

UNIVERSIDAD CATÓLICA SEDES SAPIENTIAE
FACULTAD DE INGENIERÍA AGRARIA



Captura del dióxido de carbono en plantaciones de *Eucalyptus globulus* Labill en la comunidad campesina de Antay, distrito de Cajatambo - Lima

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

AUTORA

Marita Rosario Ventocilla García

ASESOR

Honorio Eloy Munive Jáuregui

Huaura, Perú

2022

METADATOS COMPLEMENTARIOS**Datos del autor**

Nombres	Marita Rosario
Apellidos	Ventocilla García
Tipo de documento de identidad	DNI
Número del documento de identidad	70745434
Número de Orcid (opcional)	

Datos del asesor

Nombres	Honorio Eloy
Apellidos	Munive Jáuregui
Tipo de documento de identidad	DNI
Número del documento de identidad	20662522
Número de Orcid (obligatorio)	0000-0002-3746-8032

Datos del Jurado**Datos del presidente del jurado**

Nombres	Wilfredo
Apellidos	Mendoza Caballero
Tipo de documento de identidad	DNI
Número del documento de identidad	23978854

Datos del segundo miembro

Nombres	Amada Victoria
Apellidos	Larco Aguilar
Tipo de documento de identidad	DNI
Número del documento de identidad	40438250

Datos del tercer miembro

Nombres	Claudia Liliana
Apellidos	Gutiérrez Rosas
Tipo de documento de identidad	DNI
Número del documento de identidad	76418113

Datos de la obra

Materia	Hojasaca, densidad aparente, dióxido de carbono, diámetro de fuste, biomasa, bonos de carbono
Campo del conocimiento OCDE Consultar el listado: enlace	https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#1.05.08
Idioma (Normal ISO 639-3)	SPA - español
Tipo de trabajo de investigación	Tesis
País de publicación	PE - PERÚ
Recurso del cual forma parte (opcional)	
Nombre del grado	Ingeniero Ambiental
Grado académico o título profesional	Título Profesional
Nombre del programa	Ingeniería Ambiental
Código del programa Consultar el listado: enlace	521066

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

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

ACTA N° 031 - 2022/UCSS/FIA/DI

Siendo las 10:30 a. m. del día 24 de marzo de 2022 - Universidad Católica Sedes Sapientiae, el Jurado de Tesis, integrado por:

- | | |
|------------------------------------|-----------------|
| 1. Wilfredo Mendoza Caballero | presidente |
| 2. Amada Victoria Larco Aguilar | primer Miembro |
| 3. Claudia Liliana Gutiérrez Rosas | segundo Miembro |
| 4. Honorio Eloy Munive Jáuregui | asesor |

Se reunieron para la sustentación de la tesis titulada **Captura del dióxido de carbono en plantaciones de *Eucalyptus globulus* Labill en la comunidad campesina de Antay, distrito de Cajatambo – Lima** que presenta la bachiller en Ciencias Ambientales, **Marita Rosario Ventocilla García** cumpliendo así con los requerimientos exigidos por el reglamento para la modalidad de titulación; la presentación y sustentación de un trabajo de investigación original, para obtener el Título Profesional de **Ingeniero Ambiental**.

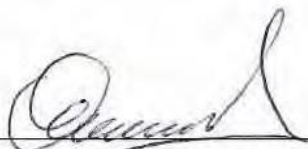
Terminada la sustentación y luego de deliberar, el Jurado acuerda:

APROBAR

DESAPROBAR

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

Lima, 24 de marzo de 2022.



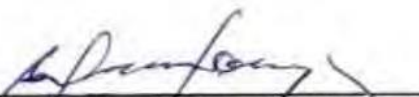
Wilfredo Mendoza Caballero
PRESIDENTE



Amada Victoria Larco Aguilar
1° MIEMBRO



Claudia Liliana Gutiérrez Rosas
2° MIEMBRO



Dr. Honorio Eloy Munive Jáuregui
ASESOR

Anexo 2

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

Huacho, 28 de agosto de 2023

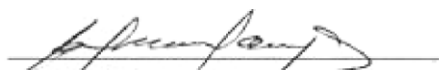
Señor(a),
Wilfredo Mendoza Caballero
Jefe del Departamento de Investigación
Facultad de Ingeniería Agraria

Reciba un cordial saludo.

Sirva el presente para informar que **la tesis** / informe académico/ trabajo de investigación/ trabajo de suficiencia profesional, bajo mi asesoría, con título: Captura del dióxido de carbono en plantaciones de Eucalyptus globulus Labill en la comunidad campesina de Antay, distrito de Cajatambo - Lima, presentado por Marita Rosario Ventocilla García con código de estudiante 2014100708 y DNI N° 70745434 para optar el título profesional/grado académico de Ingeniera Ambiental, ha sido revisado en su totalidad por mi persona y **CONSIDERO** que el mismo se encuentra **APTO** para ser sustentado ante el Jurado Evaluador.

Asimismo, para garantizar la originalidad del documento en mención, se le ha sometido a los mecanismos de control y procedimientos antiplagio previstos en la normativa interna de la Universidad, **cuyo resultado alcanzó un porcentaje de similitud de 0 %**. * Por tanto, en mi condición de asesor(a), firmo la presente carta en señal de conformidad y adjunto el informe de similitud del Sistema Antiplagio Turnitin, como evidencia de lo informado.

Sin otro particular, me despido de usted. Atentamente,

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'H. Munive Jauregui', is written over a horizontal line.

Dr. HONORIO ELOY MUNIVE JAUREGUI
Asesor de Tesis
DNI N°: 20662522
ORCID: 0000-0002-3746-8032
Facultad de Ingeniería Agraria - UCSS

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

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

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

DEDICATORIA

A mis padres, Marita García Montes
y Máximo Ventocilla Román, por su
inmenso amor, sacrificio y apoyo
incondicional.

A mis hermanos Tracy y Jesús, por
brindarme su cariño y cuatro
hermosos sobrinos, Nathaly, Emilia,
Roger y Elena, quienes son mi
motivación para seguir esforzándome.

AGRADECIMIENTO

A Dios, nuestro creador, por darme la vida, guiar mis pasos y por cuidar de mi querida familia; con la cual tengo el soporte y la motivación necesaria para seguir adelante y ser cada día una mejor persona.

A mi asesor, Dr. Honorio Eloy Munive Jáuregui, gracias a sus conocimientos, profesionalidad, orientación, paciencia, consejos y motivación ha sido posible la realización del presente trabajo de investigación.

A mis abuelos maternos Benigno García Porlles y Emilia Irene Montes Arias, y paternos Máximo Eleuterio Ventocilla Castillo y Juana Román Yupanqui, tíos y primos por brindarme su apoyo, consejos y cariño en todo momento de mi vida.

A la Universidad Católica Sedes Sapientiae, por haberme brindado la oportunidad de cursar y estudiar la carrera de Ingeniería Ambiental y a cada uno de los docentes, quienes a lo largo de mis estudios han compartido con su conocimiento y enseñanzas.

A mis compañeros de la promoción 2014 - I de la Facultad de Ingeniería Agraria Filial Huaura: Végueta, por compartir conocimientos y gratos momentos.

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
Índice general	viii
Índice de tablas	x
Índice de figuras	xi
Índice de apéndices.....	xii
Resumen	xiii
Abstract.....	xiv
Introducción.....	1
Objetivos.....	3
CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO.....	4
1.1. Antecedentes.....	4
1.2. Bases teóricas especializadas	13
1.2.1. Comunidades campesinas	13
1.2.2. Captura de carbono	14
1.2.3. Almacenaje del carbono.....	17
1.2.4. Plantaciones forestales	19
1.2.5. Importancia de las plantaciones forestales.....	19
1.2.6. El carbono en los sistemas forestales.....	20
1.2.7. Los ecosistemas forestales y el cambio climático.....	20
1.2.8. “Eucalipto”.....	21
1.2.9. El suelo	24
1.2.10. Reducción de las emisiones de CO ₂	26
1.2.11. Cambio climático	27
1.2.12. El cambio climático en el Perú	28
1.2.13. Efecto invernadero.....	29
1.2.14. Fotosíntesis	33
1.2.15. Ciclo del carbono	34
1.2.16. Biomasa	35
1.2.17. Mercado de bonos de carbono	39
1.2.18. Valor económico de dióxido de carbono capturado	40

CAPÍTULO II: MATERIALES Y MÉTODOS	42
2.1. Diseño de la investigación	42
2.2. Lugar y fecha	42
2.3. Materiales	43
2.4. Población y muestra.....	44
2.5. Técnicas e instrumentos.....	45
2.6. Descripción de la investigación	45
2.7. Identificación de variables y mensuración	48
2.8. Análisis de datos.....	49
CAPÍTULO III: RESULTADOS	55
3.1. Caracterización de los bosques de eucalipto de la comunidad de Antay	56
3.1.1. Características de los bosques de la zona en estudio	56
3.1.2. Características edáficas de los suelos de la zona en estudio.....	57
3.2. Cálculo de dióxido de carbono capturado por la biomasa, hojarasca y suelo	58
3.2.1. Cálculo del dióxido de carbono capturado por la biomasa.....	59
3.2.2. Dióxido de carbono almacenado en la hojarasca.....	62
3.2.3. Dióxido de carbono almacenado en el suelo	64
3.2.4. Dióxido de carbono capturado por los bosques de la comunidad de Antay.....	67
CAPÍTULO IV: DISCUSIONES	71
4.1. Caracterización de la zona en estudio.....	71
4.1.1. Características generales.....	72
4.1.2. Características edáficas.....	73
4.2. Captura de dióxido de carbono por los bosques de la Comunidad de Antay	72
4.2.1. Dióxido de carbono capturado por la biomasa	72
4.2.2. Dióxido de carbono capturado por la hojarasca	75
4.2.3. Dióxido de carbono almacenado en el suelo.....	75
4.2.4. Dióxido de carbono total almacenado por los cinco bosques en estudio	77
CAPÍTULO V: CONCLUSIONES	78
REFERENCIAS	81
TERMINOLOGÍA.....	92
APÉNDICES	94

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. <i>Definiciones de depósitos de carbono</i>	18
Tabla 2. <i>Lista de precios de captura de dióxido de carbono</i>	41
Tabla 3. <i>Puntos de muestreo</i>	44
Tabla 4. <i>Árboles muestreados en cada parcela en estudio</i>	46
Tabla 5. <i>Variables y su mensuración</i>	48
Tabla 6. <i>Dimensiones del cilindro para la determinación de la densidad aparente</i>	53
Tabla 7. <i>Características generales de la zona en estudio</i>	57
Tabla 8. <i>Características edáficas más importantes de la zona en estudio</i>	57
Tabla 9. <i>Diámetro a la altura del pecho (DAP)</i>	58
Tabla 10. <i>Cálculo de la altura de los árboles</i>	59
Tabla 11. <i>Área basal de los árboles de eucalipto</i>	59
Tabla 12. <i>Volumen de árboles</i>	60
Tabla 13. <i>Biomasa de los árboles en toneladas</i>	60
Tabla 14. <i>Carbono total en la biomasa</i>	61
Tabla 15. <i>Dióxido de carbono secuestrado por la biomasa aérea</i>	62
Tabla 16. <i>Humedad de la hojarasca</i>	63
Tabla 17. <i>Carbono almacenado en la hojarasca</i>	63
Tabla 18. <i>Dióxido de carbono almacenado en la hojarasca</i>	64
Tabla 19. <i>Densidad aparente de los suelos</i>	64
Tabla 20. <i>Peso de una hectárea de suelo</i>	65
Tabla 21. <i>Carbono almacenado en el suelo</i>	66
Tabla 22. <i>Dióxido de carbono almacenado en el suelo</i>	66
Tabla 23. <i>Dióxido de carbono capturado por la biomasa</i>	67
Tabla 24. <i>Dióxido de carbono capturado por la necromasa de los bosques</i>	68
Tabla 25. <i>Dióxido de carbono total capturado por los suelos</i>	69
Tabla 26. <i>Dióxido de carbono total capturado por los bosques de Antay</i>	69
Tabla 27. <i>Venta del CO₂ total capturado por los bosques</i>	70

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
<i>Figura 1.</i> Efecto de efecto invernadero.....	30
<i>Figura 2.</i> Inventario nacional de gases de efecto invernadero.....	31
<i>Figura 3.</i> Ciclo biogeoquímico del carbono.....	35
<i>Figura 4.</i> El Perú y el cambio de clima	35
<i>Figura 5.</i> Medición de diámetro a la altura del pecho.....	37
<i>Figura 6.</i> Medición de la distancia del árbol.	38
<i>Figura 7.</i> Medición del ángulo al pie o base de árbol.	38
<i>Figura 8.</i> Medición del ápice (altura comercial) del árbol.	38
<i>Figura 9.</i> Determinación de la altura del árbol.....	38
<i>Figura 10.</i> Bosques en estudio de la comunidad de Antay	45
<i>Figura 11.</i> Actividades desarrolladas en la fase de campo... ..	46
<i>Figura 12.</i> Apertura de calicatas, toma e identificación de muestras.....	47
<i>Figura 13.</i> Pesado de muestras y submuestras, clacinación de submuestras	48

ÍNDICE DE APÉNDICES

	Pág.
Apéndice 1. Plano de ubicación y puntos de muestreo en la zona en estudio	94
Apéndice 2. Datos para el cálculo de la altura de plantas.....	95
Apéndice 3. Circunferencia de los árboles considerados en el estudio.....	96
Apéndice 4. Cálculo de la hojarasca	99
Apéndice 5. Datos para el cálculo del carbono orgánico del suelo.....	98
Apéndice 6. Vistas adicionales del proceso de la investigación	99

RESUMEN

La investigación se desarrolló en los bosques de la comunidad campesina de Antay, ubicada en el distrito y provincia de Cajatambo, de la región Lima. El objetivo fue determinar la cantidad de dióxido de carbono capturado por las plantaciones de *Eucalyptus globulus* Labill, en cinco bosques de la comunidad campesina de Antay en un área total de 8,91 ha, cuyas plantaciones fueron de la misma edad. El desarrollo de la investigación se basó en la Guía para la determinación de carbono en pequeñas propiedades rurales del Centro Mundial de Agroforestería [ICRAF] (2009). Para la investigación se consideró una muestra de ocho árboles tomados al azar en cada uno de los bosques, para luego evaluarse la cantidad de dióxido de carbono contenido en la biomasa aérea, la hojarasca y retenido en el suelo. Para la estimación de captura de carbono por la biomasa aérea se aplicó el método no destructivo, midiéndose los diámetros a la altura del pecho (DAP) y las alturas de los árboles. Asimismo, para la hojarasca se tomaron muestras de un cuadrante de 0,25 m² (0,50 m de largo x 0,50 m de ancho) y para el dióxido de carbono contenido en el suelo se tomaron muestras en los cinco puntos de muestreo (uno por cada bosque) a una profundidad de 20 cm superficiales. Los resultados obtenidos de CO₂ por la biomasa aérea de los cinco bosques en estudio fueron 33 490,25 toneladas, la hojarasca tuvo una captura de 147,40 toneladas de CO₂ y el suelo tuvo una retención total de 1 726,45 toneladas de CO₂, obteniéndose en los cinco bosques un total de 35 364,10 toneladas de CO₂ capturado. Con referencia a la venta del CO₂ el mercado de bonos de carbono establecidos por el Sistema Europeo de Negociación, la comunidad de Antay podría obtener un ingreso aproximado a S/ 3 277 898,43.

Palabras claves: Hojarasca, densidad aparente, dióxido de carbono, diámetro a la altura del pecho, biomasa, bonos de carbono.

ABSTRACT

The research was carried in the forests of the rural community of Antay, located in the district and province of Cajatambo, in the Lima region. The objective was to determine the amount of carbon dioxide captured by *Eucalyptus globulus* Labill plantations, in the five forests of the peasant community in a total area of 8,91 ha, whose plantations were of the same age. The development of the research was based on the Guide for the determination of carbon in small rural properties of the World Agroforestry Center [ICRAF] (2009). For the investigation, a sample of eight trees taken at random in each of the forest was considered, in order to later evaluate the amount of carbon dioxide contained in the aerial biomass, the litter and retained in the soil. For the estimation of carbon sequestration by aerial biomass, the non-destructive method was applied, measuring the diameters at breast height (DBH) and the heights of the trees. Likewise, for the litter, samples were taken from a quadrant of 0,25 m² (0,50 m long x 0,50 m wide) and for the carbon dioxide contained in the soil, samples were taken at the five sampling points (one for each forest) at a depth of 20 cm superficial. The results obtained from CO₂ by the aerial biomass of the five forests under study were 33 490,25 tons of CO₂ and the soil had a total retention of 147,40 tons of CO₂ and the soil had a total retention of 1 726,45 tons of CO₂, obtaining in the five forest a total of 35 364,10 tons of CO₂ captured. With reference to the sale of CO₂ in the carbon bond market established by the European Negotiation System, the community of Antay could obtain an approximate income of S/ 3 277 898,43.

Keywords: Leaf litter, bulk density, carbon dioxide, diameter at breast height, biomass, carbon bonds.

INTRODUCCIÓN

El cambio climático, un problema mundial ampliamente conocido y documentado en la comunidad científica y académica, provoca cambios en los patrones de lluvias generando sequias e inundaciones, acelera la pérdida de la masa glaciaria, favorece la aparición de nuevas enfermedades en el sector agrícola, entre otros; a causa del incremento de las concentraciones de los Gases de Efecto Invernadero (GEI) en la atmósfera, principalmente el dióxido de carbono – CO₂ por su magnitud (representa el 75 % de las emisiones), tiempo de permanencia y la existencia de múltiples fuentes generadoras tanto naturales como antropogénicas (Dirección General de Medio Ambiente de la Comunidad Europea, 2006; Ministerio del Ambiente [MINAM], 2009; Baca, 2017). Por ello, el conocimiento sobre las capacidades y formas de almacenamiento de este gas es muy importante para la mitigación de los efectos adversos en los tres ejes del desarrollo sostenible (ambiental, económico y social).

Las capacidades y formas de almacenamiento de CO₂, han sido estudiadas bajo la denominación de “sumideros de carbono” en ambientes acuáticos y terrestres. En estos últimos, los ecosistemas forestales como los bosques, en sus diferentes componentes, son considerados como los únicos y más importantes sumideros de carbono (Luza, 2014). Sin embargo, las malas prácticas vienen destruyendo su composición y extensión, por lo que se requiere la implementación de nuevas áreas de plantaciones forestales con usos múltiples para disminuir la presión que se ejerce sobre los bosques naturales y difundir la importancia de conservación de estas; aunque las investigaciones referentes a la estimación de la captura del CO₂ por medio de plantaciones forestales son actualmente un área poco explotada (Domínguez, 2016).

Klemarewski *et al* (2000), citado por Samaniego (2013, p. 7) menciona que la importancia de las plantaciones forestales radica en que estas generan ingresos tanto en el sector público y privado, ayudando en el desarrollo económico de comunidades, regiones o país, con la producción de maderas, venta de bonos de carbono y la generación de ingresos. El “eucalipto”, es la especie con mayor superficie y densidad en procesos de forestación en

América Latina y El Caribe, seguido por los pinos. En el año 2000 del 82 % de las plantaciones forestales, el 9 % correspondía a los bosques de “pino” (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO], 2006). Aunque, el tiempo de cosecha para fines maderables, es distinto para el “eucalipto” 7 años y los pinos 18 años aproximadamente (Martínez *et al.*, 2018). Según el Ministerio de Agricultura y Riego ([MINAGRI], 2011) las regiones Junín, Apurímac, Cajamarca, Cusco y Áncash, son las regiones con mayor cantidad de plantaciones de “eucalipto”.

En el distrito de Cajatambo, donde se ubica la comunidad campesina de Antay, las plantaciones de *Eucalyptus globulus* Labill en gran mayoría y bosques naturales de *Polylepis incana* H.B.K en menor medida, actúan como mecanismos naturales en la mitigación de los GEI, al capturar y almacenar el CO₂. Además, estas pueden mejorar la calidad de vida de los habitantes de la zona en estudio por todos los servicios ambientales que ofrecen al paisaje turístico. No obstante, uno de los principales problemas actuales es la deforestación de ambas especies realizada por los mismos pobladores en la construcción de viviendas y como fuente de energía doméstica; por la falta de un plan de reforestación comunal con la especie investigada ni con otras especies nativas.

En este contexto, se plantea la presente investigación, pionera en el distrito de Cajatambo sobre la captura del CO₂, para difundir la importancia de conservación efectiva de las plantaciones de “eucaliptos” y abrir nuevas formas de visión comunal sobre las oportunidades de acceso en mercados de “bonos de carbono”. Para ello, la investigación se ha estructurado en seis capítulos, los cuales son: a) marco teórico, b) materiales y métodos, c) resultados, d) conclusiones, e) discusiones y f) recomendaciones, con la finalidad de darle información entendible y consistente al lector.

OBJETIVOS

Objetivo general

Determinar la cantidad de dióxido de carbono capturado por las plantaciones de *Eucalyptus globulus* Labill en la comunidad campesina de Antay del distrito de Cajatambo, provincia Cajatambo, Región Lima.

