas totales de Carbono en un Sistema Agroforestal de la selva alta de Tingo María” concluye que el carbono asciende a 217.565 toneladas por hectárea, de los que 94.384 toneladas (43.38%) corresponde al carbono almacenado entre los diferentes componentes de la biomasa vegetal y 123.181 toneladas (56.62%) corresponde al carbono almacenado en el suelo. Dichas cifras permiten inferir que el SUT estudiado tiene una alta capacidad de almacenamiento de carbono y por tanto, de reducción de emisiones de GEI, entre ellos CO₂, debido a la presencia permanente de vegetación arbustiva y arbórea, principal sumidero superficial que intensifican los procesos de secuestro y liberación dentro del ciclo de la materia y la energía; lo que contribuye a un cambio climático global favorable superior a lo que podrían contribuir los bosques “climáticos” que han “congelado” su

capacidad de transformación de carbono atmosférico a biomasa y a los barbechos tradicionales que aportan menores volúmenes de biomasa.

Timoteo *et al* (2016), en el trabajo de investigación “Estimación del Carbono Almacenado en tres Sistemas Agroforestales durante el primer año de instalación en el departamento de Huánuco” llegan a la conclusión de que el carbono total acumulado en la biomasa y necromasa aérea durante el primer año en los sistemas agroforestales fue de 9.44 tC ha⁻¹, 11.40 tC ha⁻¹ y 11.37 tC ha⁻¹ para SAF1, SAF2 y SAF3, respectivamente. El componente herbáceo y arbustivo fue el más dominante, representando el 49.7%, 46.2% y 50% de la biomasa y necromasa aérea total en los sistemas SAF1, SAF2 y SAF3, respectivamente.

Alegre *et al.* (1998), en el trabajo de investigación “Reservas de carbono según el uso de la tierra en dos sitios de la Amazonía Peruana”, utilizando las guías desarrolladas por el programa de Tropical Soil Biology and Fertility (TSBF), encontraron que la foresta y los barbechos antiguos tuvieron los contenidos más altos de carbono en la biomasa aérea tanto en Yurimaguas como en Pucallpa, encontraron también que el nivel de carbono en todos los sistemas manejados fue más bajo que el de los bosques naturales. Entre los sistemas manejados, el contenido total de carbono en los sistemas perennes con árboles y coberturas fue más alto y fluctuó desde 99.00 toneladas por hectárea (t/ha) para la palma aceitera hasta 152.30 t/ha para la plantación de caucho en Pucallpa; y en el sistema agroforestal de multiestratos en Yurimaguas estos valores fueron intermedios con 114.30 t/ha. Los niveles de carbono en el suelo fueron mayores en los bosques y plantaciones perennes y sistemas agroforestales seguido por los pastos mejorados, encontrando el nivel más bajo en cultivos anuales.

Callo-Concha (2000), determinó la cuantificación del carbono secuestrado por algunos sistemas agroforestales en tres pisos ecológicos de la región Ucayali en Perú

utilizando la metodología de Woomer y Palm, modificada por Palm y Van Noordwijk, guías desarrolladas por Tropical Soil and Fertility Programme y documentos internos de Alternative Slash and Burning. Diseñaron seis tratamientos, sistemas agroforestales y/o sistemas de uso de la tierra: bosque primario, bosque secundario, café bajo sombra, silvopastura, pastura y huerto casero; y tres variantes ecológicas (repeticiones), fragmentando el muestreo en: a) biomasa arbórea, b) biomasa herbácea, c) hojarasca y d) varios estratos del suelo. El tratamiento parámetro, bosque primario, reteniendo 232.02 toneladas de carbono por hectárea (tC/ha), supera en 12% al segundo: sistema agroforestal (SAF) huerto casero; en 36% al cuarto: SAF café bajo sombra y 86% al quinto: SAF silvopastura. Sin embargo, estos, más el bosque secundario, son estadísticamente iguales ($p < 0.05$). Y solamente el primero, bosque primario, superior al último, pastura con 96.61 tC/ha (DMS = 107.74). Resultó sumidero estable ($f < 0.05$) y considerable, el suelo, retiene, en el peor de los casos, el 40% del carbono total, bosque primario y hasta 113,5 tC/ha en café bajo sombra. Se dieron incrementos proporcionalmente inversos entre los sumideros de tipo arbóreo y edáfico, función del grado de cobertura arbórea con que cuentan; los aportes de biomasa herbácea y arbustiva (fresca y hojarasca) no llegan al 1% en conjunto. Así las diferencias por tratamientos se deben exclusivamente a la proporción de la cobertura otorgada por la biomasa arbórea ($f < 0,01$).

Lapeyre et al (2004), en el trabajo de investigación “Determinación de las reservas de carbono de la biomasa aérea en diferentes sistemas de uso de la tierra en San Martín, Perú”, empleando la metodología desarrollada por el ICRAF, siguiendo los procedimientos del Manual de determinación de las reservas totales de carbono en los diferentes sistemas de uso de la tierra (Arévalo *et al.*, 2003), que sugiere el uso de ecuaciones alométricas si son árboles y la toma de muestras en forma disturbativa en el sotobosque, cultivos, pastos, etc., así como la hojarasca, hicieron el estudio en los siguientes sistemas de uso de la tierra: bosque primario, bosque secundario de diferentes edades, sistemas agrícolas locales maíz (*Zea mays*), arroz (*Oryza Sativa*), pastos (*Brachiaria*) y sistemas agroforestales con café (*Coffea arabica*) bajo sombra y cacao

(*Theobroma cacao*). En cada uno de estos sistemas se establecieron al azar cinco transectos donde se evaluó la biomasa arbórea. Dentro de estos transectos se establecieron cuadrados también al azar para cuantificar la biomasa herbácea y la biomasa de hojarasca. El carbono total en el bosque primario fue de 485.00 tC/ha, superando ampliamente las reservas del bosque secundario de 50 años y de bosque descremado de 20 años. Con relación al bosque primario se observa una reducción de reservas en más de 50% del bosque secundario de 50 años (234.00 tC/ha). El bosque descremado de 20 años había perdido más del 80% de reservas (62.00 tC/ha). El nivel de reservas de carbono en la biomasa de hojarasca de los sistemas boscosos no es significativo al compararlo con el total de las reservas de carbono de la biomasa aérea; sin embargo, sí es significativo para sistemas agroforestales. Los sistemas agroforestales secuestraron entre 19.00 a 47.00 tC/ha, dependiendo de la cantidad de especies forestales, tipo de cultivo, edad y tipo de suelo y recuperan el potencial de captura en forma productiva. Los sistemas agrícolas capturaron poco carbono (5.00 tC/ha), además generaron fugas de gases efecto invernadero (GEI) cuando se usa agroquímicos y quema de rastrojos, entre otros.

Corral *et al* (2006), en el estudio realizado en Ecuador denominado “Fijación y almacenamiento de carbono en sistemas agroforestales con café arábigo y cacao en dos zonas agroecológicas del litoral ecuatoriano”. Los SAF de café y cacao tienen una capacidad de captura y/o almacenamiento de carbono de 115.00 y 121.00 tC/ha, respectivamente. Esta situación, en cuanto a la biomasa aérea, resulta semejante a la captura de carbono en los bosques secundarios del trópico. Los sistemas agroforestales en base del cultivo de café tienen un potencial de fijación de carbono de 187.50 tC/ha (carbono del suelo + carbono de biomasa aérea), a los 6,5 años después de su plantación. En el caso de los sistemas agroforestales con cacao, se determinó 196.70 tC/ha a la misma edad.

Avila (2000), en su estudio “Fijación y almacenamiento de carbono en sistemas de café bajo sombra, café a pleno sol, sistemas silvopastoriles y pasturas a pleno sol”, indica

que se evaluaron los componentes árbol, cafeto, hojarasca y suelo en los sistemas de producción con café; y la pastura, el árbol y el suelo en los sistemas de producción con pastos. Los resultados mostraron que en promedio los SAF café-eucalipto almacenaron 40% más carbono que los sistemas silvopastoriles brizanta-eucalipto y brizanta-mangium y que más del 89% del carbono almacenado en los sistemas de producción evaluados corresponden al carbono del suelo; este varió entre el 89.80% (120.92 tC/ha) en SAF café-eucalipto de ocho años a 99.90% (84.31tC/ha) en la pastura natural ratana (*I. indicum*). En los SAF, el asocio café-poró fue el de mayor almacenamiento de carbono (195.00 tC/ha), mientras que el café-eucalipto de ocho años tuvo el más bajo (120.92 tC/ha); y el café en monocultivo almacenó más carbono que el café de cuatro y ocho años.

Como puede apreciarse, en general, los procedimientos para la estimación del carbono almacenado en los diferentes sistemas de producción son similares. Usan ecuaciones alométricas para el cálculo del peso de la biomasa arbórea y procesos destructivos para estimar el peso de la vegetación arbustiva/herbácea, así como guías desarrolladas por el programa de Tropical Soil Biology and Fertility (TSBF). Sin embargo, en ningún caso, los resultados del carbono almacenado en SAF de diferentes lugares coinciden plenamente.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Ecosistemas agroforestales

La agroforestería es un sistema complejo de uso de la tierra antigua y ampliamente practicada en el que los árboles se combinan espacial y/o temporalmente con animales y/o cultivos agrícolas. (Farrel y Altieri, 1999)

Según el ICRAF (*El Centro Internacional de Investigación Agroforestal*) “La agroforestería es un sistema sustentable de manejo de cultivos y tierra que procura aumentar los rendimientos en forma continua, combinando la producción de cultivos forestales arbolados (que abarcan frutales y otros cultivos arbóreos) con cultivos de campo o arables y/o animales de manera simultánea o secuencial sobre la misma unidad de tierra, aplicando además prácticas de manejo que son compatibles con las prácticas culturales de la población local”.(ICRAF, 1996)

2.2.2. Características de los SAF

La agroforestería incorpora cuatro características:

- **Estructura.** - Combina árboles, cultivos y animales en forma conjunta. (Farrel y Altieri, 1999)
- **Sustentabilidad.** - Optimiza los beneficios de las interacciones y mantiene la productividad a largo plazo sin degradar la tierra. (Farrel y Altieri, 1999)
- **Incremento en la productividad.** - Al mejorar las relaciones complementarias entre los componentes del sistema, la producción será mayor en comparación a los sistemas tradicionales de uso de la tierra. (Farrel y Altieri, 1999)
- **Adaptabilidad cultural/socioeconómica.** - Se aplica a una amplia gama de predios y de condiciones socioeconómicas, aunque tiene mayor impacto en zonas donde los agricultores no pueden adaptar tecnologías muy costosas y modernas. (Farrel y Altieri, 1999)

2.2.3. Cambio climático

Se define como una variación estadísticamente significativa, ya sea de las condiciones climáticas medias o de su variabilidad, que se mantiene durante un periodo prolongado (generalmente durante decenios o por más tiempo). El cambio del clima puede deberse a procesos naturales internos o aun forzamiento

externo, o a cambios antropogénico duraderos en la composición de la atmósfera o en el uso de la tierra. (IPCC, 2013)

Se entiende un cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante periodos de tiempo comparables. (CIIFEN, 2017)

2.2.4. Efecto invernadero

Los gases de efecto invernadero o gases de invernadero (GEI) son los componentes gaseosos de la atmósfera, tanto naturales como antropógenos, que absorben y emiten radiación en determinadas longitudes de onda del espectro de radiación infrarroja emitido por la superficie de la tierra, la atmósfera y las nubes. Esta propiedad produce el efecto invernadero. En la atmósfera de la tierra, los principales gases de efecto invernadero son el vapor de agua (H₂O), el dióxido de carbono (CO₂), el óxido nitroso (N₂O), el metano (CH₄) y el ozono (O₃). Hay además en la atmósfera una serie de (GEI) creados íntegramente por el ser humano, como los hidrocarburos y otras sustancias con contenido de cloro y bromo. (Balairon, 2006)

2.2.5. Dióxido de carbono

Es un gas que existe espontáneamente y también como subproducto del quemado de subproductos de combustibles fósiles, procedentes de depósitos de carbono de origen fósil, como el petróleo, el gas, el carbón, quema de biomasa, cambio de uso de la tierra y otros procesos industriales. Es el gas de efecto invernadero por las actividades antropogénicas, que más afecta al equilibrio de radiativo de la tierra. Por lo mismo, es el gas de referencia para la medición de otros gases de efecto invernadero, que dan origen

a cambio climático. (IPCC, 2013)

El dióxido de carbono (CO₂) es el gas presente espontáneamente en la naturaleza, que se crea también como consecuencia de la quema de combustibles fósiles de origen fósil (el petróleo, el gas y el carbón) y biomasa, así como en el cambio del uso de la tierra y otros procesos industriales. Es el principal gas de efecto invernadero andrógeno que afecta el balance radiactivo. (Balairon, 2006)

2.2.6. El carbono (C)

Es el cuarto elemento más abundante en el universo, después del hidrógeno, el helio y el oxígeno (O). Es el pilar de la vida que conocemos. Existen básicamente dos formas de carbono: orgánica (presente en los organismos vivos y muertos, y en los descompuestos) y otra inorgánica (presente en las rocas). (Gutierrez y Picos, 2004)

En la naturaleza, el carbono se halla en diferentes formas. En el agua, en forma de compuestos carbónicos disueltos (carbonatos) y en el aire como dióxido de carbono. Todos los organismos vivos son compuestos de carbono que se obtiene como resultado de los procesos metabólicos. Cuando estos mueren, aproximadamente el 50% del peso seco del organismo lo constituye este elemento y es uno de los más importantes para la existencia de la vida. (Chávez y Lujan, 2006).