Objetivos específicos

- Caracterizar la zona y las principales características edáficas de los bosques con plantaciones de *Eucalyptus globulus* Labill en la comunidad campesina de Antay, del distrito de Cajatambo, Provincia Cajatambo, Región Lima.
- Calcular la cantidad de dióxido de carbono capturado por los bosques con plantaciones de “eucalipto” en la comunidad campesina de Antay, en base al contenido de carbono en la biomasa aérea, hojarasca y en el suelo.
- Determinar el valor económico de la cantidad de dióxido de carbono capturado al ser ofertado el servicio ambiental que están produciendo los bosques de la comunidad campesina de Antay, distrito y provincia de Cajatambo, Región Lima.

CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO

1.1. Antecedentes

Internacionales

Ramírez y Chagna (2019) en la investigación “Secuestro de carbono en la biomasa aérea de una plantación de *Eucalyptus grandis* W.Hill”, con el objetivo de determinar el almacenamiento del CO (carbono orgánico) presente en las hojas y tallos (biomasa aérea) en un bosque de “eucalipto” *Eucalyptus grandis* W. Hill de 48 años de establecido en un área de 0,80 ha, ubicado en la granja experimental “La Favorita” de la Universidad Técnica del Norte, Ibarra - Ecuador. Para ello, establecieron 16 parcelas de 500,00 m² (20,00 m x 25,00 m) en las cuales determinaron el diámetro a la altura del pecho (DAP) y altura total (ht). Luego, derribaron dos árboles con los DAP y altura total (ht) igual o muy cercano al promedio de cada unidad muestral (parcela), haciendo un total de 32 árboles como muestra del estudio. Seguidamente, cortaron rodajas de cuatro centímetros de espesor del fuste para su posterior pesado y secado en un horno a 105 °C hasta obtener pesos constantes; mientras que, para determinar la biomasa de las ramas, las rodajas fueron de un centímetro de espesor. Entre los principales resultados mostraron que en el inventario forestal contaron con 1 610 individuos que fueron equivalentes a 201 árboles.ha⁻¹ el promedio del diámetro fue 0,44 m, la altura total promedio de las plantaciones de eucalipto fue 32,44 m, mostrando heterogeneidad en las plantaciones a causa de tratamientos silviculturales y la cantidad de carbono aéreo almacenado resultó 0,75 t.árbol⁻¹ y 312,10 t.ha⁻¹; el cual, en términos porcentuales fue distribuida de la siguiente manera: 81,20 % del carbono se encuentra en el fuste; 7,57 %, en cortezas; 8,87 %, en ramas y; 2,36 %, en hojas. Concluyeron que estas plantaciones tienen un alto potencial como sumideros de carbono para la mitigación y adaptación al cambio climático.

Luque (2011) en la tesis de investigación “Determinación de la captura de dióxido de carbono acumulado en la biomasa de los bosques húmedos en la comunidad de Macahua Municipio de Ixiamas, departamento La Paz”, tuvo como objetivo determinar la cantidad de biomasa total, carbono almacenado y dióxido de carbono acumulados en los bosques naturales para evitar la deforestación en la Comunidad Macahua perteneciente al Municipio de Macahua, Provincia Abel Iturralde en el Norte del Departamento de La Paz - Bolivia. La metodología consideró un inventario del diámetro a la altura del pecho (DAP), la altura total (ht) de árboles y la calidad de los árboles (c) por lo cual fueron utilizados 600 árboles distribuidos en las 24 parcelas de muestreo en los dos estratos de los bosques en estudio (12 parcelas en cada estrato), a 200 m de distancia y georreferenciados con un equipo de Sistema de Posicionamiento Global (GPS). Para el procesamiento de los datos obtenidos fue utilizado un diseño de bloques completamente al azar (BCA) tomando en cuenta dos bloques; el bosque primario (bloque I) y el bosque primario de reserva (bloque II). El análisis estadístico utilizó un análisis de varianza ANOVA mediante el programa SAS System y la prueba de comparación de medias LSD Fisher. Los resultados de los análisis estadísticos permitieron afirmar la existencia de diferencias significativas entre los promedios del carbono acumulado en la biomasa de las parcelas, siendo de mayor contenido de carbono en el Bloque II (76,65 %) y menor en el Bloque I (67,39 %). Dentro, las estimaciones de la biomasa total contenida para el bloque I fue 285,23 t.ha⁻¹ y en el bloque II fue de 378,7 t.ha⁻¹ y el total de carbono acumulado fue de 435,67 t.ha⁻¹. Asimismo, la fijación de CO₂ para ambos bloques fue equivalente a 632,57 t de CO₂.ha⁻¹. Finalmente, concluyó que la metodología que fue usada en el proceso de investigación permitió hacer estimaciones más destacadas con relación a las variables que requieren de una mayor precisión. Además, el estudio permitió demostrar que el bloque II presentó una mayor diversidad de especies debido a que dispuso de un mayor porcentaje de humedad con un buen drenaje, como resultados de las inundaciones intensas que se produjeron en este estrato.

Connolly y Corea (2007) en la tesis de investigación “Cuantificación de la captura y almacenamiento de carbono en sistemas agroforestal y forestal en seis sitios de cuatro municipios de Nicaragua”, tuvieron como objetivo principal cuantificar la fijación y almacenamiento de carbono (C) en cuatro sistemas productivos (plantaciones ecoforestales de “pino” (*Pinus radiata* D. Don) y “café” (*Coffea arabica* L.), plantaciones con fines energéticos como “acacia” (*Acacia* spp) y “eucalipto rojo” (*Eucalyptus camaldulensis*

Dehnh) y por último el sistema de bosque seco con manejo de regeneración natural), en cuatro municipios de Nicaragua. Para ello, establecieron parcelas temporales (circular y rectangular) con intensidades de muestreo diferentes ya que las fincas presentaron áreas distintas. En el municipio de Jalapa trabajaron un área de 6,45 ha, por lo cual establecieron dos parcelas por finca para un total de diez parcelas; asimismo, en el municipio de Jinotega, en el sistema de café ecoforestal trabajaron un área similar al del Municipio de Jalapa (6,45 ha), estableciendo una parcela por finca con un total de seis parcelas; en tanto en el municipio de Jícaro, trabajaron en plantaciones con fines energéticos con un área de 2,19 ha, estableciendo una parcela por finca para un total de cinco parcelas y en el municipio de Diriamba trabajaron en el sistema de bosque seco 22 fincas. Las parcelas fueron seleccionadas de acuerdo con la densidad de la vegetación arbórea dentro de las plantaciones de café ecoforestal, plantaciones con fines energéticos y bosques secos, cuyas dimensiones fueron de 20 m de ancho por 50 m de largo (1000 m²). Por otro lado, para las plantaciones de “pino” establecieron parcelas de forma circular de 1000 m² con un radio de 17,84 m. Para ello, realizaron inventarios e identificaron las especies de plantas midiendo la altura total (ht), el diámetro a la altura del pecho (DAP) y el diámetro basal. Asimismo, estimaron la biomasa aérea mediante ecuaciones alométricas, para la hojarasca estimaron la biomasa seca a través del peso húmedo y seco y, el carbono orgánico del suelo fue determinado en el laboratorio de la Universidad Nacional Agraria de Nicaragua. Dentro de los resultados obtuvieron que las plantaciones de pino presentaron la mayor cantidad de carbono fijado en sus diferentes fuentes con 211,82 t de C.ha⁻¹, siguiéndole el sistema de café con 163,88 t de C.ha⁻¹, luego el sistema de plantaciones energéticas con 153,72 t de C.ha⁻¹, y por último el bosque seco con 105,74 t de C.ha⁻¹. Finalmente, concluyeron que los cuatro sistemas estudiados, fue el suelo que concentró los mayores valores de carbono fijado (76,07 a 87,12 %), seguido de la parte aérea de las plantaciones (tallos y hojas con 0,36 a 21,06 %), la cantidad de C fijado en el sistema radicular fue más baja (1,45 a 3,00 %), siendo el material orgánico en descomposición (hojarasca) la que retuvo una menor cantidad de C almacenado (0,46 a 1,75 %).

Seppänem (2002) en la investigación “Secuestro de carbono a través de plantaciones de eucalipto en el trópico húmedo”, desarrollado en plantaciones de eucalipto en el estado de Tabasco – México, tuvo como objetivo cuantificar la captura de carbono atmosférico en las plantaciones de eucalipto en el trópico húmedo, evaluando las implicaciones financieras que

la venta de bonos de carbono pueda tener. La metodología considerada para evaluar la cantidad de carbono capturado por las plantaciones de “eucalipto” *Eucalyptus urophylla* y *Eucalyptus grandis* Hill. Ex Maiden fue el método de existencias, que consistió en estimar las existencias de carbono en dos momentos diferentes y aplicando a cada componente de los ecosistemas (árboles, sotobosque y suelo). La biomasa de los árboles dividió en fuste, ramas gruesas y delgadas y hojas. El autor calculó la cantidad de biomasa producida en las plantaciones de la empresa de Desarrollo Forestal S.A. en el estado de Tabasco (México) y la cantidad de CO₂ atmosférico absorbido y fijado en las plantaciones de eucalipto. Dentro de los resultados obtuvo que la cantidad de dióxido de carbono neto fijado en un proyecto de estas características varió entre 4,1 y 7,3 millones de toneladas y el valor de los bonos de carbono para dicha captura de CO₂ oscila entre 4,1 y 11,7 millones de dólares dependiendo del precio. Finalmente concluyó que tanto la captura neta de carbono atmosférico, así como el valor económico, dependieron de la productividad, de la plantación y del precio del carbono, respectivamente. Asimismo, que las plantaciones solamente deben establecerse en tierras con un buen potencial productivo que significa algo más de 25 m³. ha⁻¹.año⁻¹ de madera, para disminuir la cantidad del carbono que es liberado en la habilitación de terreno.

Díaz y Molano (2001) en la investigación “Cuantificación y valoración económica de la captura de CO₂ por plantaciones del género *Eucalyptus* establecidas por el Programa de Reforestación de Ecocarbón en las zonas carboníferas de Colombia (PRECA) en las cuencas carboníferas de Cesar, Valle del Cauca-Cauca y Altiplano Cundiboyacense”, tuvieron como objetivo evaluar en términos cuantitativos y económicos la captura de CO₂ por plantaciones del género *Eucalyptus* (*E. camaldulensis* Dehnh, *E. grandis* W.Hill ex Maiden y *E. globulus* Labill) establecidas por el Programa de Reforestación de Ecocarbón en las zonas carboníferas de Colombia (PRECA) en las cuencas carboníferas de Cesar (500,00 ha), Valle del Cauca-Cauca (696,00 ha) y Altiplano Cundiboyacense (413,00 ha). Para ello, realizaron inventarios forestales a las plantaciones de eucalipto más representativas, midiendo la altura de los árboles y el Diámetro a la Altura del Pecho (DAP). Asimismo, realizaron el muestreo destructivo a 13 árboles para calcular la captura de CO₂, estableciendo un total de 110 parcelas para las tres cuencas carboníferas; de los cuales recolectaron un total de 11 000 muestras entre ellas corteza, fuste, raíz, y las hojas. Para el procesamiento de datos, utilizaron el análisis estadístico ANOVA y Test de Krusler - Wallis en el Programa STAT GRAPHICS 4.0 PLUS. Entre los principales resultados destacaron que las tres variedades de eucalipto

capturaron un total de 11 285,00 t de CO₂ en el valle del Altiplano; 22 022,00 t de CO₂, en el Cauca-Cauca y; 56 850,00 t de CO₂, en el César. Finalmente, concluyeron que las medias de las cantidades del C almacenado por los tres tipos de plantas estudiadas en el trabajo experimental mostraron resultados parecidos entre unas y otras y para la venta de la captura por las plantaciones forestales existió un contrato donde los países se comprometieron con ofrecer rendimiento superior, previamente establecido por el incremento en la cantidad de plantas cultivadas con este fin.

Nacionales

Tacarpo (2018) en el estudio de investigación “Estimación del potencial de captura de carbono de las especies de flora predominante de la parte alta del bosque de la comunidad campesina de Tumpa – Provincia de Yungay, 2018”, tuvo como objetivo hacer una estimación de la capacidad para capturar C (carbono) de plantas que predominan en la terraza superior con plantaciones de árboles (bosque) en la localidad de Tumpa (Áncash), mediante el cálculo del C capturado por las especies forestales en base a lo propuesto por el Centro Mundial de Agroforestería (ICRAF) por sus siglas en inglés y la ecuación alométrica para el cálculo de la biomasa arbórea en un área de 57 hectáreas. La metodología consideró el desarrollo de un conteo forestal midiendo los DAPs (diámetros a la altura del pecho) y la altitud de las plantas que mostraron DAPs mayores a 2,5 m, distribuidas en subparcelas de 100 m² (25 m de largo x 4 m de ancho), teniéndose en cuenta la toma de muestras simples al azar. Asimismo, fue estimado el contenido de carbono en los arbustos, hierbas, hojarasca y suelo. Para la hojarasca fue tomado en cuenta el muestreo directo en cuadrículas de 1,0 x 1,0 m y de 0,5 x 0,5 m que estuvieron distribuidos aleatoriamente en las cuadrículas. Para el suelo fueron abiertas calicatas de diferentes profundidades hasta 50 cm, posteriormente, para la cuantificación de carbono orgánico utilizó el método de Walkley y Black. Dentro de los resultados obtuvo que 61,818 tC. ha⁻¹ (16 %) fue retenida por la biomasa vegetal, con una distribución de 37,953 tC.ha¹ en la biomasa arbórea, 2,808 tC.ha⁻¹ en la biomasa arbustiva y herbácea, 6,791 tC.ha¹ en la biomasa de hojarasca, 14,266 tC.ha⁻¹ en la biomasa subterránea; y 321,982 tC.ha⁻¹ en el suelo (84 %), con un total de 383,80 tC.ha⁻¹ a nivel del sistema forestal. Concluyó finalmente que existe un alto potencial de captura de carbono en el suelo del bosque de la Comunidad Campesina de Tumpa en relación con las otras fuentes en el que calculó un total de 217,177 tC.ha⁻¹ a 0,50 m de profundidad y 383,800 tC.ha⁻¹ a 1,00 m

de profundidad siendo la fuente más importante para el almacenamiento de carbono en el sistema forestal estudiado.

Cabudivo (2017) en el estudio “Secuestro de CO₂ y producción de oxígeno en árboles urbanos de la Av. Abelardo Quiñones - distrito San Juan Bautista, Loreto – Perú”, tuvo como objetivo la evaluación de la cantidad de CO₂ y la producción de oxígeno almacenados por las plantaciones de la avenida Abelardo Quiñones, de San Juan Bautista, en Loreto, Perú. La población estuvo representada por todos los árboles y palmeras de la Av. Abelardo Quiñones con un área total de 15 ha y la muestra fue representada por 418 árboles. Para ello, el análisis de varianza tuvo un nivel de significancia de 0,05 y los promedios entre clase diamétrica determinó mediante la prueba de Tukey, utilizando el método no destructivo en el cual determinó la biomasa, almacenamiento de carbono, secuestro de dióxido de carbono y la producción de oxígeno. Posteriormente, midió el diámetro a la altura del pecho (DAP), con una cinta diamétrica y la altura de los árboles mediante un clinómetro, georreferenciándose individualmente cada planta. Los análisis estadísticos mostraron diferencias estadísticas significativas con relación a la biomasa producida, obteniéndose un rendimiento total de 119,03 t, equivalente a 217,87 t de CO₂ retenido y una producción de 158,59 t de O₂, sobresaliendo las plantas forestales “aceituna”, “mamey” y “castaña”. Finalmente, concluyó que la producción más alta de biomasa y el más alto almacenaje de C fue logrado con las clases diamétricas entre 30 – 40 cm y 40 – 50 cm con un total de 40,50 y 45,07 t de biomasa, con capacidad de retener entre 20,27 y 22,52 t de carbono respectivamente.

Del Águila (2014) en la tesis de investigación “Secuestro de CO₂ y almacenamiento de carbono en plantaciones de *Cedrelinga cateniformis* Ducke "tornillo" en tres edades diferentes en el Centro de Investigación y Enseñanza Forestal (CIEFOR) - Puerto Almendra, río Nanay, Iquitos – Perú”, tuvo como objetivo conocer el CO₂ y el C retenidos por plantas de "tornillo" en el Centro de Investigación y Enseñanza Forestal (CIEFOR) Puerto Almendra, Río Nanay, Iquitos – Perú. La población de la investigación estuvo representada con 201 árboles de *Cedrelinga cateniformis* de 27, 35 y 43 años de implantación en una superficie de 2,73 ha. La metodología consistió en realizar un inventario al 100 % teniéndose en cuenta el DAP (diámetro a la altura del pecho), la altitud y finalmente fue

georreferenciado la ubicación de los árboles. Los datos y la estimación de la masa aérea y del C retenido fueron analizados mediante el programa Microsoft Excel y el programa estadístico SPSS. Posteriormente, obtuvo como resultado una biomasa de 301,50; 222,26 y 56,93 t.ha⁻¹ y un almacenamiento de carbono de 186,93; 137,80 y 35,30 t.ha⁻¹ y un secuestro de CO₂ equivalente a 685,33; 303,14 y 77,64 toneladas por hectárea en los árboles de 43, 35 y 27 años, respectivamente. Concluyó en que los análisis estadísticos realizado indicaron que el almacenamiento del carbono (C) fue en una directa relación con las diferentes edades de las plantas; significando que a una mayor edad del árbol hubo una mayor acumulación de dióxido de carbono como resultado de la mayor retención del C y la plantación de mayor edad fue la plantación de 43 años con 685,33 tCO₂.ha⁻¹, seguida de 35 años con 303,14 tCO₂.ha⁻¹ y la de 27 años con 77,65 tCO₂.ha⁻¹.

Luza (2014) realizó la tesis de investigación “Stock de carbono almacenado en la biomasa aérea, sotobosque y suelo en bosques andinos, Huancayo, Perú, 2013”. Ubicado en las localidades de Viques y la Hacienda Chorrillos, provincia Huancayo – Junín. Tuvo como objetivo hacer una comparación sobre la cantidad de C retenido en la parte aérea de los árboles, en la vegetación secundaria (sotobosque y en los suelos por plantaciones de “eucaliptos” *Eucalyptus globulus* Labill en la zona Viques y la hacienda Chorrillos. Para tal efecto fue tomado en cuenta un enfoque cuasi-cuantitativo, la población estuvo representada por los bosques andinos ubicados en Viques y Hacienda Chorrillos - Huancayo (Junín) con la especie predominante *Eucalyptus globulus* Labill, donde los puntos de muestreo fueron fijados en las áreas en estudio, mediante imágenes satelitales del Google Earth. Para el análisis estadístico utilizó el software SPSS, aplicando un muestreo al azar, instalando aleatoriamente las parcelas para Viques 6 subparcelas de 20 m x 20 m y para la Hacienda Chorrillos 4 subparcelas de 10 m x 10 m. Posteriormente, midió el diámetro a la altura del pecho (DAP) de los árboles ubicados dentro de la parcela, midiendo la altura mediante un clinómetro. Para el caso del sotobosque realizó cuadrantes de 50 cm x 50 cm (0,25 m²) para Viques 18 y Chorrillos 12 recolectando la hojarasca en bolsas etiquetadas. Para el suelo realizó calicatas de 30 cm. Dentro de los resultados obtuvo que el bosque Viques tuvo mayor stock de carbono almacenado en sus componentes (33 291 tC y 122 065 tCO₂ en 19 ha) a diferencia del bosque de Chorrillos (2 934 tC y 10 758 t de CO₂ por 10 ha) que fue comprobada estadísticamente con la prueba de hipótesis paramétrica t-student. La valoración económica del bosque de Viques, para el año que realizó la investigación fue de 332 905

US\$.tC por las 19 ha y el segundo (bosque Hacienda Chorrillos) fue de 29 339 US\$.tC por las 10 ha. Finalmente concluyó que los beneficios ambientales que ofrece la especie estudiada por su mayor tasa de crecimiento, expansión y densidad de su madera es muy eficiente en la captura de CO₂.

Gamarra (2001) en la investigación “Estimación del contenido de carbono en plantaciones de *Eucalyptus globulus* L., en Junín, Perú”, con el objetivo de conocer las cantidades almacenadas de C en la parte aérea de las plantas, en el suelo y en los residuos (hojarasca) en plantaciones de *Eucalyptus globulus* L de la comunidad campesina de Hualhuas, Junín, Huancayo - Perú. Para ello, utilizó los datos del inventario forestal de la comunidad con un muestreo sistemático estratificado con equidistancias entre sitios de 200 m y entre líneas de 250 m, levantando un total de 45 sitios cuadrados concéntricos de 625 m², cada uno, con una extensión de 216 ha en el estrato I, y 15 en el estrato II con un área de 84 ha. Además, midió el diámetro a la altura del pecho (DAP) y la altura de los árboles de los bosques de eucalipto y colectó muestras de maleza, hojarasca y suelo. Para la obtención de los valores de la biomasa fueron utilizadas ecuaciones de biomasa generales y logró los siguientes resultados: la biomasa arriba del suelo capturó 73,03 tC.ha⁻¹; la biomasa abajo del suelo 21,64 tC.ha⁻¹, la hojarasca 4,99 tC.ha⁻¹ y el suelo 37,39 tC.ha⁻¹, haciendo un total de 137,05 tC.ha⁻¹ equivalente a 503 tCO₂. Además, la captura potencial promedio anual de carbono fue 7,25 t C.ha⁻¹, equivalente a una fijación de dióxido de carbono anual que fue de 26,61 toneladas. Finalmente, concluyó que la valoración económica fue de \$ 1 811,044 equivalente a una cantidad de S/ 7 000 000 dinero que haría posible conseguir ayuda para el cuidado y mantenimiento de los bosques, además de tener la posibilidad de lograr otros beneficios económicos y ambientales relacionados con planes de conservación del recurso suelo, la mejora en la retención y almacenamiento del agua y la disponibilidad de los elementos nutritivos requeridos por las plantas. Concluyó finalmente, que la metodología usada permitió elaborar estimaciones precisas y claras en los diversos grados donde las variables estudiadas demostraron tener una razonable efectividad y que las superficies que ocupan los bosques (300 ha) en la comunidad de Hualhuas capturo la cantidad de 41 115 toneladas de carbono.

Regionales

Rivera (2018) realizó la tesis de investigación “Determinación de ecuaciones para estimar biomasa en la parte leñosa aérea del *Polylepis flavipila* Kunt "quinual" en el bosque Japaní - Huarochirí, Lima”, con el objetivo de determinar la mejor ecuación que estime la cantidad de biomasa aérea leñosa de los árboles de “quinual” mediante el método no destructivo. El estudio fue ejecutado en la comunidad campesina Santiago de Carampoma, provincia de Huarochirí, departamento Lima. La metodología de trabajo tuvo en cuenta 40 plantas de *Polylepis flavipila* del bosque Japaní. La densidad del fuste de las plantas seleccionadas fue analizada a nivel de laboratorio y después se hicieron en el gabinete los cálculos del espacio total que ocuparon cada planta, determinándose luego el peso de la masa leñosa aérea de cada individuo, eliminándose las características atípicas. Del mismo modo, fueron seleccionados un centenar de ecuaciones recopiladas de fuentes bibliográficas que reportaban estudios similares, realizándose luego, la aplicación del modelo estadístico teniendo en cuenta los mínimos cuadrados para el análisis de los datos mediante la regresión lineal desarrollada en el software Microsoft Excel. En el proceso para seleccionar los modelos de ecuación, los resultados fueron analizados mediante “el coeficiente de determinación (R^2)”, “las pruebas de Fisher y t-Student y el análisis gráfico de los residuos para determinar la homogeneidad de varianzas (homocedasticidad)” (p. 7). “Los modelos de las ecuaciones que cumplieron con los criterios estadísticos” fueron 40, “pero solo uno presentó” homocedasticidad (p. 8). Por esta razón, fue aplicada “la regresión ponderada con los 44 modelos que no presentaron homocedasticidad”, adicionándose “factores de ponderación, obteniendo” como resultado “1 625 nuevas ecuaciones ponderadas, analizadas” teniendo en cuenta “criterios estadísticos” encontrados “anteriormente” (p. 8). Concluyó en el sentido que (p.12):

Que solo tres consiguieron lograron homogenizar la varianza de sus residuos; finalmente para seleccionar la mejor ecuación fue calculada y comparada los índices de Furnival de las cuatro ecuaciones que presentaron homocedasticidad, determinándose que la mejor ecuación que estima la biomasa aérea leñosa de los árboles de *Polylepis flavipila* fue la siguiente: $B = -0,026291 + 0,001652 d1, 3*h$.

Morante (2017) llevó a cabo la tesis de investigación “Estimación del nivel de captura de dióxido de carbono del “guaranguay” *Tecoma stans* (L.) Juss en Collanac, distrito de Pachacámac, 2017”, estudio que realizó en la comunidad campesina de Collanac, distrito de Pachacámac, Lima, Perú. El principal objetivo fue calcular la retención del CO₂ por el “guaranguay” *Tecoma stans* (L.) Juss. ex Kunth en la comunidad campesina de Collanac. El diseño de la investigación fue no experimental, con una población de 326 individuos de “guaranguay” con un área de 5000 m² y una muestra de 231 individuos, los mismos que fueron evaluados mediante muestras que fueron recolectadas al azar y procesadas por el método destructivo, luego fueron obtenidos los DAP y la altitud de cada planta. La hojarasca disponible (necromasa) fue recolectada con la ayuda de un cuadrante de 0,5 m x 0,5 m (0,25 m²), luego las muestras obtenidas fueron trasladadas a un laboratorio para sus respectivos análisis. Asimismo, el análisis de datos realizó mediante el programa Microsoft Excel. Posteriormente, obtuvo como resultado un total de 2,53 t de CO₂ almacenado en la biomasa aérea y 0,12 t de CO₂ en la necromasa dentro del área estudiada de 5000 m² y que el porcentaje de carbono almacenado en la biomasa aérea bordea el 50 % del total de su masa; así como en la necromasa fue de alrededor del 30 % de su masa. Finalmente concluyó que la reforestación y propagación del *Tecoma stans*, es de suma importancia porque aparte de su abundante floración que favorece su diseminación, aparte de sus posibilidades de ser una planta medicinal y más que todo por haberse demostrado que tiene grandes aptitudes en la captura del dióxido de carbono, brinda una magnífica participación en la disminución de los efectos del cambio climático al ser una especie almacenadora de CO₂.

1.2. Bases teóricas especializadas

1.2.1. Comunidades campesinas

Las comunidades campesinas que se desarrollan en la actualidad en el Perú tienen desde la colonización las bases de su origen, épocas en que fueron reconocidas las tierras que pertenecían a la población originaria del Perú y a las cuales se les denominaba tierras de los indios (Castillo *et al.*, 2004). El reconocimiento de estas áreas beneficiaba a la corona española porque así la población nativa podía seguir produciendo los alimentos y otros beneficios como el pago de los tributos a que estaban obligadas las poblaciones originarias (Instituto del Bien Común [IBC], 2016). Luego de mucho tiempo que comprendió a las etapas del coloniaje y el advenimiento de la era republicana prevaleció el criterio de

fraccionar las propiedades comunales y la carta magna del país (Constitución Política del Perú del año 1920), toma la decisión de reconocer por primera vez a las comunidades indígenas, incluyendo sus derechos sobre las propiedades en forma privada y colectiva, es así como recién desde el año 1928 se da inicio a la entrega de los títulos de propiedad a los pobladores indígenas, especialmente en la sierra andina del Perú (IBC, 2016).

En el año de 1969, se cambió el término oficial de las comunidades nativas, como resultado de la reforma agraria, denominándose desde ese momento comunidades campesinas, las mismas que se rigen por la Ley General de Comunidades Campesinas de 1987. A partir de entonces, las comunidades nativas son definidas de la siguiente manera: Según lo publicado por la Ley General de Comunidades Campesinas Ley N° 24656 (1987, p. 59).

Se define como comunidades campesinas a las organizaciones de interés público con presencia legal y jurisdicción, comprendidas por familias que habitan y dominan determinados territorios con vínculos ancestrales, sociales, económicos y culturales, que están expresados en las propiedades comunales, el trabajo de la comunidad, la cooperación mutua, democracia y desarrollo de actividades multisectoriales, con fines de lograr la realización plena de sus miembros y de su territorio.

1.2.2. Captura de carbono

Este proceso se origina cuando la masa vegetal absorbe el CO₂ atmosférico durante el proceso de la fotosíntesis, es así como el dióxido de carbono que es capturado tiene una participación en la formación de materia prima como es el caso de la glucosa (C₆H₁₂O₆), para luego dar las formas estructurales de la planta como resultado del almacenamiento en los diversos tejidos y dando origen a la formación de la masa aérea de las plantas como son las hojas y tallos. Además, forma entre ellos, a las raíces gruesas y finas ubicadas en la parte subterránea y que al cumplir su ciclo de vida va a dar origen al humus por un proceso de descomposición (Vallejo, 2005). Pinedo (2015) menciona que mil kilogramos de dióxido de carbono atmosférico CO₂ es equivalente a 270 kg de C en la biomasa vegetal.

El ICRAF (2009) define la captura de carbono como el almacenamiento del CO₂ de la atmósfera en la tierra. Mediante el proceso llamado fotosíntesis, los árboles que son

componentes de los bosques tienen la capacidad de absorber el dióxido de carbono que se encuentra en la atmósfera y según vayan creciendo almacenarán mayores porcentajes de C en sus hojas, ramas, tallos y raíces, liberando a la vez al oxígeno que se ubicará en la atmósfera. Arévalo y Palm (2003) consideran que la cantidad de C atrapado en los diversos órganos de la planta es consecuencia de una actividad de almacenamiento continuo del elemento químico en donde la acción humana en una zona con riesgos degradativo es negativa. Las participaciones humanas deben ser calendarizadas en el planeamiento del uso y manejo de los suelos donde los programas de reforestación, la agroforestería y la conservación de los suelos, son de mucha importancia. La forma de expresión de las cantidades de carbono fijados es en $t \cdot ha^{-1} \cdot año^{-1}$.

a. Carbono en el suelo

Oliva y García (1998) consideran que la interrelación entre los fenómenos fisicoquímicos y biológicos en el globo terrestre se origina con el ciclo del carbono, la captura y emisión del carbono son parte de un sistema que tiene cuatro reservorios: (a) Masa vegetal aérea (ramas, tallos y hojas) y radical (raíces), (b) Material orgánico en descomposición (materia orgánica), (c) Reservas forestales originados por un periodo significativo de permanencia, y (d) flujos distintos que están asociados o estrechamente interrelacionados, aunque son muy diferentes. El carbono que está en el suelo depende de los factores de formación del suelo a largo plazo, pero este carbono puede ser degradado, o también ser mejorados por uso racional y recurrente de los suelos. Sánchez *et al.* (2011) definen el suelo como almacén de carbono, su importancia radica en la mitigación de los gases de efecto invernadero porque protege físicamente la materia orgánica. Además, la acumulación de carbono en el suelo también es un proceso de suma importancia, pues mitiga el efecto producido por el cambio climático, ya que la superficie de la tierra, aparte de ser un sumidero, es un reservorio de carbono estabilizado. Pero, cuando se cambia el uso, este puede transformarse en fuente.

b. Carbono en hojarasca

En el ecosistema en el que sobre el suelo se acumula y descompone la materia orgánica es denominado el sistema hojarasca. Estos sistemas de la hojarasca son completamente diferentes tanto en su morfología, así como en la composición de las comunidades que se están desarrollando, determinando los tipos de humus formados por las distintas comunidades de

microorganismos y de seres invertebrados que transforman a la hojarasca en diferentes calidades (Lavelle y Spain, 2005, citado por Serrato *et al.*, 2014, p. 33). La hojarasca está formada por residuos vegetales frescos sin descomponer y fácilmente reconocible (por especie y tipo), como es el caso de cualquier elemento orgánico, desde hojas, conos, agujas, ramas, cortezas, semillas, frutos secos, troncos u órganos reproductivos (por ejemplo, los estambres de las plantas con flores). Los elementos presentes en la hojarasca que tienen un diámetro mayor de 2 cm son denominados el material grueso, y los otros componentes más pequeños constituyen el mantillo fino o simplemente mantillo. La presencia de la hojarasca es influenciada de manera directa por del sistema ecológico. Es así, que los tejidos que son componente de las hojas significan el 70 % del material llamado hojarasca producidos por el bosque, al contrario, los residuos leñosos aumentan su proporción con respecto a la edad de la masa boscosa (Lonsdale, 1988).

En muchas definiciones conceptuales se puede distinguir tres tipos de materia orgánica, conocidos como: (a) Material orgánico activo del suelo y que es de fácil descomposición (llamada también materia orgánica descomponible o lábil), (b) Compuestos húmicos de descomposición lenta, y (c) Componentes húmicos pasivos, reconocidos como el material resistente o recalcitrante. Estos tres tipos de material se originan a partir del material orgánico reciente o fresco producida por la caída y entrada de los residuos orgánicos, así como del repoblamiento de los microorganismos y otros acontecimientos como es el caso de la quema del bosque. Tanto el material que conforma la hojarasca y los compuestos húmicos son sintetizados por los diversos microorganismos constituidos por bacterias, hongos y otros componentes de la fauna que viven en el suelo. La acción de estos organismos es la causante de la presencia del oxígeno para la respiración y de la consecuente liberación de dióxido de carbono del medio edáfico y de los cambios producidos en los componentes químicos del material orgánico del suelo (MOS) (Kutsch *et al.*, 2009).

c. Carbono en la biomasa arbórea

La capacidad de captura del carbono por la vegetación arbórea ofrece la posibilidad de obtener un valor económico por la presencia de las diversas especies de árboles dentro de los sistemas agroforestales, originándose así beneficios para quienes desean adoptar estas nuevas alternativas, que tienen gran importancia en el aumento de la capacidad productiva

de los pastizales, cultivos y bosques, además de beneficios con relación al almacenamiento del C a través de la conservación de los “bonos verdes” o “bonos de carbono”, cuyos equivalentes en monedas pueden ser utilizados para amortizar tasas de impuestos y lograr otros beneficios (Grupo Intergubernamental sobre el Cambio Climático [IPCC], 2000). Se conoce definitivamente que el C que está presente en un sistema ecológico significa el 50 % de la masa de los árboles y que su presencia es tomada en cuenta en concordancia con la calidad del medio edáfico de un lugar determinado y las edades de las especies forestales que soporta. El CO₂ que se encuentra en las capas atmosféricas es tomado durante la fotosíntesis para convertirse en una fuerza química que será aprovechada por microorganismos como resultado del efecto de la fuerza energética proveniente del sol. Gayoso y Guerra (2005) explican que los bosques en general, almacena en la vegetación, así como en el suelo suficientes unidades de C que soportan un proceso de intercambio con el medio atmosférico debido a dos procesos sumamente necesarios que se denominan fotosíntesis y respiración. Además, se tiene el concepto de que las formaciones vegetales cumplen la función de almacenaje (sumideros) porque tienen la capacidad de extraer los gases atmosféricos y luego almacenarlos mediante la actividad fotosintética.

1.2.3. Almacenaje del carbono

El almacén de origen natural o artificial donde se acumula el C que estaba absorbido en la atmósfera es técnicamente denominado sumidero de carbono porque contribuye en la reducción del CO₂ existente en el aire (Honorio y Baker, 2010). Dentro de los más importantes orígenes del almacenamiento están los procesos biológicos de la acumulación del carbón mineral, las reservas del crudo de petróleo y de gases naturales, el metano hidratado y las diversas rocas calcáreas y en la actualidad, lo son los océanos, y ciertos organismos vegetales. La masa boscosa es considerada como el almacén de C cuando se incrementa las reservas a través de un período de tiempo. Este almacenamiento ocurre cuando el mecanismo que deposita al C en la reserva, como consecuencia de un aumento de los flujos son más significativos disminuyendo la captura en un lapso determinado. Asimismo, la superficie de un área boscosa es considerada como reserva de C que irá disminuyendo con relación al paso de los años. De tal manera que la unidad central corresponde al cambio en la reserva de carbono que se produce por las entradas y salidas de la totalidad de flujos.

Por otro lado, la Federación Española de Municipios y Provincias (2009) considera que cualquier tipo de procesos, actividades o mecanismos con capacidad de absorber o eliminar del medioambiente a uno o varios gases que causan el efecto invernadero es un sumidero, un aerosol o un precursor del gas de efecto invernadero. Los principales sumideros de gases de efecto invernadero de la biosfera que absorben el CO₂ atmosférico son los mares y los ecosistemas terrestres. El carbono incluido en la molécula de dióxido de carbono es liberado a través de procesos químicos y luego incorporado para formar parte de otras estructuras moleculares, conformándose en tejidos vegetales o en una valva de molusco. El procedimiento incluye primero la absorción de un Gas de efecto invernadero y después su almacenamiento tal como se observa en la Tabla 1. El C que está almacenado en la biosfera está distribuido entre los océanos, reservas ecológicas y ecosistemas terrestres. Este comportamiento está sujeto a un intercambio dinámico de carbono con la atmósfera, donde la actividad humana presenta gran influencia.

Tabla 1

Definiciones de depósitos de carbono

	Tipo de depósito	Descripción
Biomasa Viva	Biomasa sobre el suelo	Toda la biomasa viva que se encuentra sobre el suelo, incluyendo troncos, tocones vivos, ramas, cáscaras, semillas y hojas. Para facilitar las mediciones se evalúa por separado la biomasa aérea arbórea y la biomasa aérea no arbórea.
	Biomasa subterránea	Toda la biomasa de raíces vivas. Se excluyen raíces finas de menos de 2 mm de diámetro, porque difícilmente se distinguen de la materia orgánica del suelo.
Materia orgánica muerta	Madera muerta	Toda biomasa forestal no viva: troncos caídos, árboles muertos en pie, y tocones mayores de 10 cm de diámetro
	Hojasca	Toda la biomasa no viva sobre el suelo (hojas, ramas y cáscaras de frutos) en diferentes estados de descomposición. Comprende las capas de detritos y humus. Se puede establecer previamente un diámetro mínimo para diferenciar de “madera muerta” (por ejemplo, 10 cm).

Suelos	Materia orgánica del suelo	Comprende el carbono orgánico en los suelos minerales y orgánicos a una profundidad específica seleccionada por el proponente del proyecto. Raíces finas vivas con diámetro menor de 2 mm.
--------	----------------------------	---

Fuente: Grupo Intergubernamental sobre el Cambio Climático [IPCC], 2005).

1.2.4. Plantaciones forestales

Las plantaciones forestales son definidas como las formaciones vegetales que son implantadas como parte de un proyecto o plan de forestación y/o de reforestación. Estas formaciones forestales pueden estar conformadas por especies exóticas y oriundas que tengan la capacidad de cubrir por lo menos una superficie mínima de 0,5 ha del bosque; con una cobertura de la copa de por lo menos que cubra el 10 % del suelo donde se está desarrollando el árbol, además, los árboles deben tener una altura total por encima de los cinco metros, aunque, las plantaciones destinadas para arbolitos de navidad no están dentro de este criterio, porque sus fines son ornamentales para una época y tampoco son maderables (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO], 2002). La instauración de plantaciones forestales brinda beneficios como recuperar tierras deforestadas para uso forestal, crear hábitats para animales, aliviar la presión sobre los bosques y selvas naturales, secuestro de carbono atmosférico para ayudar a reducir el efecto invernadero, protege el suelo contra la erosión, la infiltración del agua de lluvia en el suelo, reducción del escurrimiento superficial, flujo de salida, ingresos económicos, creación de empleos y, en última instancia, sustitución de importaciones a largo plazo. En resumen, el término plantación engloba dos aspectos sumamente importantes: (a) Las acciones que debe tenerse en cuenta para plantar o sembrar, y (b) El establecimiento de un sistema ecológico mediante la instalación de especies arbóreas (Cabrera, 2003).

1.2.5. Importancia de las plantaciones forestales

Klemarewski *et al.* (2000) citado por Samaniego (2013, p. 7) mencionan que la importancia de las plantaciones forestales radica en que estas son generadores de ingresos económicos tanto a nivel empresarial (privado) y en con texto regional y nacional (público). Por ende,

estas pueden ayudar, de alguna manera u otra, en el proceso de reactivación del desarrollo de una región o país, a través de producción de maderas, venta de servicios ecosistémicos, nuevos empleos, entre otros. Por otro lado, disminuyen la presión que se ejerce sobre los bosques naturales en la actualidad. En ese contexto, la FAO (2006) menciona que las especies con mayor número de participación, tanto en superficie como en densidad, en los procesos de forestación en América Latina y El Caribe son los eucaliptos y los pinos; ya que, en el año 2000, del 82 % de las plantaciones forestales, aproximadamente un 9 % de estas pertenecía a los bosques de estas especies, en igual proporción. De manera más puntual, en el país, los departamentos que cuentan con mayor cantidad de plantaciones de eucaliptos son Junín, Apurímac, Cajamarca, Cusco y Ancash (MINAGRI, 2011).

1.2.6. El carbono en los sistemas forestales

Los sistemas agroforestales son un mecanismo de maximización en la eficiencia de uso de las tierras, mediante la combinación de especies leñosas perennes con los cultivos agrícolas y especies de animales, produciéndose una interacción ecológica y económica de manera sostenible por ser considerados como sumideros de carbonos almacenados en la biomasa (Espinoza *et al.*, 2012). Al momento que el dióxido de carbono atmosférico se incorpora en los procesos del metabolismo de las plantas a través de la fotosíntesis, este forma parte de la estructura de la materia prima como la glucosa y así integrarse a las hojas, ramas, raíces y tronco (unidos forman la copa). A medida que el árbol crece incrementa los componentes de su copa, a la vez su altura y grosor de su tronco. Los componentes de la copa brindan materia orgánica para el suelo que, cuando se degrada se une gradualmente y genera el humus. En paralelo los troncos, cuando van aumentando su diámetro y su altura, obtienen un tamaño ideal que pueden aprovecharse con la finalidad comercial. De este beneficio se generan productos como tablas, tablones y polines, que originan subproductos elaborados como muebles y casas. Los productos finales presentan un tiempo de duración determinado luego del cual se degradan y aportan carbono al suelo y CO₂ a la atmósfera como productos de la descomposición que sufren (Benjamín y Masera, 2001).