2.2.7. El ciclo del carbono

Se define como un ciclo biogeoquímico de gran importancia para la regulación del clima de la tierra. En él se ven implicadas actividades básicas para el sostenimiento de la vida. Comprende dos ciclos:

- **Ciclo biológico.** - Este ciclo comprende los intercambios de carbono (CO_2) entre los seres vivos y la atmósfera, es decir la fotosíntesis, proceso mediante el cual el carbono queda retenido en las plantas y la respiración que es devuelto a la atmósfera. Este ciclo es relativamente rápido, estimándose que la renovación del carbono atmosférico se produce cada 20 años. (IPCC, 2007)
- **Ciclo biogeoquímico.** - Este ciclo regula la transferencia de carbono entre la atmósfera y la litosfera (océano y suelo). El CO_2 atmosférico se disuelve con facilidad en el agua, formando ácido carbónico. El retorno del carbono a la atmósfera se produce en las erupciones volcánicas tras la fusión de las rocas que lo contienen. Este último ciclo es de larga duración, al verse implicados los mecanismos geológicos. Además, hay ocasiones en las que la materia orgánica queda sepultada, en contacto con el oxígeno que la descompone, produciéndose así la fermentación que lo transforma en carbón y/o gas natural. (IPCC, 2007)

El ciclo del carbono es una parte integrante del sistema climático que rige la acumulación de CO_2 en respuesta a la emisión de origen humano. Los procesos claves que hay que simular correctamente son la fotosíntesis y la respiración sobre la tierra y el intercambio neto de CO_2 entre el océano y la atmósfera. Por que el CO_2 es químicamente inerte en la atmósfera y su concentración es bastante uniforme, los cambios naturales de la concentración de CO_2 atmosférico

dependen solo de la suma de la fotosíntesis, la respiración, los flujos de aire y mar. (IPCC, 2007)

El estudio del ciclo del carbono es importante para el entendimiento de su papel en el crecimiento de una planta, la cual conlleva la incorporación dentro de sus tejidos de carbono (proceso que se conoce como fijación de carbono). El carbono se encuentra en la atmósfera en forma de dióxido de carbono y es removido de esta durante la fotosíntesis para la formación principalmente de carbohidratos (a esta acción se le conoce como captura, almacenamiento o secuestro). La tasa de producción de biomasa potencial de una planta depende, entre otras cosas, de su tasa de formación de carbohidratos, la velocidad de crecimiento y duración de su ciclo de vida. (IPCC, 2013)

La captura de carbono está asociada con la restauración de la vegetación después del abandono de las tierras deforestadas, el crecimiento de los bosques jóvenes ya sean plantaciones o bosques secundarios, y el crecimiento neto de los bosques primarios. Desde el punto de vista del cambio de uso de tierra, la liberación del carbono a la atmósfera está asociada con la tala del bosque para la agricultura, la explotación comercial de los bosques y el crecimiento de la oxidación de la materia orgánica en los suelos. (Erickson, 1992)

2.2.8. Carbono fijado (Cf)

Se refiere al flujo de carbono dentro de una unidad de área cubierta con vegetación en un lapso de tiempo dado. Su cuantificación permite predecir el comportamiento del C en cualquier momento durante el crecimiento de la población. (Segura, 1997)

Este tipo de carbono depende de las características de la especie, la tasa de crecimiento y la longevidad, así como también de las condiciones del sitio, como localización, clima y rotación. Se expresa en tC/ ha año. (Gutierrez y Lopera)

2.2.9. Carbono almacenado

Hace referencia a la cantidad de carbono que se encuentra en un ecosistema vegetal, en un determinado momento. Tiene en cuenta criterios como tipo de bosque o vegetación, densidad de la madera, factores de ajuste que se basan en datos de biomasa calculada a partir de volúmenes por hectárea de inventarios forestales. (Segura, 1997)

El concepto de carbono almacenado se relaciona a la capacidad del bosque o de cualquier otro sistema de uso de la tierra como los humedales, de mantener una cierta cantidad de biomasa por hectárea, la cual está en función a su heterogeneidad afectada por las condiciones del suelo y clima. (Arévalo et al, 2003)

El carbono almacenado se expresa en tC/ha. Las plantas tienen la capacidad de almacenar el dióxido de carbono de la atmósfera, basado en el hecho de que la fotosíntesis absorbe el dióxido de carbono, que luego utilizan para generar el alimento necesario para su crecimiento, estimándose en la actualidad que una hectárea de plantación arbórea puede absorber alrededor de 10 toneladas de carbono por año de la atmósfera, dependiendo de las condiciones del lugar. Se asume que el 45 por ciento de la biomasa vegetal seca es carbono. Por lo tanto, en los bosques y en los humedales existe acumulación de carbono que no es liberado a la atmósfera. En ecosistemas de bosques tropicales la biomasa seca puede variar entre 150 y 382 toneladas por hectárea. Por lo tanto, la capacidad

máxima de carbono almacenado varía entre 67.5 a 171 toneladas por hectárea. (Arevalo et al, 2003)

2.2.10. Reservas de carbono

Está referida a la cantidad de carbono existente en un “depósito”, o sea una reserva o sistema capaz de almacenar o liberar el carbono. (FAO, 2000)

La foresta de los trópicos húmedos contiene las concentraciones más grandes de biomasa y biodiversidad en la tierra y su destrucción tiene consecuencias ambientales directas en todo el mundo. Esta foresta es actualmente la más extensa en la cuenca amazónica. Cuando estos bosques son destruidos por la quema para otros usos, una gran parte del carbono almacenado es perdido hacia la atmósfera principalmente como CO₂. Este proceso de pérdida de carbono es la mayor causa de acumulación de CO₂ en la atmósfera, seguida después de los causados por la combustión de los carburantes fósiles. Además, la foresta tropical es un importante recurso para la población creciente de los trópicos húmedos bajos. (Bustamante, 2017)

2.2.11. Secuestro de carbono

Es el proceso de fijación en forma continua, en cualquier sistema de uso de la tierra, como consecuencia de alguna intervención sobre áreas degradadas o en procesos de degradación. Estas intervenciones pueden ser programadas de manejo de suelos, reforestación y agroforestería. Generalmente para hacer el estimado de estos flujos de carbono que se dan por toneladas en hectárea al año (t/ha/año), se seleccionan diferentes usos de tierra, cuyos antecedentes son conocidos por los agricultores. Estos van desde el bosque primario, áreas

quemadas para cultivo anuales o plantaciones perennes, bosques secundarios de diferentes edades, pasturas, sistemas forestales, barbecho mejorado y sistemas silvopastoriles. (Bustamante, 2017)

2.2.12. Flujos de carbono

Las reservas totales de carbono almacenado nos dan un indicativo del grado de captura de carbono de un sistema, pero no nos especifica la dinámica de este carbono, por lo que se debe elaborar los flujos anuales de captura de carbono por hectárea. Estos flujos anuales son los que expresan el dinamismo en acumular el carbono y es el que la comunidad internacional está considerando para el otorgamiento de créditos por este servicio ambiental. Cabe destacar que los flujos presentados son un promedio de captura anual en el tiempo de vida del sistema, dado que el crecimiento de una población vegetal no se realiza de manera uniforme en el tiempo, existiendo un mayor crecimiento en los primeros años. (Lapeyre *et al*, 2004)

2.2.13. Carbono en las plantas

Se representa por los flujos y almacenes de carbono en un ecosistema forestal, donde el follaje, las ramas, el tallo, los desechos, los productos y el humus, se reincorporarán al ciclo por descomposición y/o quema de biomasa forestal. Una parte del carbono fijado es transformado en biomasa y la otra parte es liberada a la atmósfera por medio de la respiración. Los bosques del mundo absorben 110 Gt C año, mientras que mediante la respiración emiten 55 Gt C año y por medio de la descomposición emiten de 54 a 55 Gt C año. (Ordoñez, 1999)

2.2.14. Sistemas agroforestales como sumideros de carbono

En principio, la capacidad de secuestrar carbono de cualquier ecosistema terrestre depende principalmente de dos componentes: el área total de esos ecosistemas y el número de árboles por unidad de área. Los SAF pueden contener sumideros considerablemente grandes de carbono y en algunos casos se asemejan a los encontrados en bosques secundarios. Asimismo, la cantidad de carbono acumulada en el suelo aumenta en los sistemas agroforestales. (Bringas, 2010)

Los sistemas agroforestales pueden ser manejados para estabilizar la emisión de gases en tres maneras: 1) por el secuestro de CO₂ en las plantas y captura de Carbono y nitrógeno en la vegetación perenne y suelo a largo plazo, 2) por la producción de alimentos y fibra, lo cual ayuda a reducir la deforestación y degradación de las tierras y 3) por la producción sostenida de leña, lo cual puede contribuir en la reducción del uso de combustible. (Dixon, 1995)

Doscientos cuarenta y cinco millones de hectáreas (Mha) de 700Mha globales de tierra podrían estar disponibles para conservación y secuestro de C en plantaciones y agroforestería. Sin embargo, la disponibilidad real de tierra para estos programas depende de factores económicos, sociales, culturales e institucionales, que influyen en el uso del suelo. (Brown, 1997)

La tasa de absorción de carbono en los sistemas agroforestales puede ser muy alta ya que la captura de carbono se efectúa tanto por los árboles como por los cultivos: de 2 a 9 t C/ha, dependiendo de la duración (15 a 40 años). En las áreas tropicales, se puede obtener un almacenamiento de 21 a 50 t C/ha en zonas subhúmedas y húmedas respectivamente. Las raíces por sí solas podrían incrementar esos valores en 10 %. (Rios, 2007)

El carbono almacenado en sistemas de café con sombra en el Salvador es aproximadamente de 64,35 t C/ha. El almacenamiento de carbono en la agroforestería en un estado inicial es de 8,9 t C/ha, y a los 9 años de 24,1 t C/ha. (Bringas, 2010)

2.2.15. Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático

La Convención de Naciones Unidas sobre Cambio Climático tiene como objetivo lograr la estabilización de las concentraciones de gases de efecto invernadero en la atmósfera a un nivel que impida una interferencia humana peligrosa en el sistema climático. La Convención asume que el cambio climático se está produciendo inevitablemente, pero que la estabilización de la concentración debe lograrse en un plazo suficiente como para permitir que los ecosistemas se adapten naturalmente a este, asegurar que la producción de alimentos no se vea amenazada y posibilitar que el desarrollo económico prosiga de manera sostenible. El nivel de concentración de dióxido de carbono en la atmósfera era de 280 ppm entre el período 1000-1750. En el 2000 la concentración subió a 368 ppm. Los científicos recomiendan un máximo de 450-550 ppm para los próximos años. La convención tendrá que acordar a mediano plazo un máximo de concentración que sea realista pero eficiente para que se logre manejar el cambio climático. No se ha discutido este tema en las negociaciones, porque esto implica acordar también cómo se distribuirán las responsabilidades entre los estados y los criterios no son claros. (PCM, 2003)

El artículo 4º de la Convención estableció que para el año 2000, los países industrializados (incluyendo Europa del Este) debían reducir sus emisiones al nivel producido en 1990. Según los últimos datos procesados en el 2000 (que corresponden a 1998) este objetivo se cumple a nivel global por la recesión

presentada en Europa del Este quien bajó por tal razón sus emisiones de dióxido de carbono equivalente en 37% respecto de los niveles de 1990 y los países desarrollados aumentaron en 7% sus emisiones respecto del mismo año. Hay que precisar sin embargo que Estados Unidos ha aumentado en 14% sus emisiones, respecto de los niveles de 1990. (PCM, 2003)

2.2.16. Protocolo de Kyoto

Luego de la entrada en vigor de la Convención en 1994, se ha verificado que los compromisos asumidos por los países desarrollados y Europa del Este no son suficientes para controlar el cambio climático. El IPCC ha reiterado que, a partir del siglo XXI, el mundo debe reducir *más del 50% de las emisiones que tenía en 1990* para encontrarse en una ruta segura y cumplir con el objetivo de la Convención, la cual es la estabilización de la concentración de gases en la atmósfera. (PCM, 2003)

El acuerdo de Kyoto tiene como objetivo disminuir entre los años 2008-2012 las emisiones agregadas de una canasta de seis gases o grupo de gases 12. Estos acuerdos significarían una reducción del 5,2% de las emisiones de 1990 de los países industrializados, aproximadamente 713.872 Gg de dióxido de carbono. Sin embargo, esta cifra será bastante mayor por cuanto muchos países desarrollados emiten actualmente más de los niveles de 1990. (PCM, 2003)

El Protocolo promueve que los gobiernos reduzcan sus emisiones mediante:

- La mejora de la eficiencia energética

- La reforma del sector energía
- La protección de los sumideros (bosques, biomasa vegetal y suelos)
- La promoción de energías renovables
- La limitación de las emisiones de metano de los sistemas de energía

El Protocolo permite a los países un cierto grado de flexibilidad en la manera de reducir sus emisiones.

En adición a las medidas de reducción de varias fuentes de energía, el Protocolo también considera la forestación, reforestación y deforestación como fuentes de contabilidad (positiva y negativa) de las emisiones, por la absorción de dióxido de carbono que pueden tener los bosques.