1.2.7. Los ecosistemas forestales y el cambio climático

La mitigación de los gases de efecto invernadero como consecuencia inmediata de los problemas de contaminación atmosférica se ha convertido en una amenaza mundial, donde

la actividad forestal es un sector que tiene grandes posibilidades en la mitigación de los gases de efecto invernadero, tanto en las acciones de conservación de los almacenes naturales del C que ya existen (bosques primarios), como en la expansión de mayores áreas reforestadas de bosques formados por la mano del hombre (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo [PNUD], 1997). Asimismo, Trumper *et al.* (2009) mencionan que el bosque natural o instalado por el hombre, son capaces de almacenar continuamente al C, aún en el caso de que la madera producida por el bosque forestal sea destinada para la fabricación de muebles o casas para el confort de la población, el C que fue fijado por las plantas permanecerán estructuralmente por mucho tiempo, de forma se tiene almacenado aproximadamente 2 100 gigatoneladas de carbono en los ecosistemas terrestres (cantidad que equivale casi el triple de lo almacenado en la atmósfera).

El cambio de uso de suelo, principalmente por procesos de deforestación, equivale un aporte de aproximadamente del 20 % de las emisiones de CO₂ de las fuentes antrópicas a nivel mundial (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO], 2001); por lo que decidir con principios sostenibles, sobre la forma de manejo de los bosques, significaría una reducción considerable de las emisiones de GEI y aumentar la importancia como sumidero natural de carbono para paliar los efectos del cambio climático a largo plazo. Por ello, la FAO (2001), recomienda dos estrategias sobre el uso de la tierra y bosques, en el contexto de control de los niveles de CO₂, los cuales son: a) incrementar o crear nuevos sumideros de carbono, mediante la forestación y restauración de los bosques ya degradados y la agroforestería como sistema emergente, y b) prevenir la liberación de los stocks de carbono ya fijados mediante la conservación efectiva de los ecosistemas forestales y prevención de incendios. En ese contexto, el país presenta congruencia en la mitigación del cambio climático; por ejemplo, en el Fondo Nacional del Ambiente (FONAM) se crearon las áreas de energías limpias, bosques (reforestación con especies de rápido crecimiento, principalmente), transporte eficiente y agua, para promover en proyectos y actividades pertinentes al cambio climático.

1.2.8. “Eucalipto”

Según Martínez (2015) señala que el *Eucalyptus* es un género de especie comercial con plantaciones amplias en el mundo, entre sus especies más conocidas tenemos al *Eucalyptus*

grandis, y sus híbridos, sembrados ampliamente en América del Sur y África; *Eucalyptus globulus*, sembrado de manera amplia en las tierras chilenas, argentinas y peruanas, así como otras naciones a nivel mundial. Asimismo, la especie el *Eucalyptus deglupta* cultivado también en muchas zonas del mundo, especialmente en los países uruguayo y costarricense. Los dos tipos de eucaliptos señalados son sembradas para ser utilizados en el aserradero para la fabricación de tableros (comprensados y aglomerados y como astilla para la obtención de la pulpa que es el material requerido en la fabricación del papel. En cuanto al género *Eucalyptus* que agrupa a las especies *Eucalyptus deglupta*, *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus saligna* y *Eucalyptus camaldulensis*) fueron las especies primordiales que fueron seleccionadas para la ejecución del proyecto “Fomento de la reforestación comercial para la mejora y conservación de las reservas de carbono” (Martínez, 2015).

Por otro lado, el crecimiento rápido en periodos más o menos cortos que relaciona a la especie con el objetivo de la reforestación, además de las condiciones favorables de las tierras o áreas seleccionadas, el aprovechamiento de las plantas puede efectuarse entre los 6 a 15 años. La especie *E. deglupta* es la más difundida en Centroamérica donde es destinada a actividades de aserrío, y a la construcción de viviendas, aunque anteriormente fue la materia prima para la fabricación de láminas prensadas; además, existen “eucaliptos” que se caracterizan por su crecimiento rápido como el *Eucalyptus saligna* y el *Eucalyptus grandis*. En relación con su propagación, se recomienda la utilización de semilla certificada que haya sido producida en los bancos de semillas o ser importadas desde Australia, Papúa o Nueva Guinea. En el Perú que tiene una silvicultura acreditada y con el trabajo de técnicos altamente especializados, además de contarse con una información suficiente, como resultado de los programas de investigación realizados con anterioridad, a lo que se suma las áreas que tienen condiciones aceptables para la ampliación de la reforestación, aunque el precio de la tierra es un factor limitante, estudios de cartografía indican que en el Perú cuenta con una extensión aproximada de 1 143 140 ha idóneas para cultivo de las diferentes especies de eucaliptos, dentro de estas están las especies *Eucalyptus deglupta*, *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus saligna*, *Eucalyptus citriodora*. Además, existen especies que pueden desarrollarse en forma adecuada en zonas ubicadas por encima del nivel del mar, en superficies hasta con 25 % de inclinación y en suelos clasificados como molisoles, alfisoles, inceptisoles, entisoles y oxisoles ubicados en zonas con un periodo significativo de aridez, pH y precipitaciones muy variables (Martínez, 2015).

Es una planta perenne que puede crecer hasta los 50 m y tiene una corteza característica que puede desprenderse longitudinalmente adoptando una forma de tiras. Posee dos tipos de hojas: Opuestas de forma oval y sésiles características en las plantas jóvenes o en ramas de brotamiento. En los árboles de mayor edad las hojas son alternadas, duras o coriáceas, con un limbo de marcada asimetría que adopta la forma de una hoz (falciforme), además disponen de un peciolo notorio que permite clasificarlas como hojas colgantes, razón por la cual el árbol ofrece poca sombra. También presenta glándulas en el mesófilo que tiene la capacidad de secretar, estas glándulas pueden ser observadas como puntos más claros al exponer a la hoja al trasluz. Tiene flores solitarias que nacen de las axilas y son de tamaño grande y tetrámera con un cáliz y corola que al fusionarse originan una especie de tapa leñosa característica llamada opérculo que se separa y cae durante el período de la floración, para dejar al aire libre un numeroso conjunto de estambres que se caracterizan por tener filamentos que adoptan un color cremoso blanquecino (Baca, 2017).

a. El “eucalipto” en el Perú

El “eucalipto” *Eucalyptus globulus* L., es una especie forestal con mayor utilización en la reforestación del país, principalmente en las zonas altas, es decir, entre los 1000 y 3500 m.s.n.m. Las posibilidades para ser usada como madera se están desarrollando de manera interna en la comercialización a nivel nacional debido a que ofrece opciones muy alentadoras para tal fin. En la actualidad en el Perú se tiene aproximadamente 1 008 000 ha de tierras reforestadas con el “eucalipto” y que en muchos casos están destinados a sociales principalmente. La tasa anual de plantaciones de esta especie es de aproximadamente 38 000 ha. El cultivo del “eucalipto” en el país se inició por los años 1860 y 1870. Esta planta que es de origen australiano se ha distribuido ampliamente en las regiones de Junín, Cajamarca, Cusco, Ancash, Apurímac y Huancavelica, lugares donde ha logrado adaptarse de manera satisfactoria, especialmente en la región de la sierra. Este árbol crece desde 1800 a 3800 m.s.n.m. Sin embargo, recién en el año de 1960 se inició y extenso plan de reforestación lográndose el establecimiento de muchas plantaciones de manera planificada y con la participación del estado peruano, promoviéndose así una reforestación con orientación técnica dirigida a las comunidades campesinas. Actualmente, la presencia del “eucalipto” está mayormente en la sierra peruana, concentrándose en mayor extensión en los departamentos de Junín, Cusco, Cajamarca y Ancash. Sin embargo, al formarse la mayoría

de los bosques no se tuvo en cuenta el destino o uso final de esta especie (Ministerio del Ambiente [MINAM], 2016c).

b. Usos del “eucalipto”

García *et al.* (2002) reportan que “las hojas del eucalipto” incluyen “en su composición diversos aceites esenciales”, teniendo al “cineol o eucaliptol” (éter óxido terpénico) como el principal componente. Asimismo, contienen terpenol, “carburos terpénicos, alcoholes alifáticos, taninos, así como pigmentos flavónicos” y otros compuestos. Ha sido demostrado que el extracto de esta planta tiene propiedades antiinflamatorias”. La infusión de las hojas del “eucalipto” es empleada contra la bronquitis y los catarros que afectan a las vías respiratorias. El aceite esencial se extrae de las hojas a través de la destilación por arrastre de vapor, el cual, al presentar propiedades antisépticas es utilizado en la preparación de inhalaciones e infusiones para las afecciones de la garganta y los bronquios. También, se utiliza en la industria alimentaria, perfumería y en la minería como agente de flotación. Además, de utilizar el eucalipto por sus beneficios curativos, en nuestro país las poblaciones utilizan la madera para elaborar herramientas, hacer construcciones y como fuente de energía para satisfacer sus necesidades. También se puede utilizar en la fabricación de papel y en la mueblería.

1.2.9. El suelo

López (2005) precisa que el suelo es un ente natural bien organizado e independiente, con características y composición que son consecuencia del efecto de los factores de formación. Científicamente, el suelo es considerado como un sistema natural debidamente ordenado e independiente que tiene componentes y diversas propiedades originadas por una serie de factores externos y activos como el clima, los organismos, el relieve y el tiempo sobre un material pasivo que está representado por material parental. Asimismo, el recurso edáfico tiene la característica de ser abierto con respecto a las condiciones atmosféricas y que en su corteza retiene temporalmente todos los elementos requeridos por la masa viviente. Los recursos almacenados como en la fase líquida que se manifiestan como la energía y los elementos nutritivos esenciales para las plantas dependen de la fuerza y velocidad producidas por la relación del suelo con los otros componentes de los sistemas ecológicos.

Para la FAO (2016), el suelo es definido como un cuerpo natural conformado por una serie de capas, más o menos paralelas llamadas horizontes del suelo, compuestas por minerales, materia orgánica, aire y agua. Además, explica que el suelo es el resultado final de la interacción de un periodo de tiempo, combinado con el clima, la topografía, los organismos donde están considerados todos los seres vivos, así como el material parental representado por rocas y minerales originarios. En conclusión, el suelo es un producto diferente al material parental por poseer textura, estructura, consistencia, color y otras propiedades químicas, biológicas y físicas, diferentes. La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO] (2018) recalca que los suelos poseen la mayor reserva de carbono orgánico terrestre y su función es suministrar agua limpia y alimentos. Además, evitan la desertificación y aumentan la resiliencia en caso de inundaciones y sequías, incluso presenta la capacidad para secuestrar carbono y reducir los efectos negativos del cambio climático. Recientemente, casi la tercera parte de los suelos están en un proceso de moderada a alta degradación que merma la capacidad de brindar servicios ecosistémicos. Los suelos deben ser tratados de manera sostenible, debiéndose mejorar y restaurar las tierras degradadas, a través del aprovechamiento de su potencial para atenuar el cambio climático, mantener la biodiversidad y erradicar el hambre, la escasez alimentaria y la desnutrición en el mundo.

a. Suelos altoandinos

García y Beck (2006) consideran que los suelos de la zona alta de la Cordillera de los Andes conocida como puna, presentan una textura franca o franco arenosa, con pH generalmente ácidos por la composición de naturaleza granítica de la roca parental que se caracteriza por niveles bajos de material orgánico. Contrariamente, en áreas con turba conocidas como en el ámbito local como bofedales, el material es ácido con un alto porcentaje de descomposición de materia orgánica. También, se encuentran sustratos de naturaleza limo-arcillosa muy fértiles que se han desarrollado en los depósitos de origen aluvial en las riberas de riachuelos y lagunas. Ortiz (2014) considera que los suelos altoandinos de la Sierra son jóvenes y sus perfiles no presentan horizontes de diagnóstico, incluso la formación de estos suelos se debe más a los fenómenos físicos como la humedad, la acción de los vientos, heladas y cambios de temperatura, agregando que los suelos altoandinos son regularmente ácidos, de textura media y fertilidad moderada. El contenido de MO es elevado y de naturaleza ácida. Esta característica es atribuida a la poca mineralización de la materia

orgánica provocada más por las bajas temperaturas que a grandes cantidades de humedad, ocurriendo en altitudes mayor a 4 000 m.s.n.m. Los colores de estos suelos varían del pardo al pardo oscuro, esto depende del contenido de la materia orgánica almacenada, de baja profundidad, siendo superficiales.

b. La materia orgánica en el suelo

Un indicador importante para conocer la capacidad del suelo con relación a la producción agrícola en concordancia con el medioambiente, sobre todo en la captura del C y la calidad atmosférica, es la presencia de la materia orgánica. Además, este mejorador del suelo es el factor determinante de las diversas actividades biológicas. Por lo tanto, las variaciones en las cantidades, la diversificación de la población y las actividades realizadas por la fauna y los microorganismos que viven el suelo, están estrechamente relacionados con el contenido de material orgánico. Es así como tanto la materia orgánica y la actividad biológica influyen significativamente sobre las características fisicoquímicas de los suelos. La formación de la agregación y el incremento de la estabilidad estructural son reguladas por la materia orgánica, favoreciendo de esta manera para que los porcentajes de infiltración, la disponibilidad de la humedad y la resistencia contra las clases de erosión se consoliden favorablemente. Así mismo la MO del suelo, tiene un efecto favorable sobre el movimiento y biodisponibilidad de los principales elementos nutritivos que son vitales para la alimentación de las plantas (FAO, 2002).

1.2.10. Reducción de las emisiones de CO₂

El Protocolo de Kyoto (Japón) que se estableció en el año de 1998, es un documento que exige a que los países desarrollados cumplan con el compromiso de reducir las emisiones de dióxido de carbono entre los años 2008 al 2012 previa aceptación para su implementación. Para el logro de sus objetivos, el protocolo consideró la instauración de tres mecanismos flexibles de mercado y que son conocidos a la fecha como el “mercado de carbono” (Ministerio del Ambiente [MINAM], 2016a). El Protocolo de Kyoto fue aceptado en el año 2005, tras haber sido suscrito en Rusia sin la participación oficial de los Estados Unidos de Norteamérica. En la actualidad, los países están evaluando y dando a conocer los avances en el cumplimiento de este compromiso incluyendo otros mecanismos adicionales y diversos

planes de acción orientados al cumplimiento de los objetivos de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático.

El Ministerio del Ambiente [MINAM], 2010, p. 2) enfatiza lo siguiente.

El Perú, forma parte de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático [CMNUCC] desde el año de 1992 y desde la firma del Protocolo de Kyoto desde el año 2002, alineándose con el objetivo de la Convención para “estabilizar la concentración de gases de efecto invernadero en la atmósfera y evitar que se llegue a un nivel de interferencia antropógeno peligroso.

El protocolo de Kyoto plantea el incremento las fuentes acumuladoras del CO₂ (sumideros) formadas por la mano del hombre así como también se incluye a los sumideros que se ubican en los países, reconociendo la potencialidad de la prácticas agrícolas, de las áreas dedicadas al pastoreo y de los suelos con aptitud forestal para retener carbono, los mismos que requieren de la implementación de créditos para incentivar la formación de sumideros, especialmente en los suelos agrícolas (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO], 2000).

1.2.11. Cambio climático

La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático [CMNUCC] (1992) explica que, el cambio climático es consecuencia directa o indirectamente producida por la actividad humana, que participa perturbando la composición de la atmósfera produciendo cambios en el clima que se ha observado sobre períodos comparables. García (2010) considera que el cambio climático significa una alteración esencial en las mediciones del estado del tiempo relacionadas con la temperatura, la precipitación o el viento, que son observadas durante un largo período de tiempo que pueden ser décadas o períodos más prolongados. En la actualidad, el concepto del calentamiento global es tomado en cuenta en la explicación del cambio climático; pero, es más recomendable utilizar el término “cambio climático” porque engloba además del aumento de temperatura a otros factores que contribuyen con este cambio.

El cambio climático a nivel mundial

El Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [IPCC] (2001) que se formó por iniciativa del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) y de la Sociedad Meteorológica Mundial (SMM), hizo conocer a los gobiernos y organismos mundiales a fines de la década de los años setenta del siglo pasado, sobre los notorios cambios climáticos causados por la alta concentración de gases de efecto invernadero en las capas atmosféricas, debido a las diversas actividades industriales y la excesiva deforestación y quema de los bosques naturales. Esta condición de peligro en que se encuentra el planeta fue considerada en el tercer informe de valoración que fue presentado en el año 2001, donde se resaltó que el aumento de la temperatura del globo terrestre durante los últimos 50 años fue originado por las actividades humanas. Al respecto, Useros (2013) ratifica que las actividades humanas son los principales actores en el aumento de significativa concentración de los gases de efecto invernadero (GEI) en la atmósfera terrestre, entre los que resaltan el dióxido de carbono, el vapor de agua, el metano y los óxidos de nitrógeno. Además, queda demostrado que el desarrollo socioeconómico, el crecimiento demográfico, tecnológico y otros factores, son los responsables del incremento en la concentración de las sustancias que producen el efecto invernadero (GEI). Estos incrementos de los GEI producen el aumento de la temperatura global, de las precipitaciones y los cambios del nivel del mar, los mismos que originan o son los responsables de la generación de impactos negativos sobre la disponibilidad del agua, los sistemas ecológicos, la expansión desordenada de asentamientos urbanos, la alimentación y la salud de la población.

1.2.12. El cambio climático en el Perú

Según Vargas y Barco (2009), el Perú está dentro del grupo de los diez países más vulnerables a los efectos del cambio climático, concepto que estaría asociado a la elevada dependencia de algunas zonas y localidades muy sensibles a estos cambios como lo son los sectores agrícolas y pesquero; a lo que debe agregarse el bajo nivel institucional de la nación, que no permite una planificación y ejecución de acciones de prevención seriamente aceptables. Los principales efectos del cambio climático en el país están asociados con el retroceso glaciar, el incremento de la frecuencia e intensidad del fenómeno del Niño y el creciente aumento del nivel del mar. Como resultado a estos cambios, en los últimos 22 a 35

años se ha perdido el 22 % de la superficie glaciaria, que representa o es equivalente a 10 años de consumo de agua en Lima. De igual manera, está pronosticado que para el año 2025 ya no existirán los glaciares peruanos que están ubicados a menos los 5500 m.s.n.m. La consecuencia negativa más evidente será sobre la disponibilidad del agua, teniendo en cuenta que la mayoría de los ríos de la vertiente occidental de los Andes, son abastecidos por el agua producida por la infiltración o el escurrimiento de las aguas de las zonas altas o por la fusión del hielo de los glaciares que se producen durante el estiaje, entre los meses que las precipitaciones pluviales están ausentes. Asimismo, el cambio climático producirá el sobrecalentamiento de la capa superior en el océano Pacífico, produciendo cambios notorios en los efectos negativos del fenómeno de El Niño, considerándose que si aumentan al doble las concentraciones del contenido de CO₂, en el año 2070 se estaría llegando a un aumento de la temperatura del mar equivalente a 3,49 °C en el Pacífico Oriental, lo cual sería la causa de un evento climático muy cercano al de la corriente de El Niño con una intensidad considerada de nivel medio y con capacidad de producir efectos catastróficos (Vargas y Barco, 2009).

1.2.13. Efecto invernadero

Según el Centro Internacional para la Investigación del Fenómeno de El Niño [CIIFEN] (2011) el efecto invernadero es aquel fenómeno por el cual determinados gases, que componen la atmósfera planetaria, son emitidos en forma de energía cuando el suelo ha sido calentado por la radiación solar (Figura 1).

El efecto invernadero es un fenómeno que perturba a todos los planetas dotados de atmósfera. En la Tierra, se amplifica por las emisiones de GEI como el dióxido de carbono, y metano a causa de diferentes actividades antropogénicas, tal como se observa en la Figura 1. Este fenómeno impide que la energía solar sea recibida continuamente por la Tierra, vuelve al espacio y tiene un efecto similar a un invernadero. La tierra está regulada en el ciclo del agua, las mareas, los vientos y las corrientes oceánicas (CIIFEN, 2011).

Gases de efecto invernadero

Echeverri (2006) menciona que los gases de efecto invernadero son compuestos químicos

que permiten la retención de los rayos infrarrojos sean retenidos en la atmósfera, causando el calentamiento de la superficie de la Tierra y la zona más baja de la atmósfera. Los gases de efecto invernadero se encuentran presente en la atmósfera, en cantidades menores, en la mayor parte de la historia terrestre. El vapor de agua, el más abundante, es el gas natural más importante en la producción del efecto invernadero. El dióxido de carbono (CO₂) ocupa el segundo lugar de importancia que se agrega a la atmósfera de modo natural, así como de origen antropogénico.

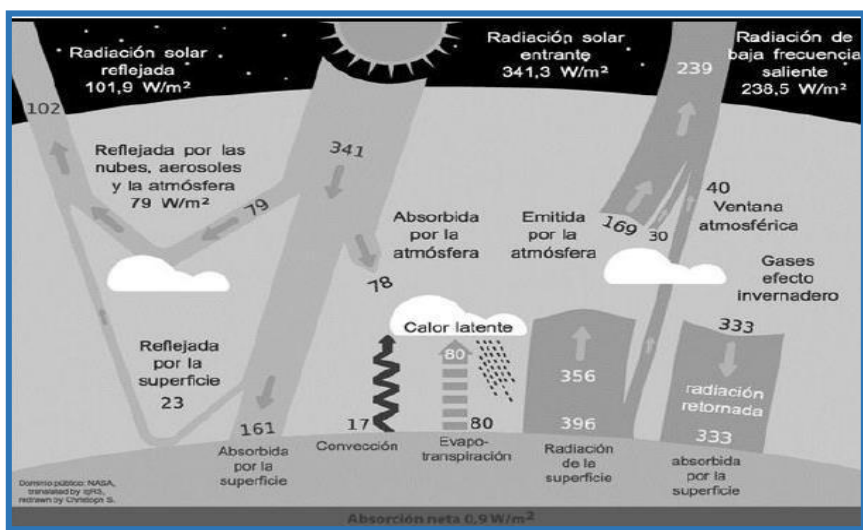


Figura 1. Efecto Invernadero. Fuente: CIIFEN (2011).