El Protocolo incluye tres mecanismos extraterritoriales para la reducción de las emisiones:

- **El comercio internacional de emisiones**, que permite a los países industrializados vender sus emisiones en caso un país haya sobrepasado su meta de reducción.
- **La implementación conjunta (IC)**, por la que los países industrializados pueden vender y comprar entre sí las reducciones resultantes de proyectos específicos a través de las “unidades de reducción de emisiones”.
- **El mecanismo de desarrollo limpio (MDL)**, que permitirá a los países industrializados financiar proyectos de reducción de emisiones en países en desarrollo, beneficiándose con precios más baratos por reducción. El proyecto

debe apoyar el proceso de desarrollo sostenible del país en desarrollo y garantizar que las reducciones sean medibles y de largo plazo.

2.2.17. Pago por Servicios Ambientales (PSA)

Al pasar el año y a la actualidad, el Pago por Servicios Ambientales (PSA) ha permitido un uso más eficiente de los recursos naturales a través del fortalecimiento de la conciencia ambiental y la revaloración del sector forestal en el desarrollo de varios países de América Latina. (Ortiz, 2006)

Los esquemas de PSA vigentes a nivel mundial se han desarrollado teniendo en cuenta las condiciones naturales, sociales y económicas propias de cada país y las condiciones específicas de mercado. Algunos *Servicios Ambientales* (SA) que están en discusión mundial son: la protección de biodiversidad, el almacenamiento de carbono, la protección de la belleza del paisaje natural y los servicios hidrológicos. (Ortiz, 2006)

Existen diferentes metodologías para valorar económicamente estos servicios, como el costo de oportunidad de la tierra y los costos de producción forestal, pero que aún no reflejan su verdadero valor en el mercado internacional. Algunos valores oscilan entre los US\$16 y US\$2.671 por hectárea por año (Ortiz, 2006)

2.2.18. Descripción de las fuentes medidas

Lúcumo

Tabla 1

Clasificación taxonómica del lúcumo

Taxonomía	
Reino:	Plantae
Subreino:	Tracheobionta
División:	Magnoliophyta
Clase:	Magnoliopsida
Subclase:	Dilleniidae
Orden:	Ericales
Familia:	Sapotaceae
Subfamilia:	Chrysophylloideae
Género:	Pouteria
Especie:	Obovata

Es un frutal semi-caducifolio de amplia adaptabilidad que se encuentra desde el nivel del mar hasta los 3000 metros sobre el nivel del mar. Se trata de un árbol que alcanza 15 a 20 m de altura, 1.5 m de diámetro en la base y con diámetro de copa de 6 a 10 m. Se desarrolla en climas tropicales y subtropicales; tolera lluvias temporales, más no precipitaciones constantes. Su hábitat natural es la sierra baja. El rango de temperatura donde se desarrolla comprende de 8 a 27°C y humedad de 80% a 90%, siendo el rango óptimo de 14 a 24 °C. Se adapta a climas fríos constantes, pero no tolera fuertes heladas, pudiendo morir con temperaturas menores de 5°C. (Del Castillo, 2006)

Este frutal se puede adaptar fácilmente a diferentes clases de suelos, pero responde muy bien a la oxigenación radical que otorgan los suelos franco-arenosos. Se adapta muy bien a suelos arenosos y rocosos, de buen drenaje; tolera suelos moderadamente salinos y calcáreos, pero

prefiere los suelos aluviales profundos con abundante materia orgánica. La reactividad del suelo donde responde bien el lúcumo fluctúa en un pH de 6 a 7. Se puede concluir certeramente que en el Perú se encuentra la mayor variabilidad genética de la lúcumo, estimándose en más de un centenar de biotipos peruanos, siendo esta producción la de mejor calidad y mayor productividad (Del Castillo, 2006)

Follaje. - siempre verde, muy vigoroso, de gran longevidad.

Disposición de las hojas. - espiral.

Forma de las hojas. - hoja dura; nervios principales fácilmente visibles, sobresalientes hasta el fin de la hoja; el borde de la hoja enrollada por abajo y un poco ondulado en la parte superior de la hoja; ramas jóvenes esquinadas. Pícolo (corto, con listón de la hoja lateral).

Flor. - muchas pequeñas flores aproximadamente de 1 a 2 cm, de color verde claro blanco.

Fruto. - cápsula verde a café, aproximadamente 3 a 5 cm de diámetro. El fruto se caracteriza por presentar una forma ovoide o elíptica con un ápice en punta o deprimido con diámetro típico entre 7.5 a 10 cm y un peso entre 150 a 200 gramos. El epicarpio o cáscara es delgado, de color verde, aunque puede tornarse amarillo verdoso cuando el fruto está maduro. (Jordan, 1996)

Alfalfa

Tabla 2

Clasificación taxonómica de la alfalfa

Taxonomía	
Reino:	Plantae
División:	Magnoliophyta
Clase:	Magnoliopsida
Subclase:	Rosidae
Orden:	Fabales
Familia:	Fabaceae
Subfamilia:	Faboideae
Tribu:	Trifolieae
Género:	Medicago
Especie:	Sativa

La alfalfa es una planta perennifolia, vivaz y de porte erecto, que puede crecer entre 30 y 60 cm de altura. Su color es verde grisáceo. Sus “rasgos” son bien definidos y pueden describirse de la siguiente manera:

Raíz. - Su raíz principal es pivotante, robusta, larga y profunda, con numerosas raíces secundarias, que le permiten captar los minerales alejados de la superficie.

Tallos. - Son delgados y erectos. Soportan muy bien el peso de las hojas y de las inflorescencias, y son muy estables, lo que hace que la planta sea muy propicia para la siembra.

Hojas. - Sus hojas son ovaladas, trifoliadas, aunque las primeras hojas verdaderas son unifoliadas. Las orillas son lisas y con los bordes superiores levemente dentados.

Flores.- Son pequeñas y crecen en racimos que nacen en las axilas de las hojas. Son de un hermoso color violeta pálido (lavanda), aunque ocasionalmente se muestran con tonalidades rojas o blancas.

Fruto. - Es una legumbre que no se abre espontáneamente al llegar a la adultez para liberar las semillas. No posee espinas y contiene entre 2 y 6 semillas amarillentas, arrionadas y con una longitud de 1.5 a 2.5 mm (CANABIO, 2009).

Fresa

Tabla 3

Clasificación taxonómica de la fresa

Taxonomía	
Reino:	Plantae
División:	Magnoliophyta
Clase:	Magnoliopsida
Subclase:	Rosales
Orden:	Rosaceae
Familia:	Rosoideae
Subfamilia:	Potentilleae
Tribu:	Fragariinae
Género:	Fragaria
Especie:	Vesca

La fresa (*Fragaria vesca*) es una planta herbácea perenne, vivaz, dispuesta sobre receptáculos carnosos y rojos, llamados en conjunto fresas. Es de porte bajo y se

multiplica vegetativamente por estolones o sexualmente a través de semillas. La temperatura óptima de crecimiento es 10-13 ° C por la noche y 18-22 ° C durante el día.

Tallos. - No superan los 30 centímetros de altura, ya que esta planta crece mayoritariamente de forma horizontal. Esta planta se extiende por el suelo a través de un estolón, con pelos simples en la parte superior.

Hojas. - Son trifoliadas, presentan el margen dentado y una nervadura muy notoria que se encuentra orientada hacia el ápice. Estas hojas son de una tonalidad verde oscura y brillante.

Flores. – Son blancas y pueden tener hasta cinco flores por planta con cinco pétalos, los cuales son de color blanco. Estas flores miden entre 1 y 2 centímetros de diámetro.

Frutos. - Corresponden a los puntitos negros que tienen las fresas, los cuales son diminutos aquenios. Lo que popularmente conocemos como el fruto, corresponde al engrosamiento de la base de la flor (receptáculo floral). (Angulo, 2009)

2.3. Definición de términos

2.3.1. Ecosistema agroforestal. – Es la interacción bioeconómica en una misma área de un componente leñoso y perenne con cultivo y/o animales asociados en forma simultánea o secuencial que incorporan cuatro características importantes: estructura, sostenibilidad, productividad, y adaptabilidad cultural y socioeconómica. (Iglesias, 2015)

- 2.3.2. Biomasa:** Es el total de materia orgánica seca o el contenido almacenado de energía de los organismos vivos. (Connolly y Corea, 2007)
- 2.3.3. Biomasa aérea:** Es la que conforma las estructuras leñosas aéreas de especies frutales maderables y otros árboles y arbustos del sistema productivo . (Connolly y Corea, 2007)
- 2.3.4. Biomasa de las raíces:** Está representada por los sistemas radiculares y constituyen otro sumidero de carbono. (Connolly y Corea, 2007)
- 2.3.5. Hojarasca:** Se refiere a la materia orgánica que se encuentra en diferentes procesos de descomposición. (Connolly y Corea, 2007)
- 2.3.6. Cultivo en callejones.** - Es una práctica agroforestal que pertenece al sistema de árboles con cultivo anual. Es la siembra de cultivos anuales en los espacios o callejones entre líneas de árboles, generalmente de crecimiento rápido y fijadores de nitrógeno, que son podados a intervalos regulares para evitar competencia con los cultivos, proveer biomasa que suple nutrientes a los cultivos y suprime el crecimiento de malezas. (Connolly y Corea, 2007)

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Lugar de ejecución

El ámbito del trabajo de investigación fue el Centro de Producción e investigación Cañasbamba – UNASAM, en el distrito de Yungay, departamento de Áncash. Tiene una superficie aproximada de 14 hectáreas y se encuentra situado en la parte centro oriental del Perú. Su temperatura promedio es aproximadamente 21°C y su altitud promedio es aproximadamente de 2284 m.s.n.m.

3.1.1. Ubicación política

El ecosistema agroforestal se encuentra dentro del Centro de Producción e investigación Cañasbamba – UNASAM, ubicado en la margen derecha del río Santa, Distrito Yungay, Provincia Yungay de la región Áncash. Se encuentra situado en la parte centro oriental del Perú y tiene una temperatura promedio aproximadamente de 21°C.

3.1.2. Localización geográfica

Latitud: 9°05'48.35"S
Longitud: 77°46'15.09"O
Altitud: 2284 m.s.n.m.

3.1.3. Accesibilidad

Vía terrestre

- Lima-Pativilca-Huaraz-Yungay: 9 horas en bus vía carretera asfaltada.
- Huaraz - Yungay: Existen servicios a través de combis que van a lo largo del Callejón de Huaylas.

Vía Aérea

- Lima - Anta, a través de vuelos regulares, que tienen una duración de 45 minutos aproximadamente.

3.1.4. Clima

El clima de Cañasbamba es templado entre 20 a 25 grados, con días de mucho calor y por la noche mucho frío, así como en las mañanas. Hay una temporada de lluvias que es a partir del mes de diciembre hasta abril. Sus principales actividades económicas son la agricultura y la ganadería. Destaca en la producción de papa, maíz, cebada, alfalfa, y frutales, así como también en la crianza de ganado vacuno, caprino, ovino y porcino.

3.2. Materiales y Equipos

3.2.1. Material cartográfico

- Mapas temáticos
- Imagen satelital
- Planos

3.2.2. Material de campo

- Balanza
- Bolsas plásticas
- Bolsas de papel
- Dimensionador (marco de madera) de 1 m x 1 m y de 0,5 m x 0,5m.
- Libreta de campo
- Martillo
- Plumón indeleble
- Pala recta
- Pico
- Cono de rafia
- Estacas
- Tijera de podar
- Wincha
- Forcípula
- Rastrillo

3.2.3. Equipo de campo

- GPS (Sistema de Posicionamiento Global).
- Cámara fotográfica digital

3.2.4. Equipos de gabinete

- Balanza digital
- Computadora
- Estufa

3.3. Método

Para poder determinar el potencial de capacidad de captura de carbono en el ecosistema agroforestal es necesario analizar los componentes arbóreo (lúcumo), arbustivo/herbáceo (alfalfa, fresa y malezas), las hojarascas y las raíces. La investigación es de carácter descriptiva y los datos han sido obtenidos de la realidad espacio-temporal, lo que permitió caracterizar y describir las relaciones existentes entre las variables y calcular el carbono almacenado.

Para determinar la captura de carbono en el ecosistema agroforestal se utilizó la metodología estandarizada del Centro Internacional para la Investigación en Agroforestería – ICRAF, plasmada en el Manual para la Determinación de las Reservas Totales de Carbono en los diferentes Sistemas de uso de la Tierra en Perú (Arévalo et al, 2003) cuyo principio se basa en la determinación de la biomasa total mediante el uso de ecuaciones alométricas si son árboles y en la toma de muestras de manera destructiva del componente arbustivo, herbáceo, cultivos, pastos, etc., así como la hojarasca (Woomer y Palm, 1993; Arévalo et al, 2003; Woomer et al, 2000; citados por Callo-Concha, 2000) y en la biomasa subterránea calculada de manera directa (Arévalo et al, 2003) y de manera indirecta (Mac Dicken, 1997 y Gamarra, 2001).

3.3.1. Población

La población materia de estudio está conformada por el ecosistema agroforestal en el Centro de Producción e Investigación Cañasbamba, de propiedad de la UNASAM, ubicada en la Provincia de Yungay. Este ecosistema agroforestal ocupa una superficie de 0.75 hectáreas y está conformado por plantaciones de lúcumo en asociación con cultivos de fresa y alfalfa bajo la práctica de cultivo de callejones.