Saynes *et al.* (2016) señalan que las actividades que realiza el hombre son las responsables del calentamiento global del planeta al emitirse en forma gaseosa el CO₂, CH₄ y N₂O. Globalmente, el incremento de los GEI está relacionado en una proporción del 26 % por las actividades energéticas, luego con un 19 % por las actividades industriales, seguida con un 17 % por el sector forestal, 14 % causado por las actividades agropecuarias, el 8 % producido por el sector residencial y comercial y finalmente con el 3 % por las actividades relacionadas con el manejo de residuos.

a. Dióxido de carbono

Valtierra (2010) define al dióxido de carbono (CO₂) como un compuesto químico originado por procesos de combustión del gas, la gasolina o el diésel, que es un compuesto inerte en condiciones normales. En la actualidad, las actividades desarrolladas por el hombre están produciendo alrededor de 6500 millones de toneladas de CO₂ anualmente, con un incremento

del 3 % al año, a lo que se suma la excesiva y preocupante disminución de áreas verdes en el planeta, están derivando, catastróficamente, en el aumento de casi el doble en la producción del CO₂, cantidad imposible de absorber para la biósfera de manera natural. Este significativo aumento en la concentración de dióxido de carbono produce un incremento en el calentamiento global, problema de gran preocupación en la actualidad. El calentamiento global en la Tierra, que se ha observado en las últimas décadas, está produciendo en promedio, un incremento de la temperatura media en la capa atmosférica y en los océanos, aunque en cantidades mínimas.

Para Benavides y León (2007) el CO₂ es el gas común más importante en la atmósfera y los océanos en el planeta tierra. Asimismo, es el GEI que está estrechamente relacionado con las diversas acciones humanas que ha permitido señalarle como el segundo en importancia en el efecto invernadero. después del vapor de agua. El dióxido de carbono se origina por las diversas fuentes antropogénicas y por fuentes naturales. Naturalmente en el ciclo del carbono, donde el CO₂ tiene relación con muchos procesos producidos por la actividad biológica.

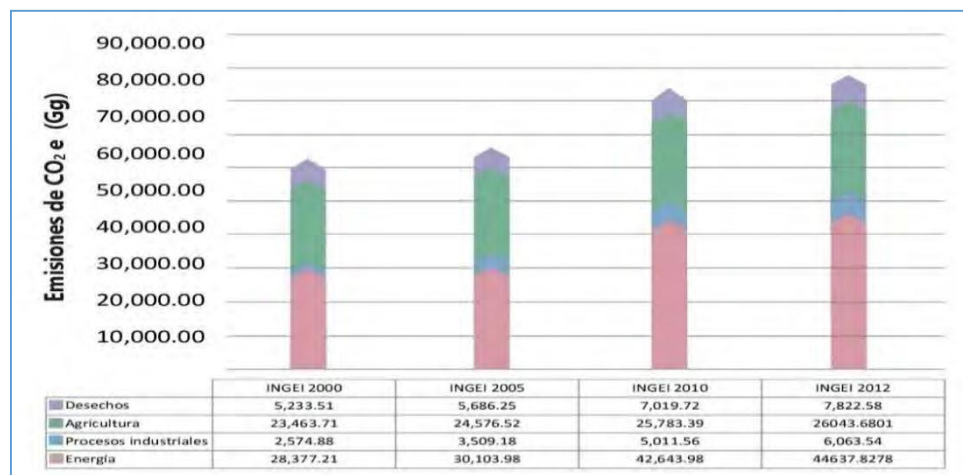


Figura 2. Inventario nacional de gases de efecto invernadero. Fuente: Ministerio del Ambiente [MINAM] (2016b).

En relación con las acciones antropogénicas, el CO₂ es esencialmente producido por la quema de combustibles fósiles como el carbón, el petróleo y el gas natural, también el material usado como leña para generar energía y por la tala y quema de bosques (Figura 2). Asimismo, al destinarse para el pastoreo un 26 % de la superficie terrestre, se está

incrementando la deforestación en América Latina. En la actualidad el 70 % de los bosques de la Amazonía en Sudamérica, están siendo manejadas como pastizales para el incremento de la actividad ganadera.

b. Metano

El metano (CH_4) es el hidrocarburo alcano más sencillo producido por la fermentación final sin oxígeno de los restos de origen orgánico para luego convertirse un componente del gas natural en una proporción del 80 %, pero los porcentajes de este mineral se ha incrementado debido a las actividades antropogénicas en relación estrecha los procesos productivos en la agricultura, la utilización del gas natural y los echaderos de residuos. El CH_4 también puede ser liberado naturalmente, tal como sucede en los bofedales (García, 2010). Por otro lado, los residuos originados por las actividades familiares, residenciales y comerciales son depositados inadecuadamente en zonas denominadas botaderos sin medida alguna de protección, es decir a cielo abierto. Según el IPCC (2005) estos residuos mal manejados, se convierten en una fuente que origina el aumento del CH_4 , a causa de una descomposición anaeróbica de los residuos sólidos en el mismo lugar donde fueron almacenados. El incremento del metano también es originado por las actividades de recuperación de las aguas servidas de origen residencial, comercial e industrial. Asimismo, el CH_4 que se generó por el deficiente almacenamiento de residuos sólidos es función del tipo de residuo y los componentes orgánicos que poseen (MINAM, 2016a).

c. Óxido nitroso

Las diversas actividades desarrolladas en el sector agricultura, sobre todo el excesivo pastoreo, son la causa de las emisiones de óxido nitroso (N_2O) a lo que se suma las emisiones producidas por la volatilización de N_2 que se ocurre en los variados cultivos y que son depositados en forma de amoníaco (NH_3) o de diferentes clases óxidos nitrogenados (NO_x) que se general al aplicarse los fertilizantes comerciales. El N_2 que es un producto de la lixiviación que se produce en el suelo y de la volatilización del N_2 son concentrados entre un 40 a 50 % por las aguas servidas que se escurren sobre la superficie terrestre (Poulain, 2006). En los suelos dedicados a las actividades agrícolas donde se aplican fertilizantes sintéticos y abonos, la quema de la energía fósil en el parque automotor, el tratamiento de

aguas residuales, la quema descontrolada de los desechos y la quema de la biomasa, son las acciones realizadas por el hombre que general las emisiones de óxido nitroso (N₂O). La concentración N₂O en la atmósfera antes del desarrollo industrial en el planeta era de 270 partes por millón (ppm). En el año de 1994, alcanzó un nivel de 312 ppm; significando un incremento del 13 % y que señalado como una consecuencia de las actividades antropogénicas. En año de 1998 la concentración del óxido nitroso en la atmosfera fue de 314 ppm. Si se tiene en cuenta que el tiempo de vida del N₂O en la atmósfera es de 114 años a una tasa de cambio en la concentración de 0,8 partes por billón (ppb) en volumen, será necesario de un periodo de tiempo sumamente largo para poder llegar a concentraciones saludables (Martínez y Fernández, 2004).

1.2.14. Fotosíntesis

Según la FAO (2010) el carbono que se encuentra en la atmósfera es absorbido en forma de dióxido de carbono con resultado del proceso de la fotosíntesis. Esta reacción bioquímica es sumamente importante en la salud y en el desarrollo de los vegetales. La fotosíntesis es una reacción que requiere de la presencia de hojas verdes en las plantas y la participación de varios organismos que viven en las aguas marinas y oceánicas, para lo cual se requiere de la participación de la radiación solar para aportar la energía requerida para que el dióxido de carbono al reaccionar con el agua forme los hidratos de carbono. Por otro lado, la liberación de oxígeno que se acumula en la atmósfera es otra función de la fotosíntesis, este elemento es aprovechado por plantas y animales para utilizarlo en la respiración. La relación que explica el proceso de la fotosíntesis es la siguiente: $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} + \text{Energía solar} = \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + \text{O}_2$.

Luego de haberse realizado la fotosíntesis, los azúcares que fueron formados por este proceso son convertidos en otras sustancias orgánicas, como es el caso de las féculas, almidones, proteínas, enzimas y diversas moléculas que son formadas y acumuladas en las plantas vivas y que después serán parte de una reserva significativa de energía alimenticia para la formación de todos los componentes morfológicos de la planta. Por esta razón dice que el bosque representa al verdadero sumidero de CO₂, además de otros gases que tienen propiedades tóxicas y que se encuentran en la capa atmosférica, convirtiéndose así en un componente de gran importancia en los procesos relacionados con lucha contra la aceleración del cambio climático (Organización de las Naciones Unidas para la

Alimentación y la Agricultura [FAO], 2010).

1.2.15. Ciclo del carbono

Las proteínas, ácidos nucleicos, carbohidratos, lípidos y otras moléculas esenciales para la vida contienen carbono, esto genera que este elemento sea fundamental para el soporte de la vida en el planeta. A las distintas transformaciones que sufre el carbono en un tiempo determinado, se denomina el ciclo biogeoquímico del carbono. Este ciclo desempeña un rol sumamente importante en la regulación del clima. Además, este elemento está almacenado en diferentes formas dentro del sistema global de la siguiente manera: (a) en la atmósfera se encuentra como CO_2 , CH_4 y diversos compuestos químicos; (b) en las grandes masas de agua se encuentra como CO_2 disuelto en agua; (c) en la superficie terrestre está presente en los mantos rocosos y en las minas de carbón orgánico, en las reservas de petróleo y de gas; (d) en la esfera de la vida es componente de los hidratos de carbono; y (e) en la antroposfera, adquiere distintas estructuras de los elementos inventados por el ser humano.

El carbono, está presente en las capas que rodean la tierra como la atmósfera, hidrósfera, biósfera y litósfera como consecuencia de la interrelación del período geológico que incluye procedimientos de pocas horas, días, meses y estaciones, hasta aquellos que tardan periodos geológicos muy extensos. El dióxido de carbono (CO_2) atmosférico es absorbido por las plantas para transformarlo en azúcares a través de la fotosíntesis. Las diversas especies de animales se alimentan de plantas y al descomponerse los azúcares liberan al carbono hacia la atmósfera, océanos y suelo. Los microorganismos, como los hongos y bacterias, descomponen las plantas y la materia animal muerta, conocidas como materia orgánica, devolviendo el carbono a la atmósfera. Además, el carbono puede intercambiarse entre los océanos y la atmósfera con una significativa interacción (Figura 3) entre el aire y el agua (CIIFEN, 2011).

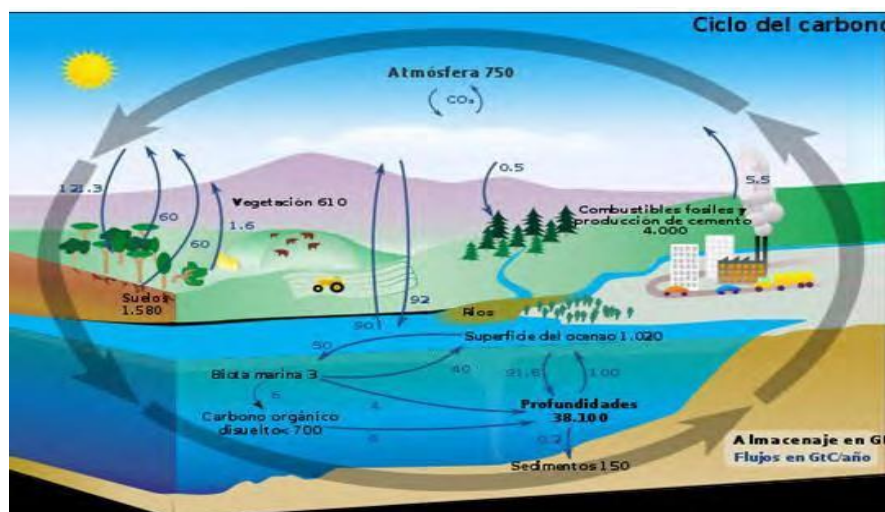


Figura 3. Ciclo biogeoquímico del carbono. Fuente: CIIFEN (2011).

a. Fuentes de CO₂

La formación del CO₂ es originada principalmente por la quema de combustibles fósiles, tanto en los lugares de alta combustión así como en la generación de la electricidad y como fuentes menores están los motores del parque automotor y las termas instaladas en las residencias y en edificios comerciales. El CO₂ (Figura 4), también es producido por ciertas actividades de la industria y de la extracción de los recursos, la deforestación también está considerado en este grupo (García, 2010).

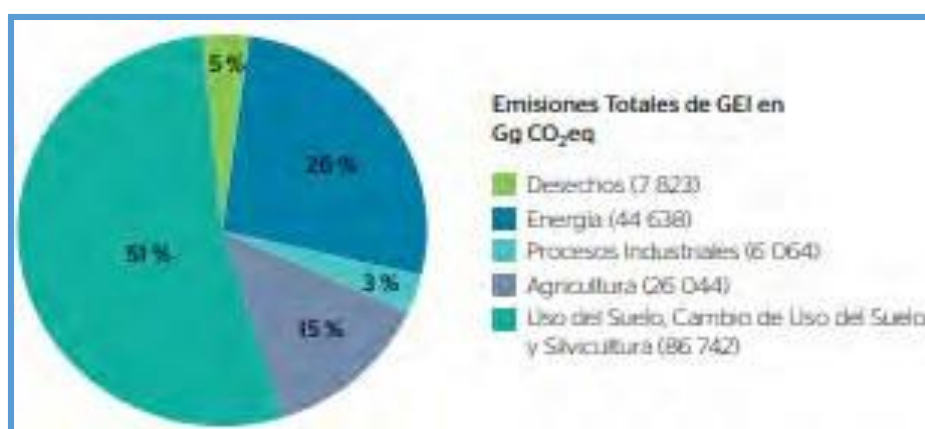


Figura 4. El Perú y el Cambio de Clima. Fuente: MINAM (2016b).

1.2.16. Biomasa

La biomasa está constituida por la cantidad total de materia orgánica que se produce en el ecosistema en un periodo de tiempo determinado. Se considera como biomasa vegetal a la

materia viva que está contenida en los distintos órganos de las plantas y que se acumulada en forma de biomasa en los componentes estructurales de los vegetales, teniendo como origen a la radiación solar (Salas e Infante, 2006). La biomasa es la fuente energética que se produce a partir de los residuos de la actividad ganadera, agrícola, industrial, doméstica urbana, forestal y la generada por microorganismos (Seoánez, 2013).

El estudio detallado de la biomasa es de sumo interés porque permite conocer como la materia orgánica está distribuida en el ecosistema, los permite el conocimiento de muchas propiedades como la concentración del C tanto en las plantas como en el bosque, la disponibilidad de elementos nutritivos que requieren las plantas, la acumulación de la energía en los sistemas forestales, la evaluación numérica del ecosistema, las fuentes con capacidad de producir biomasa, los cambios estructurales que se producen en el bosque, la proporción de los gases de efecto invernadero que se mantienen en las reservas del sistema y predecir los niveles de aumento y rendimiento para calcularlos niveles de productividad y la forma de uso de los bosques. Además, permite el conocimiento de la función natural del sistema forestal con relación a los efectos generados por la mano del hombre cuanto interviene sin modificar el equilibrio dentro del sistema ecológico (Mostacedo *et al.*, 2006).

Métodos de estimación de la biomasa y el contenido de carbono en árboles

Para la estimación del contenido de carbono almacenado en la biomasa forestal se cuenta con diversos métodos directos e indirectos. Carrillo *et al.* (2016, p. 683) señalan lo siguiente:

Para estimar el contenido de carbono almacenado en la biomasa forestal se han desarrollado métodos directos e indirectos. Los directos consisten en un análisis destructivo para la estimación del peso verde y el peso seco de cada uno de los componentes de los árboles seleccionados. Los segundos se basan en la utilización de modelos matemáticos que estiman el peso de las diferentes fracciones del árbol a partir de variables individuales; sin embargo, para poder desarrollar los métodos indirectos es necesario contar con datos obtenidos de métodos directos. En los métodos indirectos también se ha estimado la biomasa mediante el empleo de sensores remotos (fotografía aérea, imágenes de satélite, imágenes de radar, etc.).

Del mismo modo, Carrillo *et al.* (2016) agregan que para conocer la cantidad de biomasa que tiene un árbol el cálculo se hace mediante el uso de la ecuación alométrica, que permite

hacer un estimado indirecto de la masa del vegetal que se estudiar por medio de la obtención anticipada de la información proveniente de muestreos de manera directa. De esta manera será posible hacer una estimación de la relación que existe entre la biomasa del árbol y otros parámetros comunes como es el caso de la altura, el diámetro común (área de albura).

a. Diámetro de árboles

El diámetro de los árboles es medido con la corteza a la altura del pecho (1,30 m), denominándose diámetro a la altura del pecho (DAP) (Figura 5).

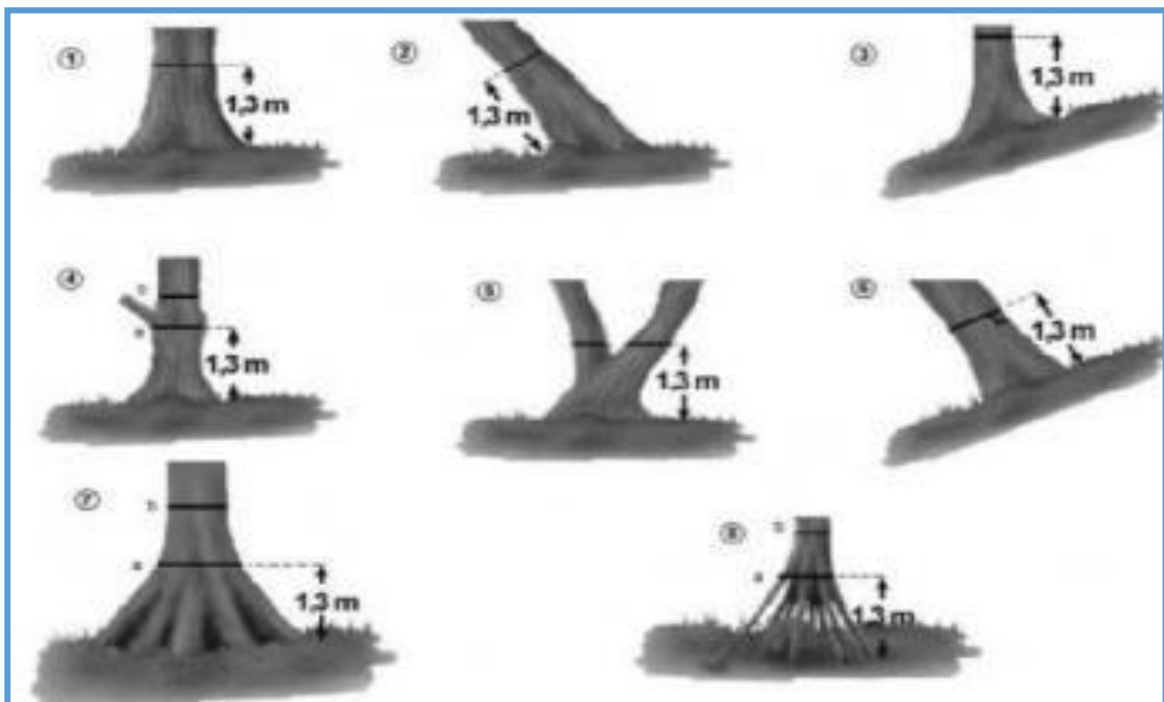


Figura 5. Medición de diámetro a la altura del pecho. Fuente: ICRAF (2009).

La medida del diámetro a la altura del pecho (DAP) se obtiene utilizando una cinta diamétrica flexible para medir la circunferencia del punto considerado para este fin, el resultado obtenido servirá para calcular el diámetro respectivo que será expresado en cm. El DAP también puede ser medido mediante una forcípula o con un dendrómetro de cinta. En caso de que no se disponga de estas herramientas, la medición se puede hacer utilizando una cinta métrica común que es utilizada por costureras y sastres. De esta manera será obtenida la circunferencia, la misma que debe ser convertida al valor del diámetro (ICRAF, 2009).

b. Altura de plantas

La altura de los árboles es medida con un clinómetro o hipsómetro. El clinómetro es un instrumento que mide la altura y el grado de inclinación con la ayuda de una cinta métrica que sirve para medir la distancia existente entre el árbol y el operador (Figuras 6 y 7). El hipsómetro es otro instrumento que sirve también para medir la altura y distancia de un objeto de manera directa, pero éstos no requieren del auxilio de la cinta métrica (Figuras 8 y 9). De no poder adquirir uno u otro instrumento, se puede utilizar un clinómetro construido artesanalmente. Un clinómetro artesanal de fácil construcción y de bajo costo es el clinómetro de papel construido utilizando un transportador (ICRAF, 2009).