3.3.2. Muestra

La unidad de análisis estuvo conformada por cuatro parcelas rectangulares de 4 m x 25 m, las cuales fueron seleccionadas de los 10 transectos trazados dentro del ecosistema agroforestal. Las parcelas fueron seleccionadas bajo el método de muestreo aleatorio simple por ser un ecosistema agroforestal homogéneo. Cada parcela fue georeferenciada con GPS cuyas vértices coordinados pueden observarse en la tabla 4, correctamente demarcada y señalizada.

Tabla 4

Coordenadas UTM (Zona 18L, Datum Horizontal PSD 56) de las parcelas de muestreo

Vértice	Este (E)	Norte (N)
	Parcela C-1	
1	195373	8993224
2	195362	8993247
3	195366	8993248
4	195370	8993223
	Parcela C-2	
1	195337	8993217

2	195329	8993239
3	195333	8993240
4	195340	8993218
Parcela C-3		
1	195313	8993211
2	195306	8993234
3	195309	8993234
4	195317	8993212
Parcela C-4		
1	195287	8993205
2	195282	8993230
3	195286	8993231
4	195391	8993207

3.3.3. Toma de datos

En las parcelas seleccionadas se tomaron medidas del diámetro normal a la altura del pecho (DAP) de los árboles de lúcumo mayores de 2.5 cm de diámetro. Se colectaron también en superficies de 1 m x 1 m todas las especies arbustivas y herbáceas (alfalfa, fresa y otras malezas) menores de 2.5 cm de diámetro y en superficies de 0.5 m x 0.5 m toda la hojarasca y raíces; para sus correspondientes procesamientos para determinar el contenido de carbono de los componentes de estudio del ecosistema agroforestal. (Arévalo *et al*, 2003)

3.4. Procedimiento

Para el tamaño de las parcelas para el respectivo muestreo del ecosistema agroforestal se tuvo en consideración el diámetro de las especies arbóreas y arbustivas, según lo estipulado en la metodología estandarizada del ICRAF.

Se trazaron parcelas de 4 m x 25 m porque los árboles inventariados no superaron los 30 cm de diámetro a la altura del pecho (DAP). Y dentro de estas parcelas en vértices opuestos fueron inventariados el componente arbustivo/herbáceo en cuadrantes de 1 m x 1 m, hojarasca y la biomasa subterránea en cuadrantes de 0.5 m x 0.5 m.

Para los cálculos de la biomasa vegetal arbórea se realizó un muestreo no destructivo, tomado medidas diamétricas de las especies arbóreas y muestreo destructivo de la biomasa arbustiva/herbácea, hojarasca y biomasa subterránea encontrada. (Arévalo *et al*, 2003)

Para determinar el carbono fijado (o indirectamente CO₂ capturado) se aplicó la relación propuesta por Arévalo *et al* (2003), asumiendo que el carbono fijado representa un 45% del peso de la biomasa seca total.

3.4.1. Características estructurales y funcionales del ecosistema agroforestal

Para el proceso de caracterización estructural y funcional del ecosistema agroforestal se desarrolló las siguientes fases metodológicas:

- **Revisión de fuentes secundarias y reconocimiento del área de estudio**

La metodología utilizada para identificación del ecosistema agroforestal se basó en la recolección de información secundaria, manejo del ecosistema agroforestal, ubicación y características principales de la zona de

estudio. Se consultó también estudios puntuales (tesis, artículos, etc.), entre ellas caracterización biofísica.

- **Recorridos de campo**

Se realizó un reconocimiento preliminar de la zona de estudio con el objetivo de conocer de manera general la zona y sus sistemas de producción más comunes y se identificó los diferentes componentes agroforestales presentes por medio de observaciones, descripción, análisis.

3.4.2. Biomasa arbórea viva

Para determinar la capacidad de captura de carbono en la biomasa arbórea viva, se delimitó cuatro parcelas de 4 m x 25 m, georeferenciando cada vértice con GPS. Las parcelas se delimitaron poniendo en cada vértice una estaca y alrededor con hilo rafia. En cada parcela había un promedio de cinco árboles de lúcumo, de los cuales se midieron el diámetro de los árboles de lúcumo a la altura del pecho (ADP). Como los árboles presentaban ramificaciones se midieron a menos de 1.30 metros desde el nivel del suelo. Se registraron los diámetros de cada ramificación del árbol para luego calcular el diámetro general del árbol utilizando la fórmula de la raíz cuadrada de la suma del diámetro de cada una de ellas. De esta manera se realizó el inventario de la biomasa arbórea viva. (Arévalo *et al*, 2003)



Fotografía 1: Medición de diámetro a la altura del pecho (DAP) de la biomasa arbórea viva dentro de las parcelas.

3.4.3. Biomasa arbustiva/herbácea (agrícola, pastizal y malezas) (BA/H)

Para determinar la capacidad de captura de carbono en la biomasa arbustiva/herbácea (BA/H) (agrícola, pastizal y malezas), estuvo compuesta por la biomasa sobre el suelo de arbustos menores de 2.5 cm de diámetro así como de cultivos (alfalfa y fresa), y otras hierbas (malezas), se calculó la biomasa por muestreos directos en dos cuadrantes de 1 m x 1 m, distribuidos al azar dentro de las parcelas de muestreo establecidas (vértices opuestos de cada parcela) de 4 m x 25 m. Para ello se cortó toda la vegetación a nivel del suelo y registró el peso fresco total por metro cuadrado; de estas, se colectaron una submuestra, se registraron el peso fresco y luego colocaron en bolsas de plástico blanco debidamente codificadas para ser secadas en estufas de aire caliente a 75 °C almacenadas en bolsas de papel, hasta obtener su peso seco constante. (Arévalo *et al*, 2003)

El peso seco así obtenido se elevó a toneladas por hectárea (t/ha) y dicho valor se multiplicó por el factor 0.45, obteniéndose la cantidad de carbono en dicha biomasa. (Arévalo *et al*, 2003)



Fotografía 2: Muestreo de la biomasa arbustiva/herbácea (fresa).



Fotografía 3: Muestreo de la biomasa arbustiva/herbácea (alfalfa).



Fotografía 4: Peso fresco de la submuestra de la biomasa arbustiva/herbácea (alfalfa).



Fotografía 5: Preparación y etiquetado de las submuestras para el posterior secado.



Fotografía 6: Secado de las submuestras de biomasa arbustiva/herbácea a 75c°/48horas.

Cuadrantes

El método de los cuadrantes es una de las formas más comunes de muestreo de vegetación. Los cuadrantes hacen muestreos más homogéneos y menos impacto de borde con comparación a transectos. El método consiste en colocar un marco cuadrado sobre la vegetación para determinar la densidad, cobertura y frecuencia de las plantas, por su facilidad de determinar la cobertura de especies. El tamaño de los cuadrantes depende de la densidad de las plantas a medirse. (Arévalo *et al*, 2003)

3.4.4. Biomasa de la hojarasca (BH)

Para determinar la capacidad de captura de carbono en la biomasa de la hojarasca se cuantificó con relación a la capa de mantillo y otros materiales en proceso de descomposición de los diferentes estratos del sistema agroforestal

(ramillas, ramas, hojas, flores, etc.). Dentro de cada uno de los cuadrantes de 1 m x 1 m se colocaron cuadrantes de 0.5 m x 0.5 m. Dentro de esta se colectó toda la hojarasca, se registró el peso fresco total por 0.25 m²; de esta se sacó una submuestra y se registró su peso; se colocó en bolsas de plástico blanco debidamente codificadas, para luego ser secadas en estufas a 75°C almacenadas en bolsas de papel, hasta obtener el peso seco constante. (Arévalo *et al*, 2003)

El peso seco así obtenido se llevó a t/ha y multiplicó por el factor 0.45 para obtener la cantidad de carbono por hectárea (C/ha).



Fotografía 7: Muestreo de la biomasa hojarasca (alfalfa).



Fotografía 8: Peso fresco de la submuestra de la biomasa hojarasca.

3.4.5. Biomasa subterránea (raíces) (BS)

Para determinar la capacidad de captura de carbono en la biomasa subterránea se usaron métodos directos e indirectos, de la siguiente manera:

- **Para la biomasa subterránea arbustiva/herbácea (fresa, alfalfa, malezas, etc.) (BSA/H), (método destructivo).**- La biomasa subterránea se encuentra en las raíces de los componentes del sistema agroforestal se muestrearon dentro de los cuadrantes de 0.5 m x 0.5 m colocados dentro de cada uno de los cuadrantes de 1 m x 1 m. Se colectaron todas las raíces, se sacudió la tierra, se lavó con cuidado, secó a temperatura ambiente, para luego registrar su peso fresco total por 0.25m². De este se sacó una submuestra y se registró su peso. De igual manera se almacenaron en bolsas de plástico blanco debidamente codificadas para luego ser secadas en una estufa de 75°C almacenadas en bolsas de papel. (Arévalo et al, 2003)

Finalmente, el peso seco de la biomasa se convertirá a toneladas por hectárea (t/Ha) multiplicándose por el factor 0.45, obteniendo de esta manera la cantidad de carbono en dicha biomasa, se asumirá que el 45% del peso seco contenido de la biomasa o vegetal es carbono.



Fotografía 9: Muestreo de la biomasa subterránea (alfalfa).



Fotografía 10: Lavado de la biomasa subterránea (alfalfa) para el posterior secado.



Fotografía 11: Peso fresco de la submuestra de la biomasa subterránea.

- **Para la biomasa arbórea viva y hojarasca (BSAV/H) (método no destructivo).** - Los cálculos de biomasa y carbono en raíces se estimaron mediante el uso de modelos reportados en la literatura o usando las relaciones biomasa de raíces versus la biomasa aérea, (Arévalo et al, 2003)
- La biomasa subterránea, conformada por el sistema radicular de la vegetación existente, se ha estimado como un porcentaje de la biomasa aérea (Gamarra, 2001). Para las diferentes especies forestales existentes, la literatura reporta que la proporción entre la biomasa arriba del suelo y la de las raíces es de aproximadamente 30%. , (Arévalo *et al*, 2003)

3.5. Cálculos

3.5.1. Cálculos de la biomasa vegetal total

La biomasa vegetal total es equivalente a la sumatoria de la biomasa arbórea viva total, biomasa arbustiva/herbácea, biomasa de la hojarasca y la biomasa subterránea.

$$\mathbf{BVT \text{ (t/ha)} = (BAV + BA/H + BH + BS)}$$

Donde:

BVT = Biomasa vegetal total

BAV = Biomasa arbórea viva

BA/H = Biomasa arbustiva/herbácea

BH = Biomasa de la hojarasca

BS = Biomasa subterránea

3.5.2. Biomasa arbórea viva (kg/árbol)

Se utilizó el siguiente modelo (Arévalo *et al*, 2003).

$$\mathbf{BAVT = 0,1184 DAP^{2,53}}$$

Donde,

BAVT = Biomasa arbórea viva

0.1184 = Constante

DAP = Diámetro a la altura del pecho (cm).

2.53 = Constante

La biomasa arbórea en toneladas por hectárea se obtuvo sumando las biomásas de todos los árboles medidos y registrados (BAVT) en las parcelas de muestreo (Arévalo et al, 2003), es decir:

$$BAV \left(\frac{t}{ha} \right) = BAVT * 0.1$$

Donde:

BAV = Biomasa arbórea viva en t/ha

BAVT = Biomasa total en la parcela de muestreo

0.1 = Factor de conversión en parcelas de 4 m x 25 m.

3.5.3. Cálculo de la biomasa arbustiva/herbácea (fresa, alfalfa, malezas, etc.) (t/ha)

La biomasa arbustiva/herbácea en toneladas por hectárea (Arévalo *et al*, 2003), se calculó mediante la ecuación

$$BA/H \left(\frac{t}{ha} \right) = \left(\left(\frac{PSM}{PFM} \right) * PFT \right) * 0.01$$

Donde:

BA/H = Biomasa arbustiva/herbácea, materia seca

PSM = Peso seco de la muestra colectada

PFM = Peso fresco de la muestra colectada

PFT = Peso fresco total por metro cuadrado

0.01= Factor de conversión

3.5.4. Cálculo de la biomasa de la hojarasca (t/ha)

La biomasa de la hojarasca (Arévalo *et al*, 2003), se calcula con la siguiente ecuación:

$$BH \left(\frac{t}{ha} \right) = \left(\left(\frac{PSM}{PFM} \right) * PFT \right) * 0.04$$

Donde:

BH = Biomasa de la hojarasca, materia seca

PSM = Peso seco de la muestra colectada

PFM = Peso fresco de la muestra colectada

PFT = Peso fresco total por 0.25 m²

0.04 = Factor de conversión

3.5.5. Biomasa subterránea (raíces)

$$BS = (BSAV/H + BSA/H)$$

Donde:

BS = Biomasa subterránea

BSAV/H = Biomasa subterránea de biomasa arbórea viva/hojarasca

BSA/H = Biomasa subterránea arbustiva/herbácea

Caso biomasa arbórea viva y hojarasca

La biomasa subterránea, conformada por el sistema radicular de la vegetación existente, se ha estimado como un porcentaje de la biomasa aérea. (Arévalo *et al*, 2003)

Para la especie forestal, la literatura reporta que la proporción entre la biomasa arriba del suelo y la de las raíces es de aproximadamente 30%. (Arévalo *et al*, 2003)

$$\mathbf{BSAV/H = BAV/H * 0.30 (t/ha)}$$

Donde:

BSAV/H = Biomasa subterránea arbórea viva/hojarasca

BAV/H = Biomasa vegetal total arbórea viva/hojarasca

0.30 = Factor de conversión

$$\mathbf{BAV/H = (BAV + BH) (t/ha)}$$

Donde,

BAV = Biomasa arbórea viva

BH = Biomasa de la hojarasca

Caso biomasa arbustiva/herbácea

La biomasa subterránea o de las raíces (Arévalo *et al*, 2003), se calcula con la siguiente ecuación:

$$\mathbf{BSA/H \left(\frac{t}{ha} \right) = \left(\left(\frac{PSM}{PFM} \right) * PFT \right) * 0.04}$$

Donde,

BSA/H = Biomasa subterránea, materia seca

PSM = Peso seco de la muestra colectada

PFM = Peso fresco de la sub muestra

PFT = Peso fresco total por 0.25 m²

0.04 = Factor de conversión

3.5.6. Cálculo del carbono en la biomasa vegetal total (t/ha)

El carbono de la biomasa vegetal total (Arévalo *et al*, 2003), se determinó mediante la siguiente ecuación:

$$\mathbf{CBV\ (t/ha) = BVT * 0.45}$$

Donde,

CBV = Carbono en la biomasa vegetal

BVT = Biomasa vegetal total

0.45 = Constante

IV. RESULTADOS

4.1. Características estructurales y funcionales del ecosistema agroforestal

4.1.1. Características estructurales

- **El tipo de componente.** - Es leñoso (árbol, arbustivo/herbáceo y malezas).

- **El acomodo espacial.** - Se refiere a la distribución horizontal y vertical de los componentes agroforestales. Se plantean las siguientes categorías de disposiciones espaciales, de acuerdo con los tipos de componentes del ecosistema agroforestal del presente estudio.
 - **Disposición horizontal de componentes vegetales.** - Es zonal por ser cultivo en callejones.
 - **Densidad vegetal en el plano horizontal.** - Es esparcida.
 - **Disposición vertical aérea de componentes vegetales.** - Es biestratificado.

- **El acomodo temporal.** - Se refiere a la dinámica cronológica de componentes del ecosistema agroforestal. La dinámica temporal se determina para cada tipo de componente. Esta dinámica depende de las características biológicas de los componentes, condiciones edafoclimáticas y manejo agroforestal.
 - **Intermitente.** - Cuando el componente vegetal leñoso está siempre presente y el vegetal no leñoso aparece y desaparece de manera regular del ecosistema.

- El ecosistema agroforestal como ya se ha visto está conformado por una asociación de árboles bien manejados de plantaciones de Lúcmo (*Pouteria obovata*) de 5 años de edad en combinación de cultivos alfalfa (*Medicago sativa*) y fresa (*fragaria vesca*). Se nota claramente el estrato superior por árboles de lúcmo y el estrato inferior conformado por los cultivos de alfalfa y fresa al interior de las hileras (callejones) de los árboles. La distribución horizontal de los árboles está en función del espacio necesario y las características ecológicas y edáficas para la obtención de una buena producción de frutos, para evitar, la competencia por luz, agua y nutriente. Por esta razón es de 5 m x 5 m. La distribución horizontal o densidad de siembra de los cultivos de alfalfa y fresa está en función los requerimientos de ambas especies con relación a la calidad agrológica del suelo.

Las plantaciones de lúcmo han sido establecidas en hileras longitudinales orientadas de este a oeste con un distanciamiento de 5 metros entre hileras y los árboles han sido establecidos en ellas con un distanciamiento también de 5 metros de longitud entre planta y planta. Cada una de estas tienen ramificaciones de 7 a 8 mayormente, observando la formación de callejones entre las hileras de los árboles de lúcmo, áreas que

han sido aprovechadas para establecer el componente agrícola conformado por las especies de alfalfa y fresa. El fin de cultivo en callejones es mantener o incrementar el rendimiento y el control de las malezas.

- El comportamiento de las especies agrícolas (perennes) asociadas a los árboles se puede afirmar que es buena ya que se observó en la zona de estudio que no presentaba ninguna dificultad para el desarrollo de cada uno de los componentes.

4.1.2. Características funcionales

Los árboles aportan nutrientes, biomasa, sombra, mantienen el suelo húmedo por la capacidad de sombra, protegen los cultivos de las heladas, de los vientos, disminuyen el ataque de plagas y enfermedades ya que rompe el monocultivo. De igual manera, el ecosistema agroforestal tiene un carácter de producción o servicios del ecosistema agroforestal:

- **Productos.** - frutas y pastura.
- **Servicios**

➤ Reducción de la erosión del suelo y mantenimiento de la fertilidad

Función del árbol para el control de la erosión. - Son barreras vivas; protegen el suelo por capa de hojarasca (reducción del impacto erosivo de las gotas de lluvia, efecto de la copa y del fuste en la reducción de la velocidad de caída de las gotas de lluvia).

Función del árbol para el mantenimiento de la fertilidad. - Fijación biológica de fósforo y nitrógeno, reciclaje de nutrientes desde las capas más profundas, formación de materia orgánica para el suelo. De igual manera capturan minerales que se encuentran profundamente en el suelo, demasiado lejos del alcance de los cultivos, traen estos minerales a la superficie y también lo regresan a los cultivos como hojarasca, donde ellos puedan utilizarlos cuando la hojarasca se descomponga.

- **Mantenimiento de la cantidad y calidad del agua.** - Los árboles ejercen su influencia sobre el ciclo del agua a través de la transpiración y retención del agua en el suelo, la reducción del escurrimiento y el aumento de la filtración.

- **Retención de carbono y reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero.** - El ecosistema agroforestal tiene una importante función en la retención de carbono en los suelos y en la biomasa de madera (en superficie y subterránea).

- **Mantenimiento y ordenación de la diversidad biológica en el paisaje agrícola.** - El ecosistema agroforestal desempeña una función importante en la conservación de la diversidad biológica y menor probabilidad de plagas dominantes.

- **Regulación microclimática.**- El ecosistema agroforestal presenta un microclima moderado (atenuación de temperatura extrema, sombra, menor evapotranspiración).

- **Del componente arbustivo/herbáceo.** El objetivo es la retención de suficientes residuos sobre el suelo para proteger el suelo de la erosión hídrica y eólica; reducir los escurrimientos de agua y la evaporación; mejorar la productividad del agua; y mejorar las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo asociadas con una productividad sustentable a largo plazo. También se tiene que tomar en cuenta el uso de rotación de cultivos para lo cual el objetivo es usar una rotación de cultivos diversificados para ayudar a moderar/mitigar posibles problemas de malezas, enfermedades y plagas; utilizar los efectos benéficos de algunos cultivos sobre las condiciones del suelo y sobre la productividad del próximo cultivo; y proporcionar a los agricultores opciones económicamente viables que minimicen los riesgos.
- En caso de hojarasca se deshacen por la acción de microorganismos y luego son mineralizadas por hongos y bacterias que enriquecen el suelo. A menudo, más por un esquema estético que por ciencia, interrumpimos el ciclo perfecto de la naturaleza. Las hojas secas descompuestas mantienen la humedad del suelo y se convierten en nutrientes. Excepto cuando pueden causar obstrucción de desagües de lluvia o algo de ese tipo, cuando están dispersas en la tierra, son parte del ciclo de árbol y ayudan a mantener la salud del suelo.

La hojarasca que producen los SAFs es fuente de materia orgánica. En ella, los macro y microorganismos del suelo encuentran condiciones favorables para multiplicarse y descomponer las formas complejas presentes en los tejidos, en sustancias simples como el nitrógeno, el fósforo, el potasio, magnesio y calcio para que sean absorbidas nuevamente por los árboles y los cultivos vecinos.

- El sistema de raíces, con su rizobiota y comunidades de organismos relacionados, cuando se descomponen libera minerales y mejora la estructura.

4.2. Capacidad de captura de carbono del componente forestal del ecosistema agroforestal

En la evaluación de campo, no se registraron árboles muertos en pie, tampoco árboles caídos muertos; por lo que la biomasa forestal total para el presente estudio solo estuvo referida a los árboles vivos debidamente identificados en cuatro parcelas.

Tabla. 5: Biomasa de arbórea viva y carbono orgánico almacenado en t/ha

Parcela	BAV (t/ha)	F de C	CO-BAV (t/ha)
P1	83.172	0.45	37.427
P2	66.113	0.45	29.751
P3	59.433	0.45	26.745
P4	58.189	0.45	26.185
Promedio	66.727	0.45	30.027

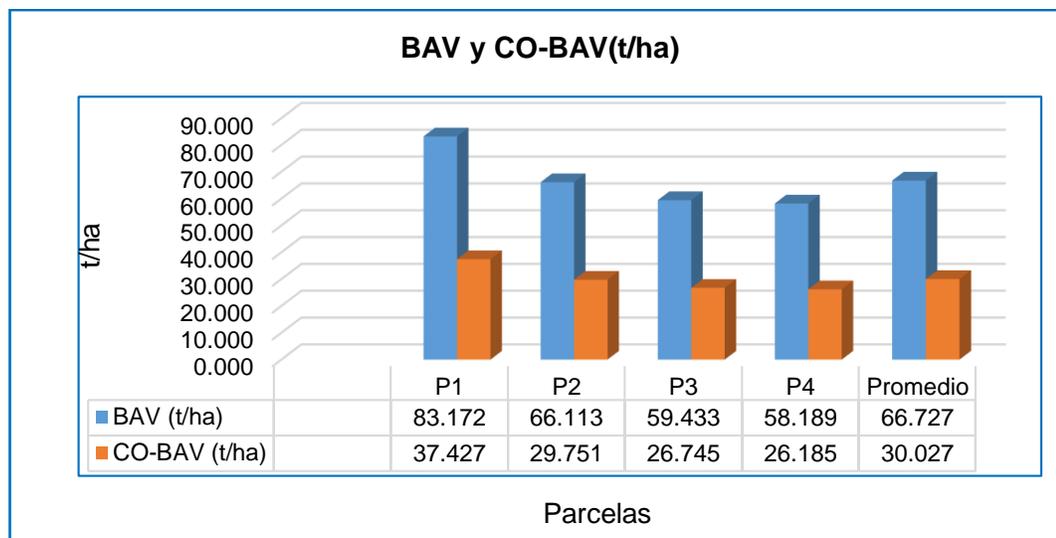


Figura 1. Biomasa arbórea viva y carbono orgánico almacenado

La Fig. 1 muestra la capacidad de captura de carbono en la biomasa arbórea del ecosistema agroforestal en la cual se obtuvo 30.027 tC/ha, promedio total de las parcelas evaluadas, siendo la parcela (P1) la más representativa con 37.427 tC/ha seguida de la parcela (P2) con 29.751 tC/ha, parcela (P3) con 26.745 tC/ha y parcela (P4) con 26.185 tC/ha, como se muestra en la figura precedente. En los resultados se ve que la parcela (P1) tiene mayor capacidad de captura de carbono y va bajando sucesivamente hasta llegar a parcela (P4). Esto se debe a que en la parte de parcela (P1) hay mayor disponibilidad de agua porque a unos pocos metros del ecosistema agroforestal pasa un pequeño canal y por ende hay mayor biomasa arbórea; y también por el manejo del componente arbóreo.

4.3. Capacidad de captura de carbono del componente arbustivo/herbáceo (fresa y alfalfa y malezas) del ecosistema agroforestal

La captura de carbono del componente arbustivo/herbáceo (fresa y alfalfa y malezas) del ecosistema agroforestal se explica a través del siguiente tabla.

Tabla 6: Biomasa de la vegetación arbustiva/herbácea y carbono orgánico almacenado en t/ha

Parcela	BA/H (t/ha)	F de C	CO-BA/H (t/ha)
P1	1.417	0.45	0.638
P2	1.199	0.45	0.540
P3	1.630	0.45	0.734
P4	1.887	0.45	0.849
Promedio	1.533	0.450	0.690

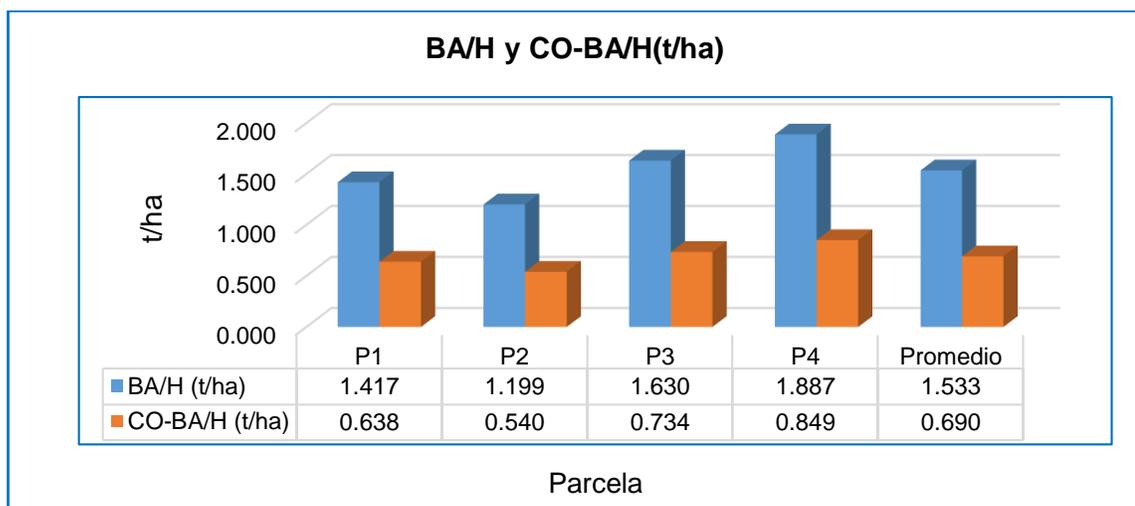


Figura 2. Biomasa arbustiva/herbácea y carbono orgánico almacenado

La Fig. 2 muestra la capacidad de captura de carbono del componente arbustivo/herbáceo del ecosistema agroforestal en el cual se obtuvo 0.690 tC/ha, promedio total de las parcelas evaluadas, siendo la parcela (P4) la más representativa con 0.849 tC/ha, seguido de la parcela (P3) con 0.734 tC/ha, parcela (P1) con 0.638 tC/ha y parcela (P2) con 0.540 tC/ha, como indica la figura precedente. Esta particularidad de los resultados se debe al tamaño, cantidad de biomasa, competencia por luz y por el manejo del componente arbustivo/herbáceo.