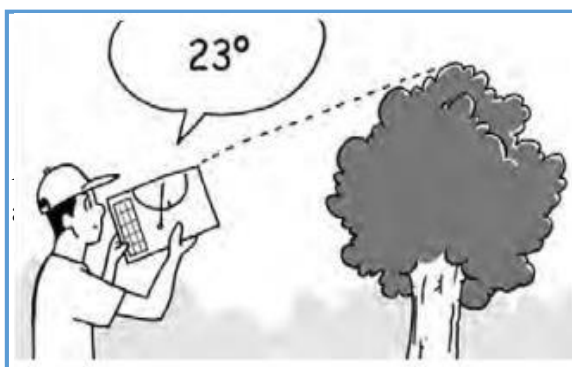


Figura 6. Medición de la distancia del árbol. Fuente: ICRAF (2009).

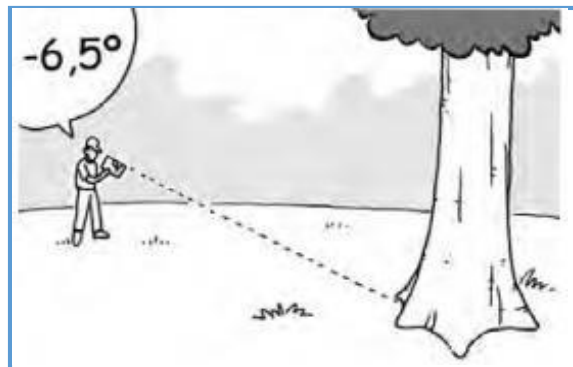


Figura 7. Medición del ángulo al pie o base de árbol. Fuente: ICRAF (2009).

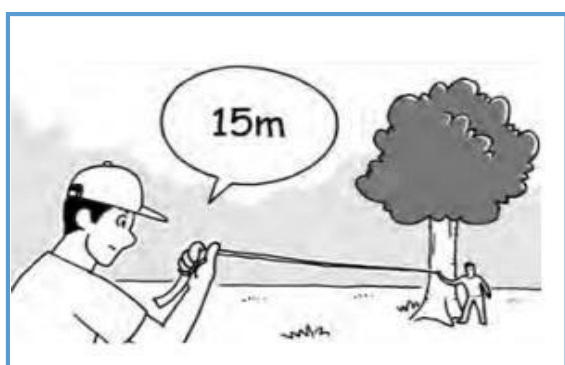


Figura 8. Medición del ápice (altura comercial) del árbol. Fuente: ICRAF (2009).

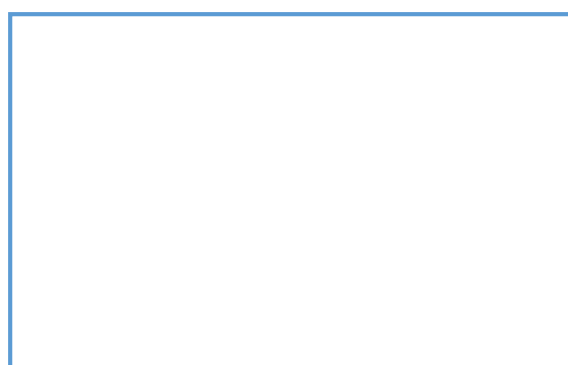


Figura 9. Determinación de la altura del árbol. Fuente: ICRAF (2009).

c. Medida de la hojarasca

Para la toma de muestras de la hojarasca debe hacerse mediante áreas pequeñas distribuidas al azar con marco de muestreo de 50 x 50 cm de lado (0,25 m²). En la toma se debe tener en

cuenta que ésta debe contener todo el material que se encuentra dentro del área cuadrada ubicada en la parcela elegida. Un buen muestreo consiste en tomar aproximadamente 200 g de la hojarasca que luego de ser identificada se almacenará en bolsas de papel o de plástico para ser enviada cuanto antes al laboratorio. Las muestras colectadas de cada punto de muestreo deben ser secadas en una estufa a 105 °C y pesadas varias veces hasta obtener un peso constante. Al concluirse con el proceso de secado, se debe relacionar los contenidos de humedad con las cantidades de C que tienen cada muestra. Una vez obtenidos los porcentajes de humedad y del contenido de carbono presente en la muestra y con los datos obtenidos se determinará los contenidos de materia seca en toneladas que tiene una hectárea de bosque (ICRAF, 2009).

1.2.17. Mercado de bonos de carbono

Las iniciativas a nivel internacional para disminuir los riesgos y peligros producidos por el cambio climático a nivel internacional, el Protocolo de Kyoto que es entidad que busca el compromiso de las naciones para que contribuyan con la estabilización de los niveles de gases de la concentración de los gases que están acelerando el calentamiento global en el mundo, lanza una iniciativa que fue aprobada y está vigente desde 16 de febrero del 2005, donde los países desarrollados aceptan el compromiso para reducir de las emisiones globales de los GEI en un 5 % como promedio en base a los niveles de concentración del CO₂ en un promedio del 5 % por debajo de los niveles encontrados en 1990, compromiso que debió cumplirse entre los años 2008 al 2012. Sin embargo, los países que aceptaron y ratificaron el mencionado protocolo siguen actualmente emitiendo algo más del 60 % de las emisiones totales de CO₂ (Vargas y Barco, 2009). Contrariamente, otras naciones donde están los Estados Unidos de América, China y La India, que en la actualidad son los países que han incrementado las emisiones del CO₂ no aceptaron cumplir con el aludido protocolo, aduciendo que los incrementos están relacionados con las consecuencias de las emisiones y los costos para la mitigación, significando que los gobiernos de estos países tendrían que programar presupuestos muy altos porque son países que están produciendo los más altos porcentaje de emisiones GEI, lo cual significaría una disminución significativa de los recursos económicos si las políticas sobre la merma de las emisiones propuestas por el Protocolo de Kyoto son aceptados.

Ante el elevado incremento de GEI, el Protocolo de Kyoto sugirió tres alternativas para controlar el cambio climático y para lograr el cumplimiento de los objetivos planteados en que los países deben adaptarse a las distintas condiciones de los países miembros. Estas alternativas o mecanismos son: (a) Comercio internacional de emisiones (CIE), se debe considerar el intercambio comercial de permisos de emisión entre países con compromisos de reducción ya establecidos. Así, las naciones que logren reducir emisiones en más de lo acordado en el protocolo, podrían negociar este exceso con otros países para el logro de la acreditación respectiva, (b) Implementación conjunta (IC) que permita a las naciones adquirir préstamos para reducir las emisiones a causa de los proyectos que se ejecutan en otros países que tienen compromisos con el protocolo, especialmente con aquellas naciones que disponen de una economía de transición, y (c) Mecanismo de desarrollo limpio (MDL), que tiene mucha similitud con el mecanismo IC, con la diferencia de poder hacer una acreditación como parte de la reducción posible, proyectos que se hayan realizado en los países en desarrollo. Las reducciones de las emisiones logradas de esta manera son reconocidas como “Certificados de Reducción de Emisiones” (Vargas y Barco, 2009).

De acuerdo con lo dispuesto en el Protocolo de Kyoto, existe la posibilidad de una negociación de los derechos de emisión del dióxido de carbono, donde se considera que los países que tengan emisiones que no llegan a los límites que están permitidos, como es el caso del Perú, tengan la posibilidad de financiar este exceso de capacidad a países que superan las metas de emisión, creándose así un producto básico nuevo y comerciable a nivel internacional de tal forma que se logre reducir o eliminar las emisiones. El CO₂ es el menos peligroso, pero por la magnitud de su producción se está convirtiendo en el principal gas de efecto invernadero, entonces puede ser relacionado con el comercio del carbono, sometido a los mismos procedimientos y negociaciones comerciales como cualquier otro recurso básico, el mismo que permitirá que las comunidades del Perú puedan ofertar la capacidad que tienen sus bosques naturales en la captura del CO₂ (Proaño *et al.*, 2016).

1.2.18. Valor económico de dióxido de carbono capturado

Una de las mayores incertidumbres frente a este tipo de proyecto forestal es la valoración del secuestro del dióxido de carbono en el desarrollo de la actividad forestal ya que actualmente no se conoce de la existencia de un mercado que fije los precios que significa

el almacenamiento del carbono, tampoco se dispone de una norma ni una regla clara en la valoración de los beneficios ambientales que ofrecen los bosques (Gutiérrez y Lopera, 2001). En la posibilidad de negociar los bonos de C, el valor monetario es determinante. En la actualidad no se dispone de un precio estándar establecido y solo se está esperando, que los precios internacionales del almacenamiento del carbono puro logren estabilizarse en un promedio de US\$ 5.0 por tonelada, lo cual tiene una equivalencia de US\$ 1,36 por tonelada de CO₂. Cuando el "mercado mundial de carbono" funcione, los cálculos financieros se harán factibles y no se especulará con el precio (Seppänen, 2002). Hoy en día, el costo promedio de captura de carbono en México está estimado en US\$ 35,0 por tonelada de carbono (El Colegio de la Frontera Sur [ECOSUR], 2000), mientras que la merma de una tonelada de CO₂ en los países industrializado tiene un costo variable entre US\$ 80 y 120. Asimismo, para un país en vías de desarrollo, la fijación de una tonelada de CO₂ por medio del mantenimiento o la reforestación de los bosques tiene un costo aproximado de 10 dólares americanos (Chambi, 2001). En la determinación del servicio de secuestro del dióxido de carbono (Tabla 2), se tiene en cuenta el valor referencial dado por el Sistema Europeo de Negociación de CO₂ [SENDECO₂], (2019).

Tabla 2

Lista de precios de captura de dióxido de carbono

Época (en meses, al 2019)	Precio (€·t⁻¹)
Enero	23,24
Febrero	20,99
Marzo	21,95
Abril	25,67
Mayo	25,50
Junio	25,24
Julio	27,92
Agosto	26,93
Setiembre	25,75
Octubre	24,46
Noviembre	24,85

Fuente: SENDECO₂ (2019).

CAPÍTULO II: MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Diseño de la investigación

El presente trabajo de investigación fue no experimental de tipo descriptivo y estratificado debido a que se basó en la información y los datos obtenidos en el campo para obtener la información sobre los cálculos del dióxido de carbono capturado por los árboles “eucalipto” que están cubriendo los bosques con que cuenta la comunidad de Antay, así como en los resultados de laboratorio que permitieron hacer los cálculos de la cantidad de dióxido de carbono sin manipulación alguna de las variables, de acuerdo a la metodología propuesta por Hernández *et al.* (2010).

2.2. Lugar y fecha

La tesis de investigación se desarrolló en el territorio peruano, en la región Lima, provincia de Cajatambo, distrito de Cajatambo, en la comunidad campesina de Antay (ver Apéndice 1 y 2). La comunidad campesina de Antay se encuentra ubicada a ambas márgenes del río Chuchichaca y presenta un clima seco y frío, caracterizado por tener intensas lluvias entre los meses de enero, febrero y marzo, en el resto de los meses la precipitación es escasa. La temperatura desciende hasta 0 °C por las noches en los meses de julio a agosto (meses de invierno) y se incrementa en el período de verano llegando a un promedio 22 °C. Geográficamente está situado en la Zona 18 UTM WGS84, en las coordenadas 281871,47 E y 8841668,48 N (ver Apéndice 1).

La comunidad campesina de Antay presenta una extensión de 2 819,44 ha. (Sistema de Información Sobre Comunidades Campesinas del Perú [SICCAM], 2016), de los cuales el 10 % (281,94 ha) alberga plantaciones de eucaliptos, que son aprovechadas para la obtención de madera de construcción y para uso doméstico como combustible, adicionalmente estas plantaciones están consideradas como la base principal para la apicultura orientado a la

producción de miel. El resto de la extensión de la comunidad está dedicado principalmente a la ganadería de pastoreo, con algunas parcelas destinadas a la siembra de cultivos de pan llevar como “papas nativas” *Solanum tuberosum* subespecie *andigenum* L., “trigo” *Triticum aestivum* L. y otras especies de plantas anuales (SICCAM, 2016). El territorio de la comunidad campesina de Antay es irregular, con altitudes que varían de los 3 321 hasta 3 393 m.s.n.m. y con pendientes pronunciadas. El territorio ocupado por las plantaciones de eucalipto está ubicado en laderas que circundan a la comunidad por la zona este. La superficie donde se encuentran las plantaciones es ondulada y disectada por abras muy ligeras. El acceso es a partir de la Carretera Panamericana Norte en el distrito de Pativilca, donde se inicia una vía secundaria que atraviesa los sectores de Huayto, Cochas, Ocros, Cahua, Pamplona, Llocche, Utcas y luego el distrito de Cajatambo, con un recorrido aproximado 122 km. Una vía alterna se inicia por el sector de la provincia de Oyón pasando por Cashaucro, Chancas y Pacomayo para arribar en el distrito de Cajatambo, con un recorrido de 39 km (Gobierno Regional de Lima [GOREL], 2015). La comunidad campesina de Antay limita por el norte con la comunidad campesina de Tambo, por el sur, con la comunidad campesina de Astobamba, por el este con el río Chuchichaca y por el oeste, con la provincia de Oyón (ver Apéndice 1).

El trabajo de investigación fue ejecutado en un periodo de diez meses, iniciándose en el mes setiembre del 2019 y concluyéndose en el mes de junio del año 2020.

2.3. Materiales

Material de campo. Libreta de campo, wincha, herramientas (Pico, pala, barreno, racuana), bolsas de plástico, fichas de descripción de perfiles, etiquetas, plumones, mapa base, tablero manual. cuadrantes de 0,50 m x 0,50 m

Material de laboratorio. Bandejas de plástico, rodillo de madera, espátula, balanza de 0,01 de aproximación, reactivos y equipos de análisis, espátula, balanza, agua destilada, Pinzas, crisol de porcelana, tamiz.

Material de escritorio. Lápices, lapiceros, plumones, cartulina, papel A4, cinta de empaquetar, borrador, reglas, escuadras, hoja de cálculo.

Material de gabinete y equipos. Computadora, escáner, calculadora, impresora, hojas de cálculo, USB, papeles. Mapas, carta nacional, escalímetro. GPS, estufa, clinómetro, cámara fotográfica.

2.4. Población y muestra

Población

La población, objeto de estudio estuvo conformada por todas las plantaciones de eucaliptos de la comunidad campesina de Antay en el distrito de Cajatambo, provincia de Cajatambo, Región Lima (ver Apéndice 1).

Muestra

La muestra estuvo representada por los 5 puntos de muestreo, uno en cada bosque, ubicados al azar teniendo en cuenta el criterio de Etchevers y Padilla (2008), quienes señalan que los puntos de muestreo pueden hacerse de esa manera si el investigador lo considera necesario. Estos puntos de muestreo (Tabla 3) están identificados en el mapa base del estudio (ver Apéndice 1).

Tabla 3

Puntos de muestreo

Punto de muestreo	Ubicación	Extensión (ha)	Tiempo de plantación (años)	UTM
PM01	Fundo Rivera 1	1,83	40	282157,31 E 8840889,33 S
PM02	Fundo Rivera 2	3,90	40	282208,29 E 8840817,28 S
PM03	Fundo Santa María	0,84	40	281940,35 E 8841028,55 S
PM04	Fundo La Querencia	0,45	40	281834,00 E 8841076,00 S
PM.05	Bosque Colegio	1,89	40	281907,31 E 8841195,99 S

Fuente: Elaboración propia.



Figura 10. Bosques en estudio de la Comunidad Campesina de Antay. *Fuente.* Elaboración propia.

2.5. Técnicas e instrumentos

La descripción de los perfiles de las cinco calicatas construidas en los puntos de muestreo previamente ubicados en el mapa base, se hizo en base a la Guía para la Descripción de Perfiles de Suelos de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO] (2009), mediante una ficha de descripción de perfiles, considerándose las características generales y la descripción del perfil. La interpretación de los resultados del análisis de los suelos obtenidos en el laboratorio fue ejecutada en base al Manual de Campo para la Descripción y Muestreo de Suelos (Schoeneberger *et al.*, 2012). Los cálculos del dióxido de carbono se basaron en la norma proporcionada por el ICRAF (2009).

2.6. Descripción de la investigación

La investigación se hizo en base a diversas actividades sugeridas por Mejía (2019), dentro de ellas se tuvo en cuenta las fases: preliminar, de campo, de laboratorio y de gabinete, complementadas en base a la asignatura de Seminario de Tesis (2016) y en concordancia con el Reglamento de Tesis de la Facultad de Ingeniería Agraria de la UCSS Sapientiae (2018). El estudio se en base a los objetivos de la investigación de la siguiente manera:

Fase preliminar

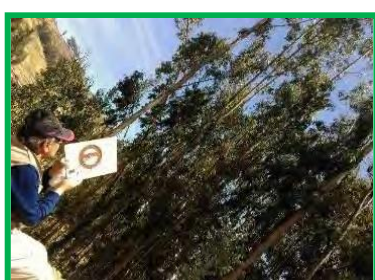
En esta fase, se tuvo en cuenta el desarrollo de las siguientes actividades:

- Se realizó el reconocimiento del área en estudio y se recopiló la información existente con referencia al tema en estudio.
- Se realizó el diálogo con la población y las autoridades correspondientes y se gestionó permisos para realizar la investigación.
- Finalmente se elaboró el mapa base de la zona con la ubicación de los puntos de muestreo del distrito de Cajatambo (ver Apéndice 1).

Fase de campo

En esta fase, se realizaron las siguientes actividades:

- Se ubicaron los puntos de muestro con un receptor GPS mediante la delimitación de una cuadrícula de 15 x 15 metros (225 m²) conformado por 25 árboles de eucaliptos y de los cuales se evaluaron 8 árboles al azar por cada punto de muestreo.
- Se obtuvieron los valores del DAP de los árboles mediante una cinta métrica, medido exactamente a una altura de 1,30 m desde la base del tallo y se calcularon las alturas de los árboles y los diámetros de los árboles seleccionados.
- Se tomaron muestras de la hojarasca de una cuadrícula de 0,25 m² (0,50 m x 0,50 m) en cada uno de los bosques para determinar el C y el CO₂ presentes en estos residuos.



Altura de árboles



Diámetro a la altura del pecho



Muestreo de la hojarasca

Figura 11. Actividades desarrolladas en la fase de campo. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4*Árboles muestreados en cada parcela en estudio*

Punto de Muestreo	Ubicación	Número de árboles (8)							
		A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8
PM-01	Bosque Rivera 1	-	-	-	-	-	-	-	-
PM-02	Bosque Rivera 2	-	-	-	-	-	-	-	-
PM-03	Bosque Santa María	-	-	-	-	-	-	-	-
PM-04	Bosque La Querencia	-	-	-	-	-	-	-	-
PM-05	Bosque Colegio	-	-	-	-	-	-	-	-

Fuente: Elaboración propia.

- Se aperturaron calicatas de 20 – 50 cm de profundidad de los cuales se tomaron muestras de suelos de 200 g para determinar el contenido carbono orgánico (CO).
- Se tomaron muestras de la hojarasca de cada punto de muestreo utilizándose una cuadrícula de 0,5 m x 0,5 m (0,25 m²) para conocer el contenido humedad (ver Apéndice 6).
- Las muestras obtenidas fueron pesadas en fresco con una balanza, después se almacenaron en bolsas de papel debidamente identificadas.
- Finalmente, las muestras de suelos y de hojarasca fueron llevadas al laboratorio para los análisis respectivos (ver Apéndice 6).

*Figura 12.* Apertura de calicatas, toma e identificación de muestras. *Fuente:* Elaboración propia.**Fase de laboratorio**

Las actividades desarrolladas en esta fase fueron las siguientes:

- En esta fase, las muestras obtenidas de la hojarasca con un peso aproximado de 200 g fueron llevadas a una estufa a una temperatura de 105 °C hasta alcanzar un peso constante (peso seco), en 24 horas y luego calcular los pesos respectivos en seco.
- Luego, se determinó el contenido de CO (en g y %) en base a 10 g de la muestra de suelo. Asimismo, se determinaron el contenido de carbono orgánico del suelo en el Laboratorio de la Facultad de Ingeniería Agraria de la Universidad Católica Sapientiae Filial Huaura (ver Apéndice 4 y 5).



Figura 13. Pesado de muestras y submuestras, calcinación de las submuestras. *Fuente:* Elaboración propia.

Fase de gabinete

Los datos obtenidos en campo y en laboratorio fueron ordenados en esta fase. Luego de la interpretación de los resultados, se formularon las discusiones, luego las conclusiones y recomendaciones. Finalmente se redactó el informe final de la tesis que fue enviada al Departamento de Investigación de la Facultad de Ingeniería Agraria de la Universidad Católica Sedes Sapientiae para su revisión, aprobación y posterior sustentación.

2.7. Identificación de variables y mensuración

Las variables consideradas en la investigación, así como las unidades de medida y los métodos utilizados, están mostrados en la Tabla 5.