4.4. Capacidad de captura de carbono de la hojarasca del ecosistema agroforestal

La capacidad de captura de carbono de la hojarasca del ecosistema agroforestal se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 7: Biomasa de la hojarasca y carbono orgánico almacenado en t/ha

Parcela	BH (t/ha)	F de C	CO-BH (t/ha)
P1	2.206	0.45	0.993
P2	4.229	0.45	1.903
P3	0.800	0.45	0.360
P4	0.860	0.45	0.387
Promedio	2.024	0.450	0.911

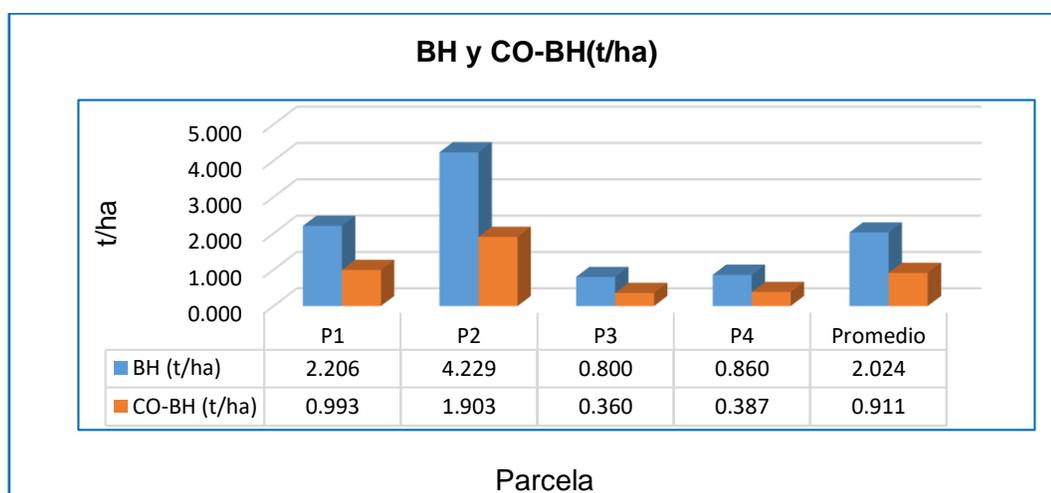


Figura 3. Biomasa de la hojarasca y carbono orgánico almacenado

La Fig. 3 muestra la capacidad de captura de carbono del componente hojarasca del ecosistema agroforestal en la cual se obtuvo 0.911 tC/ha, promedio total de las parcelas evaluadas, siendo la parcela (P2) la más representativa con 1.903 tC/ha, seguida de la parcela (P1) con 0.993 tC/ha, parcela (P4) con 0.387 tC/ha y parcela (P3) con 0.560 tC/ha, como indica la figura precedente. Estos resultados se deben a la poca presencia de ramas, hojas que dependen del tiempo de descomposición, cantidad de biomasa, presencia de microorganismos reductores y el manejo de la hojarasca.

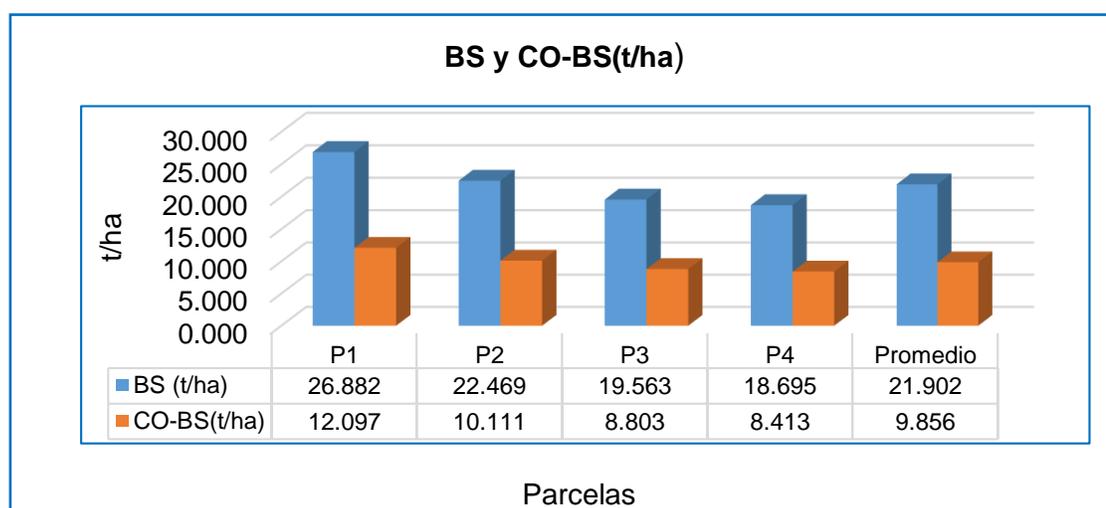
4.5. Capacidad de captura de carbono del componente subterráneo (raíces) del ecosistema agroforestal

La capacidad de captura de carbono del componente subterráneo (raíces) del ecosistema agroforestal, se reporta en la siguiente tabla.

Tabla. 8: Biomasa subterránea y carbono orgánico almacenado en t/ha

Parcela	BS(t/ha)	F de C	CO-BS (t/ha)
P1	26.882	0.45	12.097
P2	22.469	0.45	10.111
P3	19.563	0.45	8.803
P4	18.695	0.45	8.413
Promedio	21.902	0.450	9.856

Figura 4. Biomasa subterránea y carbono orgánico almacenado



La Fig. 4 muestra la capacidad de captura de carbono del componente hojarasca del ecosistema agroforestal en la cual se obtuvo 9.856 tC/ha, promedio total de las parcelas evaluadas, siendo la parcela (P1) la más representativa con 12.097 tC/ha, seguida de la parcela (P2) con 10.111 tC/ha, parcela (P3) con 8.803 tC/ha y parcela (P4) con 8.413 tC/ha, como indica la figura. La diferencia de resultados se debe principalmente al volumen de las raíces.

4.6. Capacidad de la captura de carbono del ecosistema agroforestal

La capacidad de la captura de carbono del ecosistema agroforestal se explica en la siguiente tabla en forma detallada.

Tabla. 9: Carbono orgánico de la biomasa vegetal total en (t/ha)

Parcela	CO-BAV (t/ha)	CO-BA/H (t/ha)	CO-BH (t/ha)	CO-BS (t/ha)	CO-BVT (t/ha)
P1	37.427	0.638	0.993	12.097	51.155
P2	29.751	0.540	1.903	10.111	42.304
P3	26.745	0.734	0.360	8.803	36.642
P4	26.185	0.849	0.387	8.413	35.834
Promedio	30.027	0.690	0.911	9.856	41.484

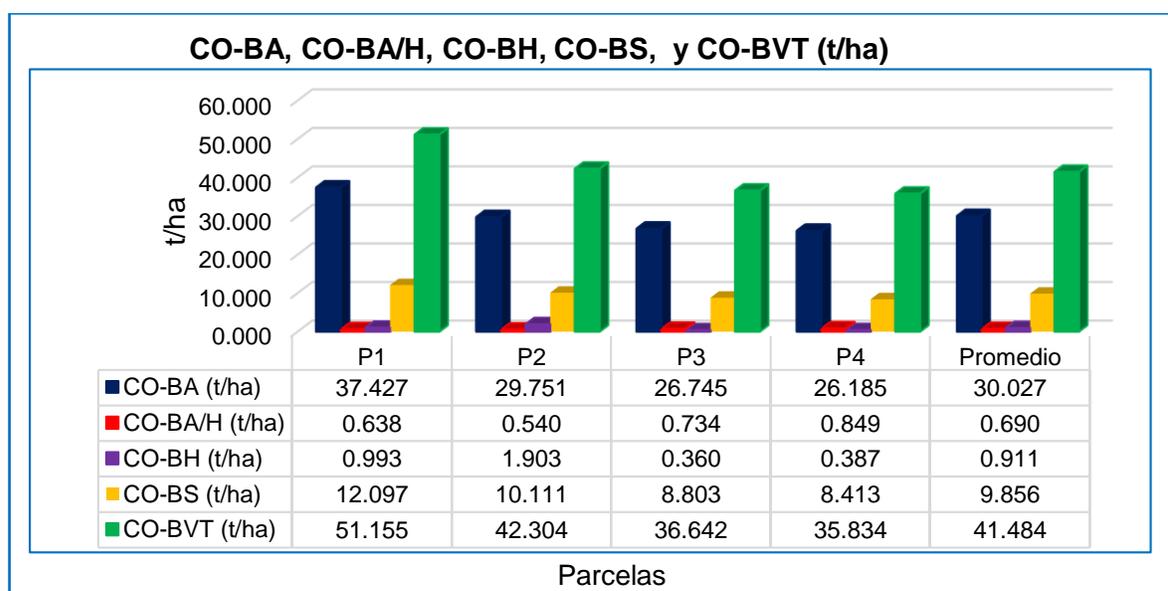


Figura 5. Carbono orgánico de la biomasa vegetal total

La Fig. 5 muestra la capacidad de captura de carbono total del ecosistema agroforestal en la cual se obtuvo 41.484 tC/ha, promedio total de las parcelas evaluadas, siendo parcela (P1) la más representativa con 51.155 tC/ha, seguida de la parcela (P2) con 42.304 tC/ha, parcela P3 con 36.642 tC/ha y parcela P4 con 35.834 tC/ha, como indica la figura. La diferencia de resultados principalmente se debe a la cantidad de biomasa, tipo de especie, tipo de suelo, disponibilidad de nutrientes, edad y manejo de cada uno de los componentes del ecosistema agroforestal.

Tabla. 10: Carbono orgánico almacenado en todas las fuentes en t/ha

FUENTE MEDIDA	CARBONO TOTAL ALMACENADO t/ha	CARBONO TOTAL ALMACENADO t/ha en %
Biomasa arbórea viva	30.027	72%
Biomasa arbustiva/herbácea	0.690	2%
Biomasa de hojarasca	0.911	2%
Biomasa subterránea	9.856	24%
Total	41.484	100%

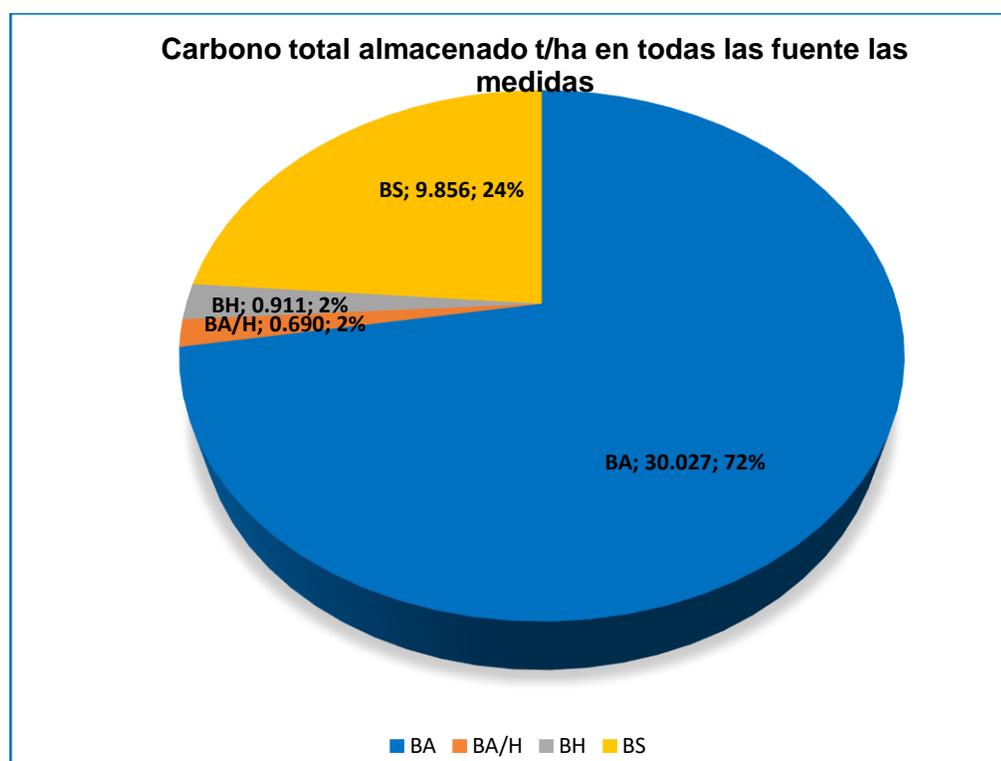


Figura 6. Carbono total almacenado en todas las fuentes del SAF.