Tabla 5

Variables y su mensuración

Variables	Indicadores	Medida	Métodos
1.	- Altura	m	Clinómetro
	- DAP	cm	Cinta diamétrica graduada

Continuación

	- Peso biomasa árbol	t	Cabudivo (2017)
	- Volumen	m ³	MINAM (2015)*
	- Densidad aparente	kg.m ⁻³	Cilindro
	- Factor de corrección	0,5	Valor constante
	C almacenado en la biomasa	t	Cabudivo (2017)
	- Volumen biomasa	m ³	MINAM (2015)*
	- Peso de la necromasa	t	Balanza de precisión
	- Humedad necromasa	%	Cruzado (2010)
2. Carbono en el suelo	- Volumen del suelo	m ³	Luza (2014)
	- Densidad aparente suelo	kg.m ⁻³	Luza (2014)
	- Peso del suelo	t.ha ⁻¹	Gutiérrez (2017)
3. CO ₂ capturado	- CO ₂ capturado biomasa	t.ha ⁻¹	Cabudivo (2017)
	- CO ₂ capturado necromasa	t.ha ⁻¹	Cabudivo (2017)
	- CO ₂ capturado en el suelo	t.ha ⁻¹	Cabudivo (2017)
4. Bonos de carbono	- Bonos de carbono/tonelada de CO ₂ capturado	S/. t CO ₂	IPCC

Fuente: Elaboración propia.

*Guía de inventario de la flora y vegetación (MINAM, 2015).

2.8. Análisis de datos

Por ser el tema de investigación de tipo no experimental, los datos obtenidos fueron expresados en diferentes unidades de medida y analizados mediante fórmulas matemáticas, las mismas que fueron aplicadas de la siguiente manera:

1) Para determinar la cantidad de CO₂ capturado por la biomasa aérea, se realizaron los siguientes cálculos:

Cálculo del diámetro a la altura del pecho (DAP)

La determinación del diámetro a la altura del pecho se obtuvo a través de la siguiente fórmula planteada por el ICRAF (2009).

$$DAP = \frac{C}{\pi}$$

Donde:

DAP = diámetro (m)

C = circunferencia (m)

$\pi = 3.1415$

Cálculo de la altura del árbol

La altura de los árboles fue calculada utilizando la siguiente fórmula propuesta por el ICRAF (2009):

$$h = \text{tang}(X) * D$$

Donde:

h = Altura total del árbol (m)

Tang. (X) = Tangente del ángulo en grados

D = Distancia entre el operador y el árbol (m)

Cálculo del área basal del árbol

El área basal de los árboles se determinó aplicando la siguiente fórmula (MINAM, 2015):

$$AB = 3,1415 \left(\frac{DAP}{2}\right)^2$$

Donde:

AB = Área basal (m²)

DAP = Diámetro a la altura del pecho (m)

$\pi = 3,1415$

Cálculo del volumen del árbol

El volumen de los árboles fue determinado a partir del área basal aplicando la fórmula sugerida por el MINAM (2015):

$$V = AB \times h \times Fm$$

Donde:

V = Volumen del árbol (m³)

AB = Área basal (m²)

h = Altura total (m)

Fm = Factor de forma (0,7)

Cálculo de biomasa aérea del árbol

La biomasa aérea del árbol fue calculada mediante la ecuación propuesta por Cabudivo (2017):

$$\text{Barb} = \frac{V \times Db}{1000} \times fe$$

Donde:

Barb = Biomasa del árbol (toneladas)

V = Volumen (m³)

Db = Densidad básica (kg/m³)

fe = factor de expansión 1,6

Cálculo del carbono almacenado en la biomasa aérea

El contenido de carbono total (CT) de los árboles se determinó aplicando la siguiente fórmula planteada por Cabudivo (2017):

$$CT = Barb \times Fc$$

Donde:

CT = Carbono total (t)

Barb = Biomasa del árbol (t)

Fc = 0.5

Cálculo del dióxido de carbono secuestrado por una planta

El cálculo del dióxido de carbono capturado por las plantas se realizó mediante los métodos existenciales propuesto por Cabudivo (2017):

$$CO_2 = CT \times Fc$$

Donde:

CO₂ = Dióxido de carbono secuestrado en toneladas (tC)

CT = Carbono en toneladas (tC)

Fc = Factor de conversión 3,67, resultante del cociente de los pesos moleculares del dióxido de carbono y del carbono (CO₂/C).

Peso atómico del carbono = 12,001115

Peso atómico del oxígeno = 15,9994 x 2 = 31,9988.

Peso del CO₂ = C + O x 2 = 43,999915

$$Fc = \frac{CO_2}{C} = 3,67$$

2) Cálculo de la cantidad de CO₂ en la hojarasca

Para calcular la cantidad de CO₂ secuestrado por la hojarasca cuyas muestras fueron obtenidas en el campo, se realizaron los siguientes cálculos:

Contenido de humedad de la hojarasca

El contenido de humedad se halló mediante la siguiente fórmula (Cruzado, 2010).

$$CH = \frac{pfm - psm}{Pfm}$$

Donde:

CH = Contenido de humedad (%)

Pfm= Peso fresco de submuestra (g)

Psm = Peso seco de submuestra (g)

Cálculo de la hojarasca

La hojarasca se calculó a partir del contenido de humedad de las muestras colectadas, a través de la siguiente fórmula (Connolly y Corea, 2007):

$$Y = (Pft) - (Pft \times CH)$$

Donde:

Y = Hojarasca (g)

Pft = Peso fresco total (g)

CH = Contenido de humedad

Posteriormente, se dividió la hojarasca en gramos (valor de “Y”), entre 1 000 000 para obtener los resultados en toneladas, este resultado se multiplica por 0,5 para obtener toneladas de carbono fijado. Las toneladas de carbono fijado se dividen entre el total de metros muestreados, esta operación permite obtener las toneladas de carbono por metro cuadrado (tC.m²) y al multiplicarlo por 10 000 se obtienen toneladas de carbono por hectárea (tC.ha⁻¹) (Connolly y Corea, 2007).

Carbono fijado por la hojarasca

El carbono fijado por la hojarasca se halló mediante la siguiente fórmula (Cruzado, 2010):

$$CT = Y \times Fc$$

Donde:

CT = Carbono total (tC.ha⁻¹)

Y = Biomasa total (t)

Fc₁ = Factor de conversión (0,5)

Cálculo del dióxido de carbono secuestrado por la hojarasca

El cálculo para la captura de dióxido de carbono se realizó mediante métodos existenciales (Cabudivo, 2017).

$$CO_2 = CT \times Fc$$

Donde:

CO_2 = Dióxido de carbono secuestrado en toneladas ($tCO_2 \cdot ha^{-1}$)

CT = Carbono en toneladas (tC)

Fc_2 = Factor de conversión 3,67

3) Cálculo de la cantidad de CO_2 almacenado en el suelo

Para calcular la cantidad de CO_2 almacenado en los suelos de las plantaciones de la comunidad de Antay, se realizaron los siguientes cálculos:

Cálculo de la densidad aparente del suelo: Para calcular la densidad aparente del suelo se utilizó en método del cilindro, se tuvo en cuenta lo siguiente:

a. Dimensiones del cilindro

Las dimensiones del cilindro considerando el diámetro, radio altura, peso y volumen, son las mostradas en la Tabla 6.

Tabla 6

Dimensiones del cilindro para la determinación de la densidad aparente

Elemento	Valor	Unidad
Diámetro (D)	5	cm
Radio (r)	2,5	cm
Altura (h)	5	cm
Peso del cilindro	16	g
Volumen del cilindro	98,172	cm ³

Fuente. Elaboración propia.

b. Volumen del cilindro

El volumen del cilindro se calculó mediante la fórmula sugerida por Luza (2014):

$$V = \pi \times r^2 \times h$$

Donde:

V = Volumen (cm³)

$\pi = 3,1415$

r = radio del cilindro (cm)

h = altura del cilindro (cm)

c. Densidad aparente del suelo

La densidad aparente de los suelos de los bosques de Antay fue calculada mediante la siguiente fórmula propuesta por Luza (2014):

$$DA(g. cm^{-3}) = \frac{P1 - P2}{VT}$$

Donde:

DA = Densidad aparente (g. cm⁻³)

P1 = Peso del suelo más el cilindro (g)

P2 = Peso del cilindro (g)

VT = Volumen del cilindro (cm³)

Cálculo del peso del suelo

El cálculo del peso se halló mediante la siguiente fórmula (Gutiérrez, 2017):

$$Ps = DA \times Pf \times 10\ 000$$

Donde:

Ps = Peso del suelo (t.ha⁻¹)

DA = Densidad aparente (t.m⁻³)

Pf = Espesor o profundidad del horizonte (m)

C = Área de una ha (10 000 m²)

Cálculo del carbono retenido en el suelo

$$Cs = \frac{Ps \times \%}{100}$$

Donde:

Cs = carbono en el suelo (t.ha⁻¹)

Ps = Peso suelo (t.ha⁻¹)

C % = Porcentaje de carbono

100 = Factor de conversión

Cálculo del dióxido de carbono capturado en el suelo

El cálculo para la captura de dióxido de carbono se realizó mediante la siguiente ecuación (Cabudivo, 2017):

$$CO_2 = CT \times Fc$$

Donde:

CO₂ = Dióxido de carbono secuestrado en toneladas (tC)

CT = Carbono en toneladas (tC)

Fc₂ = Factor de conversión 3,67

4) Bonos de carbono

Para obtener el valor económico de los bonos de carbono, se realizaron los siguientes cálculos:

Estimación del valor económico del CO₂ secuestrado

Para estimar el valor económico del CO₂ secuestrado, se procedió a multiplicar la cantidad total de dióxido de carbono con el respectivo precio que presenta en el mercado de un determinado lugar, la fórmula fue propuesta por el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [IPCC] (2003).

VE = CO₂ capturado en t.ha⁻¹ x Precio por ha ofertado por el mercado

BE = VE x la cantidad total de CO₂ secuestrado por los 5 bosques (8,91 ha) de la comunidad de Antay

Donde:

VE = valor económico, por hectárea (S/ha⁻¹)

CO₂ = dióxido de carbono secuestrado (tCO₂.ha⁻¹)

Precio del euro en el mercado: S/ 3,73 (al 22 de noviembre de 2019).

CAPÍTULO III: RESULTADOS

3.1. Caracterización de los bosques de eucalipto de la comunidad de Antay

En concordancia con el primer objetivo de la investigación, la caracterización de los bosques de la Comunidad de Antay se hizo en base a las características generales y la ubicación de los bosques y a las propiedades edáficas de los suelos que sostienen a dichos bosques.

3.1.1. Características de los bosques de la zona en estudio

Los bosques con plantaciones de eucalipto presentan las siguientes características:

Características de los bosques

- Las plantaciones no tienen edades concretas porque de acuerdo con la consulta hecha a los comuneros, algunos manifestaron que debe ser un aproximado de 40 años, otros dicen que es menor y otros responden que no tienen conocimiento.
- El distanciamiento de los árboles no es uniforme, en algunos casos es de 3 x 3 m y en otros no tienen medidas exactas.
- Los árboles fueron aprovechados en desorden, teniendo en cuenta el grosor y la necesidad de obtener un recurso económico, contar con madera para construcciones o para combustible, sin un plan de aprovechamiento racional y sostenido.
- En algunas zonas de los bosques las plantaciones hechas sufrieron mermas debido a la muerte de los plántones, razón por la cual, la densidad de la población no es uniforme. La cobertura de los árboles y otras características de cada uno de los bosques estudiados.

Características de los suelos que sostienen a los bosques

La ubicación geográfica, cobertura, pendiente, grado de erosión, características climáticas (precipitación y temperatura) y altitud, están señaladas en la Tabla 7.

Tabla 7*Características generales de la zona en estudio*

CARACTERÍSTICAS	BOSQUES DE LA COMUNIDAD DE ANTAY				
	PM-01: Fundo Rivera 1	PM-02: Fundo Rivera 2	PM-03: Fundo Santa María	PM-04: Fundo La Querencia	PM-05: Bosque Colegio
Ubicación Geográfica	282157,31 E 8840889,33S	282157,31 E 8840889,33S	282157,31 E 8840889,33S	282157,31 E 8840889,33 S	282157,31 E 8840889,33S
Cobertura (%)	85	80	70	50	70
Extensión (ha)	1,83	3,90	0,84	0,45	1,89
Pendiente (%)	38	21	53	24	46
Grado de erosión	Severa	Moderada	Muy severa	Moderada	Severa
Precipitación promedio (mm)	710	710	710	710	710
Temperatura (°C)	11	11	11	11	11
Altitud (msnm)	3 385	3 393	3 372	3 359	3 321

Fuente: Elaboración propia.**3.1.2. Características edáficas de los suelos de la zona en estudio**

Del mismo modo, las características más importantes de los suelos (profundidad, color, contenido de materia orgánica, pH y salinidad) que están soportando a los bosques de la comunidad de Antay, están señaladas en la Tabla 8.

Tabla 8

Características edáficas más importantes de la zona en estudio

CARACTERÍSTICAS	CARACTERÍSTICAS EDAFICAS				
	PM-01: Fundo Rivera 1	PM-02: Fundo Rivera 2	PM-03: Fundo Santa María	PM-04: Fundo La Querencia	PM-05: Bosque Colegio
Profundidad (cm)	Media 40 cm	Superficial 25 cm	Superficial 18 cm	Superficial 27 cm	Superficial 20 cm
Color (Tabla Munsell)	10YR 2/2 Marrón muy oscuro	10YR 2/2 Marrón muy oscuro	10YR 3/3 Marrón oscuro	10YR 5/2 Marrón grisáceo	10YR 5/4 Marrón rojizo
Materia orgánica (%)	Medio 3,37	Alto 4,06	Bajo 1,60	Medio 3,12	Bajo 1,44
pH (Rangos de pH)	Neutro 7,1	Neutro 6,9	Neutro 6,6	Liger. Básico 7,5	Liger. Ácido 6,3
Conductividad eléctrica (dS.kg ⁻¹)	Sin problemas 1,4	Sin problemas 1,7	Sin problemas 1,2	Sin problemas 1,6	Sin problemas 1,3

Fuente: Elaboración propia.

3.2. Cálculo de dióxido de carbono capturado por la biomasa, hojarasca y suelo

3.2.1. Cálculo del dióxido de carbono capturado por la biomasa

Para calcular la cantidad de dióxido de carbono contenido en la biomasa de las plantas de “eucalipto” y en cumplimiento del segundo objetivo de la investigación se siguió las normas establecidas por el Centro Mundial de Agroforestería [ICRAF], 2009) de la siguiente manera:

Diámetro a la altura del pecho (DAP)

Los valores del DAP obtenidos variaron tanto en los lugares, así como entre árboles de cada bosque estudiado con medidas de 0,16 a 0,64 m en función al grosor de la planta, tal como los datos que están mostrados en la Tabla 9.

Tabla 9

Diámetro a la altura del pecho (DAP)

NÚMERO DE ÁRBOL	DIÁMETRO A LA ALTURA DEL PECHO DAP (m)				
	PM-01 Fundo Rivera 1	PM-02 Fundo Rivera 2	PM-03 Fundo Santa María	PM-04 Fundo La Querencia	PM-05 Bosque Colegio
A1	0,45	0,32	0,32	0,57	0,57
A2	0,48	0,28	0,50	0,61	0,54
A3	0,36	0,48	0,52	0,64	0,23
A4	0,51	0,51	0,52	0,30	0,25
A5	0,27	0,35	0,27	0,26	0,41
A6	0,25	0,47	0,30	0,56	0,29
A7	0,34	0,48	0,46	0,49	0,42
A8	0,16	0,31	0,27	0,34	0,42
TOTAL	2,82	3,20	3,16	3,77	3,13
PROMEDIO	0,35	0,40	0,39	0,47	0,39

Fuente: Elaboración propia.

Altura de árboles

La altura de los árboles también fue muy variable de acuerdo con cada punto de muestreo que fueron elegidos al azar y en cada bosque, habiéndose encontrado alturas que variaron desde 13,79 a 57,05 m, cuyas diferencias se pueden apreciar en la Tabla 10.

Tabla 10*Cálculo de la altura de los árboles*

NÚMERO DE ÁRBOL	ALTURA DE PLANTAS (m)				
	PM-01 Fundo Rivera 1	PM-02 Fundo Rivera 2	PM-03 Fundo Santa María	PM-04 Fundo La Querencia	PM-05 Bosque Colegio
A1	27,56	28,41	35,69	31,02	27,79
A2	18,94	46,35	36,75	40,17	34,64
A3	24,06	36,39	47,12	55,65	24,06
A4	15,64	40,52	26,76	35,35	22,14
A5	22,73	49,58	47,81	41,36	17,48
A6	16,31	30,85	29,10	44,03	29,44
A7	19,26	36,39	47,81	57,05	30,27
A8	13,79	21,75	36,39	48,87	48,87
TOTAL	158,29	290,24	307,43	353,50	234,69
PROMEDIO	19,79	36,28	38,42	44,19	29,35

Fuente: Elaboración propia.**Área basal de los árboles**

El área basal de los árboles también fue muy variable, la misma que tuvo una estrecha relación con la altura y el grosor de los árboles. Se encontraron áreas basales que variaron desde 0,07 a 0,32 m², tal como se puede observar en la Tabla 11.

Tabla 11*Área basal de los árboles de eucalipto*

NÚMERO DE ÁRBOL	ÁREA BASAL (m ²)				
	PM-01: Fundo Rivera 1	PM-02: Fundo Rivera 2	PM-03: Fundo Santa María	PM-04: Fundo La Querencia	PM-05: Bosque Colegio
A1	0,16	0,08	0,08	0,26	0,26
A2	0,18	0,06	0,20	0,30	0,23
A3	0,10	0,18	0,21	0,32	0,04
A4	0,20	0,20	0,21	0,07	0,05
A5	0,06	0,10	0,06	0,05	0,13
A6	0,05	0,17	0,07	0,25	0,07
A7	0,09	0,18	0,17	0,19	0,14
A8	0,02	0,08	0,06	0,09	0,14
TOTAL	0,86	1,05	1,06	1,53	1,06
PROMEDIO	0,11	0,13	0,13	0,20	0,13

Fuente: Elaboración propia.

Volumen de los árboles

El volumen de los árboles considerados en el estudio, tal como se observan en la Tabla 12, fue muy variable en cada uno de los bosques de la comunidad de Antay, habiéndose encontrado volúmenes que variaron de 0,19 a 12,47 m³. Estas variaciones también tienen relación con la altura, grosor y áreas basales, tal como se pueden observar en la Tabla 12.

Tabla 12

Volumen de árboles

NÚMERO DE ÁRBOL	VOLUMEN DE LOS ÁRBOLES (m ³)				
	PM-01: Fundo Rivera 1	PM-02: Fundo Rivera 2	PM-03: Fundo Santa María	PM-04: Fundo La Querencia	PM-05: Bosque Colegio
A1	3,09	1,60	2,00	5,65	5,06
A2	2,39	1,95	5,14	8,44	5,58
A3	1,68	4,59	6,93	12,47	0,67
A4	2,19	5,67	3,93	1,73	0,77
A5	0,95	3,47	2,00	1,45	1,60
A6	0,57	3,67	1,43	7,70	1,44
A7	1,21	4,60	5,69	7,59	2,97
A8	0,19	1,22	1,53	3,09	4,79
TOTAL	12,27	26,77	28,65	48,12	22,88
PROMEDIO	1,53	3,35	3,58	6,01	2,86

Fuente: Elaboración propia.

Cálculo de la biomasa de los árboles

La biomasa calculada en función a cada también tuvo resultados variables, estas variaciones que van de 0,16 a 10,18 t.árbol⁻¹, se muestran en la Tabla 13.

Tabla 13

Biomasa de los árboles en toneladas

NÚMERO DE ÁRBOL	PESO DE LA BIOMASA DE LOS ÁRBOLES (t)				
	PM-01: Fundo Rivera 1	PM-02: Fundo Rivera 2	PM-03: Fundo Santa María	PM-04: Fundo La Querencia	PM-05: Bosque Colegio
A1	2,52	1,31	1,63	4,61	4,13
A2	1,95	1,59	4,19	6,89	4,55
A3	1,37	3,74	5,65	10,18	0,55
A4	1,79	4,63	3,21	1,41	0,63
A5	0,77	2,83	1,63	1,18	1,31
A6	0,46	3,00	1,17	6,28	1,18
A7	0,99	3,75	4,63	6,20	2,42

Continuación

A8	0,16	1,00	1,25	2,52	3,91
TOTAL	10,00	21,85	23,36	39,27	18,68
PROMEDIO	1,25	2,73	2,92	4,91	2,33

Fuente: Elaboración propia.

Cálculo del carbono total en la biomasa

El carbono total almacenado por la biomasa aérea de los bosques en estudio fue variable, encontrándose valores de 0,07 a 1,26 t (PM-01), de 0,50 a 2,31 t (PM-02), de 0,58 a 2,83 t (PM-03), de 0,59 a 3,44 t (PM-04) y de 0,27 a 2,27 t (PM-05), tal como se observa en la Tabla 14.

Tabla 14

Carbono total en la biomasa

NÚMERO DE ÁRBOL	CARBONO TOTAL (t)				
	PM-01: Fundo Rivera 1	PM-02: Fundo Rivera 2	PM-03: Fundo Santa María	PM-04: Fundo La Querencia	PM-05: Bosque Colegio
A1	1,26	0,66	0,81	2,30	2,06
A2	0,98	0,80	2,10	3,44	2,27
A3	0,69	1,87	2,82	5,09	0,27
A4	0,90	2,31	1,60	0,70	0,31
A5	0,38	1,41	0,81	0,59	0,66
A6	0,23	1,50	0,58	3,14	0,59
A7	0,50	1,88	2,31	3,10	1,21
A8	0,07	0,50	0,62	1,26	1,96
TOTAL	5,01	10,93	11,65	19,62	9,33
PROMEDIO	0,63	1,37	1,46	2,45	1,17

Fuente: Elaboración propia.