La Fig. 6 muestra el resultado en porcentajes de cada uno de los componentes evaluados, destacando la biomasa arbórea con 72% (30.027 tC/ha), seguida de la biomasa

subterránea con 24% (9.856 tC/ha), finalmente obteniéndose un 2% tanto para la biomasa arbustiva/herbácea y biomasa de la hojarasca (0.690tC/ha y 0.911tC/ha) respectivamente. Estas diferencias de porcentaje en los componentes evaluados dentro del ecosistema agroforestal se deben en gran parte a la cantidad de biomasa y manejo de cada componente evaluado.

V. DISCUSIÓN

Los ecosistemas agroforestales pueden llegar a contribuir a la reducción y control de las emisiones de los GEI, entre ellos el CO₂, no encuentra espacio para la discusión, ya que el principal problema para que acelere el cambio climático es el cambio de uso de la tierra (roso, tala y quema) y la silvicultura. Que la concentración de carbono en la biomasa de hojarasca en los sistemas forestales y agroforestales representa una fuente de suma importancia en cuanto a sumideros de carbono, es un hecho ampliamente comprobado, debido a la importante y constante actividad biológica del componente vegetal por cientos y miles de años.

En consecuencia, a partir de los resultados obtenidos en el presente trabajo de investigación podemos afirmar lo siguiente:

La práctica agroforestal en la zona de estudio es el de cultivo en callejones. Se pudo describir las características estructurales y funcionales y los resultados obtenidos coinciden con los resultados obtenidos por el estudio realizado por (Hidalgo, 2009).

La cantidad de carbono almacenado en la biomasa arbórea, conformada por árboles

con DAP superiores a 2.50 cm, está influenciada por las características de cada árbol, obteniéndose como resultado en el presente estudio un 30.027tC/ha (72% de la biomasa vegetal total). Esta cifra comparada con resultados obtenidos en estudios similares de biomasa arbórea en sistemas agroforestales, barbechos y bosques secundarios de la amazonia peruana, es inferior, como el encontrado en el huerto casero (94.72 tC/ha.), en el bosque secundario (80.75 tC/ha.) en el sistema café bajo sombra en la región Ucayali, Perú, evaluado en 54.43 tC/ha (Callo-Concha, 2000), y del SAF de 20 años, conformado por cacao-guabacapirona-mango en la zona de Juanjui, San Martín, evaluado en 33.732 tC/ha (Concha, *et al.*, 2007). Y si comparamos con biomasa arbórea en sistemas forestales en bosques primarios y secundarios en la región Ucayali con 80.75 tC/ha (bosque primario), con 54.43 tC/ha (bosque secundario) (Concha et al, 2007) y en plantaciones forestales de Eucalyptus Globulus L. del Bosque Tuyu de la comunidad campesina de Siete Imperios, distrito de Marcara - Carhuaz, con 51.768 tC/ha (Hidalgo, 2006). Como vemos en los resultados de las diversas investigaciones, las concentraciones de carbono en la biomasa arbórea son diferentes comparado con el presente estudio. Esto solo puede deberse a las siguientes razones: a las características climáticas y edáficas de las zonas de estudio, a la edad de cada especie, altura, DAP, densidad, tipo de manejo, y características específicas de las especies. Dichas características van determinando la fisonomía peculiar del ecosistema agroforestal en términos de almacenamiento de carbono.

En la tabla. 5, biomasa arbórea viva y carbono orgánico almacenado, en 0.75 hectáreas de uso agroforestal se encuentran volúmenes sustancialmente diferentes y consecuentemente también diferentes volúmenes de carbono almacenado en la biomasa arbórea. En las cuatro parcelas de muestreo está en un rango de 37.427 tC/ha, en la parcela P1 y 26.185 tC/ha, en la parcela P4 (Ver apéndice B: Biomasa arbórea viva en 4 parcelas). En cada parcela el total de árboles fueron 5.

En consecuencia, se sostiene que la captura de carbono de la biomasa arbórea viva no está estrictamente relacionada con la edad de los SAF sino a la diversidad y cantidad de las

especies propias de cada sistema con diferentes edades, alturas, diámetros, a las prácticas agroforestales, al manejo adecuado de la plantación mediante podas y otras prácticas culturales. En ellos se puede verificar que el mayor porcentaje de carbono de la biomasa vegetal total está precisamente almacenada en la biomasa arbórea viva.

El carbono capturado en la biomasa arbustiva/herbácea en el ámbito de estudio es 0.690 tC/ha, con un 2% de carbono de la biomasa vegetal total y comparando con resultados obtenidos de otras investigaciones como, en la biomasa arbustiva/herbácea del huerto casero la concentración de carbono es de 0.542 tC/ha, en el bosque secundario 0.775 tC/ha, en el sistema café bajo sombra 0.631 tC/ha, en la región Ucayali (Callo-Concha, 2000); 0.82 tC/ha, en el bosque secundario de 15 años en Yurimaguas, 2.21 tC/ha., en el bosque secundario de 15 años en Pucallpa, 1.25 tC/ha., y 1.15 tC/ha, en el SAF de 20 años (cacao-guaba-capirona-mango) en Juanjui, San Martín (Concha *et al*, 2007).

En la tabla 6, biomasa de la vegetación arbustiva/herbácea y carbono orgánico almacenado en tC/ha., se muestra que la concentración de carbono en dicha fuente en las cuatro parcelas de muestreo está entre 0.638 y 0.849 tC/ha., lo cual demuestra que existen pocas diferencias entre ellas y en comparación con los demás estudios.

En todos los casos estudiados, la contribución de esta fuente en términos de aporte de carbono almacenado ha sido significativamente baja en comparación a las otras fuentes, siendo en el área de estudio la más baja entre todas. Estas diferencias pueden deberse al tipo de uso del suelo, en el caso del presente estudio como tenemos la alfalfa y la fresa que tienen que mantenerse libre de malezas la cual implica la eliminación rutinaria de estas que, la densidad de las especies, tamaño, también debido a la alta competencia existente entre los componentes vegetales del sistema básicamente por luz, que en términos de volumen aporta menor cantidad de biomasa que el sotobosque natural.

La biomasa de hojarasca del área de estudio aportó con 0.911 tC/ha. (2% del carbono concentrado en la biomasa vegetal total) como se observa los resultados en la tabla 7 que representan una mínima diferencia de contribución a la reserva de carbono total del SAF frente al carbono de la biomasa arbustiva/herbácea evaluada.

En consecuencia, de las comparaciones hechas a los resultados de estudios similares, observamos que la cifra obtenida en el estudio es numéricamente inferior al encontrado en el huerto casero (1.022 tC/ha.), al igual que en el bosque secundario (2.568 tC/ha.), al sistema café bajo sombra (1.700 tC/ha.) en la región Ucayali (Callo-Concha, 2000); y al bosque secundario de 15 años en la zona de Pucallpa (2.85 tC/ha.) (Alegre et al, 1998); en el bosque secundario de 15 años (4.03 tC/ha.).

Las diferencias encontradas en las concentraciones de carbono en la biomasa de hojarasca del presente estudio y otros autores pueden deberse a las diferentes edades, densidad, manejo (podas periódicas y deshierbe), diversidad de especies del ecosistema y a las condiciones climáticas. Estas diferencias también se observan entre parcelas de muestreo del sistema agroforestal estudiado tal como es 0.993 tC/ha en la parcela P1 y 0.387 tC/ha en la parcela P4. Esto responde fundamentalmente a las características de las especies vegetales allí presentes, en términos de caducidad foliar, densidad, capacidad de regeneración, volumen biomásico foliar, composición física y química específica, resistencia a la descomposición y concentración de microorganismos reductores que determinan periodos cortos o prolongados de descomposición y mineralización de la materia orgánica.

Según Mac Dicken (1997), el carbono almacenado en la biomasa subterránea es el equivalente al 30% de la sumatoria de los aportes de carbono de la biomasa aérea (arbórea viva y hojarasca) más el resultado de la biomasa arbustiva/herbácea, que es el 45%, dando como resultado el carbono capturado de 9.856 tC/ha. Dicha cifra, resulta significativamente

superior al encontrado en barbechos en bosques secundarios de 15 años (3.32 tC/ha) y en barbechos en bosques secundarios de 15 años en Pucallpa. (Alegre *et al*, 1998)

Esto nos permite afirmar que los bosques secundarios parecen desarrollar más biomasa radicular que los bosques nativos y plantaciones. En consecuencia, la concentración de carbono en la biomasa subterránea de los diferentes ecosistemas agroforestales de este y otros estudios, así como en las diferentes parcelas de muestreo del ecosistema agroforestal estudiado, serán muy variables y estarán en proporción directa al volumen de la biomasa vegetal aérea que a su vez dependerá de las características climáticas propias de cada zona y de la composición y fisonomía del componente vegetal presente.

Los resultados obtenidos en el presente estudio indican que SAF de lúcumo con combinación de alfalfa y fresa tiene una capacidad de captura de carbono de 41.848 tC/ha. La cantidad media de captura de carbono es 10.371 tC/ha, almacenada en los componentes del ecosistema agroforestal. Este resultado se encuentra por debajo de estudios realizados en: sistemas agroforestales evaluados en Loreto, Perú equivalente a 91.54 tC/ha (Malca, 2001); determinación de las reservas totales de carbono en un sistema agroforestal de la selva alta de Tingo María 94.384 tC/ha., y en sistemas agroforestales de Pucallpa, Perú que reportó concentraciones de carbono entre 53 y 85 tC/ha (Alegre, 2002) en huertos familiares con plantaciones de cacao. Y por encima de la tasa de absorción de carbono en los sistemas agroforestales, estimación del carbono almacenado en tres sistemas agroforestales durante el primer año de instalación en el departamento de Huánuco fue de El carbono total acumulado en la biomasa y necromasa aérea durante el primer año en los sistemas agroforestales fue de 9.44 tC/ha, 11.40 tC/ha. y 11.37 tC/ha. (Timoteo *et al*, 2016).

La fuente de mayor contribución fue la biomasa arbórea viva con una cantidad media de 30.027 tC/ha., representando un 72% del total de las fuentes medidas, seguida de bioma subterránea con 9.856 que representa un 24%, seguida de biomasa hojarasca con 0.911 que

representa un 2% y finalmente la biomasa arbustiva/herbácea de 0.690 representando un 2% del total.

Como se puede observar en la tabla 9, el carbón orgánico de la biomasa vegetal total (tC/ha) del ecosistema agroforestal, existe poca diferencia de carbón orgánico entre las cuatro parcelas evaluadas. Estos rangos están entre 35.834 (parcela 4) y 51.155 (parcela 1), y estas diferencias son por las diferentes características que presenta la distribución espacial (densidad), crecimiento heterogéneo en altura y crecimiento de los componentes vegetales que conforman el ecosistema agroforestal, influencias del manejo agroforestal, disponibilidad de nutrientes y condiciones climáticas.

El rango de valores encontrados para el carbono almacenado en sistemas agroforestales, incluido el suelo, se encuentra entre 12 y 228 tC/ha; esta cifra se encuentra dentro del rango de valores determinado en el presente estudio. En consecuencia, la cifra de 41.484 toneladas de carbono total por hectárea determinada en el estudio se encuentra dentro del rango sugerido (Dixon, 1995).

VI. CONCLUSIONES

- Una buena estructura de un ecosistema agroforestal cumple funciones esenciales para la solución de los problemas de degradación de la tierra, y como una respuesta a la escasez de alimento, leña, ingreso, forraje animal y materiales de construcción. La amplitud y la variedad de sistemas y prácticas agroforestales implica que la agroforestería puede ofrecer soluciones parciales para muchos problemas productivos y de uso de la tierra. Es conocida la potencialidad de los árboles fijadores de nitrógeno para mejorar la fertilidad de las tierras cultivadas y de las áreas de pastizal; la resistencia de ciertos árboles a la sequía (muy importante en las zonas áridas).
- La captura de carbono en el ecosistema agroforestal, con los resultados obtenidos, tiene mucha proximidad a las cifras de captura de carbono reportados por literatura especializada en bosques secundarios y sistemas agroforestales de ecosistemas tropicales.
- El carbono capturado en la biomasa arbórea viva fue de 30.027tC/ha, con un 72 % del total y es el componente de mayor volumen en captura de carbono.

- El carbono capturado del componente arbustivo/herbáceo fue de 0.690tC/ha, con un 2 % del total, y es el componente de menor volumen en captura de carbono.
- El carbono capturado del componente de la hojarasca fue de 0.911tC/ha, con un 2 % del total e igual que el componente arbustivo/ herbáceo contiene menos carbono.
- El carbono capturado del componente subterráneo fue de 9.856tC/ha, con un 24% del total y es la segunda fuente en la captura de carbono.
- La capacidad de captura de carbono del ecosistema agroforestal del centro de producción e investigación Cañasbamba - UNASAM– Yungay – Áncash. En 0.75 hectáreas el resultado fue de 41.484 toneladas por hectárea, de los que 32.628 toneladas (76%) corresponde al carbono almacenado entre los diferentes componentes de la biomasa vegetal aérea y 9.856 toneladas (24%) corresponde al carbono almacenado en las raíces. Dichas cifras permiten inferir que el ecosistema agroforestal estudiado tiene una alta capacidad de almacenamiento de carbono, ya que este resultado es teniendo en cuenta que las plantaciones de lúcumo solo tienen 5 años, y por tanto interviene en la reducción de emisiones de GEI, especialmente del CO₂. Esto se debe a la presencia permanente de vegetación arbustiva/herbácea y de la vegetación arbórea, que son los principales sumideros superficiales que desarrollan los procesos de secuestro y liberación dentro del ciclo de la materia y la energía; lo que contribuye a un cambio climático global favorable superior a lo que podrían contribuir los bosques “climáticos” que han “congelado” su capacidad de transformación de carbono atmosférico a biomasa.

VII. RECOMENDACIONES

- Efectuar estudios complementarios que evalúen las características estructurales como características funcionales para mejorar la asociación de los componentes de los sistemas agroforestales y tener mejor eficiencia en la conservación del ambiente.
- Realizar estudios sobre el potencial de captura de carbono en los ecosistemas agroforestales de lúcumo con diversas asociaciones vegetales en las diferentes zonas de la sierra de Áncash para hacer comparaciones de captura según tipo de suelo, gradientes altitudinales y longitudinales y sistemas de producción.
- Elaborar investigaciones sobre captura de carbono en más sistemas agroforestales semejantes y diferentes a los evaluados en el estudio con la finalidad de estimar el potencial de carbono contenido en los mismos.
- Efectuar estudios de determinación de ecuaciones alométricas para las especies de frutales nativos que permitan obtener información más próxima a la realidad en materia de biomasa y concentración de carbono en sistemas agroforestales.

- Realizar diversos estudios sobre el potencial de captura de carbono en otros ecosistemas productivos, como en gramíneas, legumbres, hortalizas, frutales, ganadería, bosques manejados y plantaciones forestales para tener una base de datos para las siguientes investigaciones.
- Sensibilizar a las autoridades respectivas municipales sobre la necesidad de fomentar y regular a través de incentivos a aquellos que realicen prácticas agroforestales en ecosistemas diferentes, y prohibir las prácticas tradicionales de tala, roso y quema o cultivos en limpio que dañan el ecosistema y contribuyen al calentamiento global a través de las emisiones de CO₂.
- Hacer investigaciones con especies forestales maderables y cultivos permanentes en los sistemas agroforestales para que de esta forma se pueda incrementar los sumideros de carbono en la vegetación y en el suelo, y que permitan elaborar una propuesta para incentivar sistemas agroforestales en Áncash, con especies que presenten mayor potencial para la captura de carbono y como consecuencia evitar el agotamiento de las reservas naturales.

VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alegre, J., Arevalo, L., & Ricse, A. (1998). Reservas de Carbono segun uso de la tierra en dos sitios de la Amazonia Peruana. En M. Sanchez, & M. Rosales, *Agroforestería para la producción animal en América Latina - II* (págs. 112-116). Lima: FAO.
- Andrade, H., & Ibrahim, M. (2003). ¿Cómo monitorear el secuestro de carbono en los sistemas silvopastoriles? *Agroforestería en las Américas*, 109-116.
- Angulo, R. (2009). FRESA. *Bayer Cropscience*, 11 - 44.
- Arévalo, L., Alegre, J., & Palm, C. (2003). *Determinación de las Reservas Totales de Carbono en los Diferentes Sistemas de uso de la tierra en Perú*. Lima: INIA.
- Avila, G. (2000). *Fijación y almacenamiento de carbono en sistemas de café bajo sombra, a pleno sol, sistemas silvopastoriles y pasturas a pleno sol. [Tesis Mag. Sc.] CATIE: Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza*. Turrialba.
- Balairon, L. (2006). El cambio climático: interacciones entre los sistemas humanos y los naturales. *Revista del Instituto de Estudios Económicos*, 127-176.
- Bringas, H. (2010). *Estimación del Carbono Almacenado en un Sistema Agroforestal de Cacao (Theobroma cacao L.) Comparado con un Bosque Secundario de Tres Edades. [Tesis de Pregrado], Universidad Nacional Agraria de la Selva*. Tingo Maria.
- Brown, S. (1997). *Estimating biomass and biomass change of tropical forest*. Roma: FAO.

- Bustamante, J. (2017). *Determinación del stock de carbono aéreo, en una plantación de Theobroma grandiflorum (copoazú).*[tesis de pregrado], Universidad Nacional Amazonica. Madre de Dios.
- Callo-Concha, D. (2000). *Cuantificación de Carbono Secuestrado por Algunos Sistemas Agroforestales en Tres Pisos Ecológicos de la Región Ucayali, Perú.* [Tesis de Maestría]. Universidad Autónoma de Chapingo. Chapingo.
- Chávez, Y., & Lujan, W. (2006). *Capacidad de Captura de Carbono en un Ecosistema de Bosque Humedo Tropical Pampa Hermosa Huasahuasi - Tarma.* [Tesis de grado], Universidad Nacional del Centro del Perú. Huancayo.
- CIIFEN. (9 de Octubre de 2017). *Centro Internacional para la Investigación del Fenomeno del Niño.* Obtenido de Centro Internacional para la Investigación del Fenomeno del Niño: <https://t.co/GtgrwktBB> Instagram: ciifenorg
- CONABIO. (2009). *Catálogo taxonómico de especies de México.* Mexico.
- CONAM. (2005). *Programa de Fortalecimiento de Capacidades Nacionales Para Manejar el Impacto del Cambio Climatico y la Contaminación del Aire.* Lima: PROCLIM-INRENA.
- Concha, J., Alegre, J., & Pocomucha, V. (2007). Determinación de las Reservas de Carbono en la Biomasa Aérea de Sistemas Agroforestales de Theobroma cacao L. en el departamento de San Martin, Peru. *Ecología Aplicada*, 6(9), 76-83.
- Connolly, R., & Corea, C. (2007). *Cuantificación de la Captura y Almacenamiento de Carbono en Sistema Agroforestal y Forestal en Seis Sitios de Cuatro Municipios.* [Tesis de Pregrado], Universidad Nacional la Agraria. Managua.
- Corral, R., Alberto, L., & Maza, H. (s.f.). "Fijación y almacenamiento de carbono en sistemas agroforestales con café arábigo y cacao, en dos zonas agroecológicas del litoral ecuatoriano". *X Congreso Ecuatoriano de la Ciencia del suelo. Loja de Ecuador, Jun. 15, 2015: Universidad Nacional de Loja.*
- Del Castillo, R. (2006). *Estudio técnico de la producción de harina de lúcuma en la sierra de Piura.* [Tesis de Pregrado], Universidad de Piura. Chalaco.
- Dixon, R. (1995). Sistemas agroforestales y gases invernadero. *Agroforestería en las Américas*, 22-26.

- Erickson, J. (1992). *El efecto invernadero: el desastre del mañana, hoy*. Madrid: McGraw-Hill Interamericana.
- FAO. (2000). *Sistemas de Uso de la Tierra en los Trópicos Húmedos y la Emisión y Secuestro de CO₂*. Roma: World Soil Resources.
- FAO. (2007). *El estado mundial de la agricultura y la alimentación: Pagos a los agricultores por servicios ambientales*. Roma.
- Farrel, J., & Alteiri, M. (1999). *Agroecología Bases científicas para una agricultura sustentable*. Montevideo: Nordan Comunidad.
- Gamarra, J. (2001). *Estimación de captura de carbono del bosque de Eucalyptus globulus Labill en la Comunidad Campesina de Hualhuas. [tesis de grado]*. UNAS. Huancayo.
- Gutierrez, E., & Picos, J. (2004). El ciclo del carbono en el sector forestal "Los bosques como sumideros de carbono: una necesidad para cumplir con el protocolo de Kioto". *Revista Montes*, 44-49.
- Gutierrez, V. L. (2001). *Metodología para la cuantificación de existencias y flujo de Carbono en plantaciones forestales*. En J. Gayoso (Presidencia), *Simposio Internacional Medición y Monitoreo de Captura de Carbono en Sistemas Forestales*. Simposio llevado en Valdivia, Chile. Valdivia.
- Hidalgo, P. (2009). *Determinación de las Reservas totales de Carbono en un Sistema Agroforestal de la selva alta de Tingo María. [Tesis Doctoral]*, EUPG-UNFV. Lima.
- Hidalgo, P., Tuya, E., & Tauquino, R. (2013). *Caracterización de los sistemas agroforestales y sus bienes y servicios ambientales como estrategia de adaptación al cambio climático en el Callejón de Huaylas. (Proyecto de Investigación)*. UNASAM. Huaraz.
- Houghton, V. (1991). Deforestación tropical y dióxido de carbono atmosférico. *Cambio climático*, 19, 99-118. doi:<https://doi.org/10.1007/BF00142217>
- ICRAF. (1996). *Investigación Agroforestal para Desarrollar Sistemas Ecológicamente Sostenibles en la Amazonía Occidental*. Lima.
- Iglesias, J. (2015). Sistemas de producción agroforestales. Conceptos y definiciones. *Pastos y Forrajes*, 22(4), 287.

- IPCC. (2007). *Cambio Climatico: Informe de Sintesis, Contribución de grupos de trabajo I, II, III*. Ginebra: Estudio de Diseño de GRID-Arendal.
- IPCC. (2013). *Quinto Informe de Evaluacion. Cambio Climatico 2013. La base científica*. Lima: Estudio de Diseño de GRID-Arendal.
- Jordan, M. (1996). Biotecnología agrícola y forestal. *Springer*, 35, 291-307.
- Lapeyre, T., Alegre E, J., & Arévalo, L. (2004). *Determinación de las reservas de carbon de la biomasa aérea, en diferentes sistemas de uso de la tierra en San Martín*. Lima: Grafica Miguel Alvaréz.
- Lopez, A. (1998). *Aporte de los sistemas silvopastoriles al secuestro de carbono en el suelo. (Tesis de Maestria en Ciencias) CATIE- Centro Agronómico Tropical de Investigación y enseñanza*. Turrialba.
- MacDicken, K. (1997). *Una guía para monitorear el almacenamiento de carbono en proyectos forestales y agroforestales*. . Arlington: Winrock Internacional.
- Malca, G. (2001). *Estimación de la Capacidad de Captura de Carbono en Bosques Secundarios del Trópico Amazónico como Indicador de Valoración Económica - Loreto Perú. En "Valoración Económica de la Diversidad Biológica y Servicios Ambientales en el Perú"*. Loreto: INRENA-BIOFOR.
- MINAM. (2008). *ESTRATEGIA NACIONAL DE CAMBIO CLIMATICO 086-2003-PCM, DECRETO SUPREMO . LIMA*.
- MINAM. (2011). *Mecanismos de Desarrollo Limpio: Guia de practica para los desarrolladores de proyectos MDL. Perú*. Lima.
- Ministerio del Ambiente del Perú ; Institución Carnegie para la Ciencia. (2014). *La Geografía del Carbono en alta resolucion del Perú: Un Informe Conjunto del Observatorio Aéreo Carnegie y el Ministerio del Ambiente del Perú*. Lima.
- Ordoñez, J. (1999). *Captura de Carbono en un bosque templado*. Michoacán: Instituto Nacional de Ecologia.
- Ortiz, A. (2006). *Almacenamiento y Fijacion de carbono del Sistema Agroforestal Cacao Theobroma cacao y Laurel Cordia alliodora (Ruiz & Pavón). [Tesis de Pregrado], Universidad de Nariño*. San Juan de Pasto.
- PCM. (2003). *DECRETO SUPREMO N° 086: ESTRATEGIA NACIONAL DE CAMBIO CLIMATICO*. Lima.

- Ricse, A. (2001.). *Reservas de Carbono de los Bosques Altos del Género Eucalyptus en el Valle del Mantaro. Ponencia en el I Congreso Nacional del Eucalipto*. Huancayo.
- Rios, J. (2007). *Almacenamiento de carbono y valoración económica en sistemas de uso de tierra comparados con el cultivo de coca (Erytroxylon coca L.) en el distrito de Jose Crespo y Castillo, Peru*. Jose Crespo y Castillo: UNAS.
- Rodriguez, E. (1998). *Frecuencia de utilización de tres gramíneas a tres distancias al agua en un pastizal bajo manejo holístico. UAAAN. Tesis de maestría en ciencias manejo de pastizales. Departamento de recursos naturales renovables- coahuila-mexico. coahuila*.
- Rojas, J., Ibrahim, M., & Andrade, H. (2009). Secuestro de carbono y uso de agua en sistemas silvopastoriles con especies maderables nativas en el trópico seco de Costa Rica. *Corpoica Ciencia y Tecnología Agropecuaria.*, 10(2), 214-223.
- Segura, M. (1997). *Almacenamiento y fijación de carbono en Quercus costaricensis, en un bosque de altura en la Cordillera de Talamanca. [Tesis de Licenciatura], Universidad Nacional Heredia. Heredia*.
- Sifuentes, V. (2015). *Carbono Almacenado y Capturado en la Biomasa Aérea de Tres Sistemas Agroforestales (SAF). [tesis de grado], UNAS. Huanuco*.
- Timoteo, K., Remuzgo, J., Valdivia, L., Sales, F., & Abanto, C. (2016). *Estimación del Carbono Almacenado en tres Sistemas Agroforestales durante el primer año de instalación en el departamento de Huánuco. [Proyecto de Investigación], UNAS. Huánuco*.