Dióxido de carbono secuestrado por árbol

Los resultados del dióxido de carbono secuestrado por planta fueron variables con valores que van de 0,26 a 4,62 t en el bosque Rivera 1 (PM-01), de 1,84 a 8,48 t en el bosque Rivera 2 (PM-02), de 2,13 a 10,75 t en el bosque Santa María (PM-03), de 2,16 a 28,68 t en el bosque La Querencia (PM-04) y de 1,00 a 8,33 en el bosque Colegio (PM-05). Estos resultados están mostrados en la Tabla 15.

Tabla 15*Dióxido de carbono secuestrado por árbol*

NÚMERO DE ÁRBOL	CO ₂ SECUESTRADO (t)				
	PM-01: Fundo Rivera 1	PM-02: Fundo Rivera 2	PM-03: Fundo Santa María	PM-04: Fundo La Querencia	PM-05: Bosque Colegio
A1	4,62	2,42	2,97	8,44	7,56
A2	3,60	2,94	7,71	12,62	8,33
A3	2,53	6,86	10,35	18,68	1,00
A4	3,30	8,48	5,87	2,57	1,38
A5	1,39	5,40	2,97	2,16	2,42
A6	0,84	5,51	2,13	11,52	2,16
A7	1,83	6,90	8,48	11,38	4,44
A8	0,26	1,84	2,28	4,56	7,20
TOTAL	18,37	40,35	42,76	72,00	34,49
PROMEDIO	2,30	5,04	5,34	9,00	4,31

Fuente: Elaboración propia.

3.2.2. Dióxido de carbono almacenado en la hojarasca

Las muestras de la hojarasca fueron tomadas en número de uno por cada punto de muestreo, para lo cual se consideraron parcelas de 0,5 m de largo por 0,5 m de ancho (0,25 m²) (ver Apéndice 6). Para calcular la cantidad de CO₂ almacenado se tuvo en cuenta el seco y el peso seco de la hojarasca.

Humedad de la hojarasca

Los resultados del porcentaje de humedad de la hojarasca también fueron variable. Se encontraron porcentajes muy bajos que oscilaron de 0,08 a 0,14 % en el PM-01 (bosque Rivera 1), de 0,07 a 0,10 % en el PM-02 (Bosque Rivera 2). De 0,08 a 0,10 % en el PM-03 (bosque Santa María), de 0,07 a 0,12 % en el PM-04 (Bosque La Querencia) y de 0,07 a 0,08 % en el PM-05 (Bosque Colegio), tal como se puede observar en la Tabla 16.

Tabla 16*Humedad de la hojarasca*

PARCELA	HUMEDAD (%)				
	PM-01 Fundo Rivera 1	PM-02 Fundo Rivera 2	PM-03 Fundo Santa María	PM-04 Fundo La Querencia	PM-05 Bosque Colegio
A1	0,113	0,070	0,100	0,120	0,080
A2	0,104	0,080	0,100	0,110	0,070
A3	0,140	0,070	0,090	0,070	0,070
A4	0,090	0,080	0,080	0,070	0,080
A5	0,080	0,100	0,080	0,080	0,060
TOTAL	0,527	0,400	0,450	0,450	0,360
PROMEDIO	0,105	0,080	0,090	0,090	0,072

Fuente: Elaboración propia.**Cálculo del carbono almacenado por la hojarasca**

Los resultados del carbono almacenado por la hojarasca también fueron ligeramente variables, tal como se puede observar en la Tabla 17.

Tabla 17*Carbono almacenado en la hojarasca*

PARCELA	CARBONO EN LA HOJARASCA (t.ha ⁻¹)				
	PM-01: Fundo Rivera 1	PM-02: Fundo Rivera 2	PM-03: Fundo Santa María	PM-04: Fundo La Querencia	PM-05: Bosque Colegio
A1	4,52	4,96	3,84	3,78	4,08
A2	4,20	5,20	3,78	3,70	4,00
A3	4,24	4,80	3,74	3,94	4,08
A4	4,60	4,96	4,00	4,04	4,00
A5	5,20	4,96	3,84	3,80	4,04
TOTAL	22,76	24,88	19,20	19,26	20,20
PROMEDIO	4,552	4,976	3,840	3,852	4,040

Fuente: Elaboración propia.**Dióxido de carbono almacenado en la hojarasca**

El dióxido de carbono almacenado por la hojarasca (Tabla 18), también mostró cantidades de variables. Los árboles del bosque Rivera 1 (PM.01) retuvieron de 15,41 a 19,08 tCO₂.ha⁻¹, bosque Rivera 2 (PM-03) de 17,61 a 18,35 tCO₂.ha⁻¹, bosque Santa María (PM-03) de

13,69 a 14,68 tCO₂.ha⁻¹, Bosque La Querencia (PM-04) de 13,58 a 14,83 tCO₂.ha⁻¹ y el bosque Colegio (PM-05) de 14,68 a 14,97 tCO₂.ha⁻¹.

Tabla 18

Dióxido de carbono almacenado en la hojarasca

NÚMERO DE PARCELA	DIOXIDO DE CARBONO EN LA HOJARASCA (tCO ₂ .ha ⁻¹)				
	PM-01 Fundo Rivera 1	PM-02: Fundo Rivera 2	PM-03 Fundo Santa María	PM-04 Fundo La Querencia	PM-05 Bosque Colegio
P1	16,58	18,20	14,09	13,87	14,97
P2	15,41	18,35	13,87	13,58	14,68
P3	15,56	17,61	13,63	14,46	14,97
P4	16,88	18,20	14,68	14,83	14,68
P5	19,08	18,20	14,09	13,95	14,83
TOTAL	83,51	90,56	70,36	70,69	74,13
PROMEDIO	16,70	18,11	14,07	14,14	14,83

Fuente: Elaboración propia.

3.2.3. Dióxido de carbono almacenado en el suelo

Para calcular el dióxido de carbono almacenado en los suelos se determinaron los siguientes parámetros: Densidad aparente, peso del suelo y carbono orgánico retenido en el suelo.

Cálculo de la densidad aparente

La densidad aparente de los suelos determinada en base a la masa y el volumen total del horizonte superficial de los suelos también fue variable habiéndose encontrado densidades que varían de 1,33 a 1,37; de 1,34 a 1,38; de 1,34 a 1,40; de 1,32 a 1,33 y de 1,31 a 1,34 t.m⁻³, en los PM-01, PM-02, PM-03, PM-04 y PM-05, respectivamente. Estos resultados se aprecian en la Tabla 19.

Tabla 19

Densidad aparente de los suelos

Nº DE PARCELA	DENSIDAD APARENTE (t.m ⁻³)				
	PM-01: Fundo Rivera 1	PM-02: Fundo Rivera 2	PM-03: Fundo Santa María	PM-04: Fundo La Querencia	PM-05: Bosque Colegio
P1	1,36	1,34	1,40	1,32	1,32
P2	1,37	1,35	1,37	1,33	1,33

Continuación

P3	1,33	1,37	1,38	1,35	1,31
P4	1,34	1,38	1,34	1,36	1,34
P5	1,35	1,36	1,36	1,34	1,35
TOTAL	6,75	6,80	6,85	6,70	6,65
Promedio	1,35	1,36	1,37	1,34	1,33

Fuente: Elaboración propia.

a. Peso del suelo

Como consecuencia de la densidad aparente variable, los pesos de los suelos también fueron variables, cuyos resultados se pueden observar en la Tabla 20.

Tabla 20

Peso de una hectárea de suelo

NÚMERO DE PARCELA	PESO DEL SUELO (t.ha ⁻¹)				
	PM-01: Fundo Rivera 1	PM-02: Fundo Rivera 2	PM-03: Fundo Santa María	PM-04: Fundo La Querencia	PM-05: Bosque Colegio
P1	2 720,00	2680,00	2800,00	2640,00	2640,00
P2	2 740,00	2700,00	2740,00	2660,00	2660,00
P3	2 660,00	2740,00	2760,00	2700,00	2620,00
P4	2 680,00	2760,00	2680,00	2720,00	2680,00
P5	2 700,00	2720,00	2720,00	2680,00	2700,00
TOTAL	13 500,00	13 600,00	13 700,00	13 400,00	13 300,00
Promedio	2 700,00	2720,00	2740,00	2680,00	2660,00

Fuente: Elaboración propia.

b. Contenido de carbono en el suelo

El carbono almacenado en los suelos de los bosques de la comunidad campesina de Antay, fue variable con cantidades que varían de 23,59 a 62,41 t.ha⁻¹ en el bosque Colegio a 80,40 t.ha⁻¹ en el bosque Santa María, tal como están mostrados en la Tabla 21.

Tabla 21*Carbono almacenado en el suelo*

NÚMERO DE PARCELA	CARBONO EN EL SUELO (t.ha ⁻¹)				
	PM-01 Fundo Rivera 1	PM-02 Fundo Rivera 2	PM-03 Fundo Santa María	PM-04 Fundo La Querencia	PM-05 Bosque Colegio
P1	56,14	67,51	62,58	27,83	38,31
P2	62,41	70,85	53,21	49,00	26,07
P3	44,85	57,73	64,09	35,50	38,04
P4	49,88	60,77	50,95	50,05	23,59
P5	50,38	62,70	80,40	37,39	17,90
TOTAL	263,66	319,56	311,23	199,77	143,91
PROMEDIO	52,37	63,91	62,25	39,95	28,78

Fuente: Elaboración propia.**c. Cálculo del dióxido de carbono almacenado en el suelo**

Como consecuencia del contenido de carbono orgánica retenidos en los suelos de los cinco bosques de la comunidad campesina de Antay, se ha calculado la cantidad de dióxido de carbono que significa en base al carbono retenido, obteniéndose que en los suelos de bosque Rivera1 tiene retenido el equivalente de 164,6 a 229,14 tCO₂.ha⁻¹, el bosque Rivera 2 tiene retenido de 211,87 a 260,02 tCO₂.ha⁻¹, el bosque Santa María de 186,98 a 295,06 tCO₂.ha⁻¹, el bosque La Querencia de 102,14 a 187,67 tCO₂.ha⁻¹ y el Bosque Colegio de 65,7 a 140,6 tCO₂.ha⁻¹. Estos resultados están mostrados en la Tabla 22.

Tabla 22*Dióxido de carbono almacenado en el suelo*

NÚMERO DE PARCELA	DIÓXIDO DE CARBONO EN EL SUELO (t.ha ⁻¹)				
	PM-01: Fundo Rivera 1	PM-02: Fundo Rivera 2	PM-03: Fundo Santa María	PM-04: Fundo La Querencia	PM-05: Bosque Colegio
P1	206,03	247,76	229,67	102,14	140,60
P2	229,04	260,02	195,28	179,83	95,68
P3	164,60	211,87	235,21	130,28	139,61
P4	183,06	223,03	186,98	183,67	86,57
P5	184,90	230,10	295,06	137,22	65,70
TOTAL	967,63	1172,78	1142,20	733,14	528,16
PROMEDIO	193,53	234,56	228,44	146,63	105,63

Fuente: Elaboración propia.

3.2.4. Dióxido de carbono capturado por los bosques de la comunidad de Antay

Para calcular el dióxido de carbono retenido por los bosques de la comunidad campesina de Antay, se ha tenido en cuenta la cantidad retenida por la biomasa, la cantidad retenida por la necromasa y la cantidad retenida en el suelo.

Biomasa

Para calcular la cantidad de CO₂ captura por la biomasa de los bosques de la comunidad de Antay, se ha calculado en base a CO₂ capturado/árbol, N° de árboles por ha, cobertura de cada bosque en %, N° de árboles reajustado, CO₂.ha⁻¹ y número de ha en cada bosque, cuya relación ha permitido obtener la cantidad de CO₂ capturado por la biomasa/bosque. Las cantidades retenidas son de 3 973,30 por el bosque Rivera 1; 17 454,53 t de CO₂ por el bosque Rivera 2; 3 485,3 t de CO₂ por el bosque Santa María, 2 247,75 t de CO₂ por el Bosque La Querencia y 6 329,36 t de CO₂ por el bosque Colegio. Estos resultados están mostrados en la Tabla 23.

Tabla 23

Dióxido de carbono capturado por la biomasa

CARACTERÍSTICAS	CO ₂ CAPTURADO POR LA BIOMASA				
	PM-01: Fundo Rivera 1	PM-02: Fundo Rivera 2	PM-03: Fundo Santa María	PM-04: Fundo La Querencia	PM-05: Bosque Colegio
CO ₂ capturado/árbol	2,30	5,04	5,34	9,00	4,31
N° de árboles por ha	1 111	1 111	1 111	1 111	1 111
Cobertura en %	85	80	70	50	70
N° de árboles reajustado	944	888	777	555	777
CO ₂ capturado/ha	2 171,20	4 475,52	4 149, 18	995,00	2 348,87
Número de ha	1,83	3,90	0,84	0,45	1,89
CO ₂ capturado por la biomasa/bosque	3 973,30	17 454,53	3 485,31	2 247,75	6 329,36

Fuente: Elaboración propia.

CO₂ total capturado por la biomasa de los 5 bosques (8,91 ha): 33 490,25 t.

Hojarasca

La cantidad de CO₂ capturado por la hojarasca de los bosques de la comunidad de Antay se calcularon en base al CO₂ retenido por las ha que tiene cada bosque y por la cantidad de CO₂ retenido en una ha de bosque. Es así como el bosque Rivera 1 retiene 30,56 t de CO₂, el bosque Rivera 2 retiene 70,63 t de CO₂, El bosque Santa María retiene 11,82 t de CO₂, el bosque La Querencia retiene 6,36 t de CO₂ y el bosque Colegio retiene 28,03 t de CO₂. Estas retenciones están expresadas en total de CO₂ capturado por cada uno de los bosques estudiados. Los resultados están mostrados en la Tabla 24.

Tabla 24

Dióxido de carbono capturado por la hojarasca de los bosques

	CO ₂ CAPTURADO POR LA HOJARASCA (t)				
	PM-01 Fundo Rivera 1	PM-02 Fundo Rivera 2	PM-03 Fundo Santa María	PM-04 Fundo La Querencia	PM-05 Bosque Colegio
CO ₂ capturado/ha	16,70	18,11	14,07	14,14	14,83
Número de ha	1,83	3,90	0,84	0,45	1,89
CO ₂ capturado por la hojarasca	30,56	70,63	11,82	6,36	28,03

Fuente: Elaboración propia.

CO₂ total capturado por la hojarasca de los 5 bosques: 147,40 toneladas.

Suelo

La cantidad total de CO₂ retenido en el suelo (Tabla 25) se ha calculado relacionando el CO₂ capturado por ha con el número de ha con que cuenta cada bosque de la comunidad campesina de Antay. Las cantidades totales de CO₂ capturado por cada bosque son las siguientes: 354,16; 914,78; 191,89; 65,98 y 199,64 de 199,64 CO₂, retenidos por los bosques Rivera 1, Rivera 1, Santa María, La Querencia y Colegio, respectivamente, dando un total de 1 726, 45 toneladas de CO₂.

Tabla 25*Dióxido de carbono total capturado por los suelos*

	CO₂ CAPTURADO POR LOS SUELOS (t)				
	PM-01 Fundo Rivera 1	PM-02 Fundo Rivera 2	PM-03 Fundo Santa María	PM-04 Fundo La Querencia	PM-05 Bosque Colegio
CO ₂ capturado por /ha	193,53	234,56	228,44	146,63	105,63
Número de ha	1,83	3,90	0,84	0,45	1,89
CO ₂ capturado por el suelo	354,16	914,78	191,89	65,98	199,64

Fuente: Elaboración propia.

CO₂ total capturado por los suelos de los cinco bosques de Antay: 1 726,45

CO₂ capturado por los bosques de la comunicad campesina de Antay

La sumatoria de la cantidad de CO₂ capturado por la biomasa, la hojarasca y el suelo permitió obtener la cantidad total de este compuesto de efecto invernadero, llegando a representar 35 364,10 toneladas en total capturados por los bosques de Antay que tienen un área de 8,91 ha, resultados que están mostrados en la Tabla 26.

Tabla 26*Dióxido de carbono total capturado por los bosques de Antay*

FUENTE	CANTIDAD DE CO₂ CAPTURADO POR LOS 5 BOSQUES (t)
Biomasa	33 490,25
Hojarasca	147,40
Suelo	1 726,45
TOTAL	35 364,10

Fuente: Elaboración propia.

3.3. Venta del CO₂ capturado por los bosques de Antay

Finalmente, y en concordancia con el tercer objetivo de la investigación, se plantea la posibilidad de negociar mediante los bonos de venta del CO₂ capturado por los bosques estudiados. Es posible que las autoridades de la Comunidad Campesina de Antay con la estrecha colaboración de los organismos públicos y privados relacionados con el tema,

puedan lograr este objetivo. Los montos aproximados que se podrían obtener están mostrados en la Tabla 27.

Tabla 27

Venta del CO₂ total capturado por los bosques

NEGOCIACION	VALOR
Dióxido de carbono capturado por los cinco bosques de Antay	35 364,10 t.
Precio ofertado por el mercado de bonos de carbono europeo (24,85 €·t ⁻¹)	879 797,89
Beneficio por obtenerse por la negociación del CO₂ capturado en S/	3 277 898, 43

Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO IV: DISCUSIONES

4.1. Caracterización de la zona en estudio

La caracterización de la zona de estudio se hizo en base a las características generales y a las características edáficas predominantes en los suelos que están soportando a los bosques de “eucalipto” de la comunidad de Antay. Esta caracterización se desarrolló de la siguiente manera:

4.1.1. Características generales

Las plantaciones existentes en los bosques estudiados tienen aproximadamente de 40 años de antigüedad, caracterizados por tener un distanciamiento desordenado, con desigual población de plantas debido a la desaparición de plantones en la época inicial de las plantaciones y por una tala indiscriminada de los árboles de mayor volumen, que fueron beneficiados con fines económicos y para la construcción de viviendas, así como fuente de energía de los hogares circundantes al bosque. Por lo tanto, la población de árboles tiene una cobertura que varía entre 50 a 85 %. Las plantaciones fueron establecidas en terrenos de ladera con pendientes variables entre 21 a 53 %. En general, la zona estudiada, tiene una precipitación promedio anual de 710 mm, con una temperatura promedio de 11 °C y con altitudes que varían de 3321 a 3393 m.s.n.m. Los bosques de la comunidad de Antay son ejemplos típicos de los bosques ubicados en la zona altoandina del país, cuyas características representan a formaciones forestales que han sido implementadas dentro de un proceso de forestación o reforestación (FAO, 2002); aunque, el término plantación engloba dos aspectos sumamente importantes, como las acciones que debe tenerse en cuenta para plantar o sembrar y el establecimiento de un sistema ecológico mediante la instalación de especies arbóreas (Cabrera, 2003). Además, un criterio sumamente importante es aportado por del Águila (2014), quién sostiene el almacenamiento del carbono tiene una relación directa con las edades de las plantaciones, lo que indica que a una mayor edad del árbol hubo una mayor acumulación de dióxido de carbono como resultado de la mayor retención del C.

4.1.2. Características edáficas

Las principales características edáficas de los suelos que sostienen los bosques estudiados en la comunidad campesina de Antay, se caracterizan por presentar una profundidad variable, habiéndose encontrado suelos muy superficiales (PM-03 y PM-05), superficiales (PM-02 y PM-04) y de mediana profundidad (PM-01). El color determinado fue desde marrón muy oscuro (PM-01 y PM-02), marrón oscuro (PM-03), gris claro (PM-04) y marrón rojizo (PM-05), lo cual estuvo en estrecha relación con el contenido de materia orgánica que fue variable desde 1,60 % en el PM-03 hasta 4,06 % en el PM-02. El pH varió desde ligeramente ácido (PM-05), neutro (PM-01, PM-02 y PM-03) y ligeramente básico (PM-04). Los valores de salinidad están por debajo de $2,0 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$, lo cual indica que no causará dificultades para el normal desarrollo de los cultivos, tal como está señalado en la Guía para la determinación de carbono en pequeñas propiedades rurales (ICRAF, 2009). Asimismo, es conveniente indicar que los suelos altoandinos del Perú son de desarrollo incipiente (jóvenes) porque en formación solo intervienen los factores físicos tales como la humedad, los vientos, las heladas y los cambios bruscos de la temperatura (Ortiz, 2014)

4.2. Captura de dióxido de carbono por los bosques de la Comunidad de Antay

4.2.1. Dióxido de carbono capturado por la biomasa

a. Diámetro a la altura de pecho (DAP)

Los diámetros a la altura del pecho obtenidos en el estudio fueron variables, cuyos promedios oscilaron entre 0,35 a 0,47 m, resultados que mostraron ser superiores a los conseguidos por Luza (2014), quién señala que en los bosques con 10 años de antigüedad de las localidades de Viques y Chorrillos, en el Valle de Mantaro, tuvieron promedios del DAP que variaron de 0,17 a 0,23 m, en, dando a entender que la edad de los árboles, tuvo una clara influencia sobre el DAP de los bosques estudiados en la comunidad de Antay. Ramírez y Chagna (2019) al hacer un estudio en Ecuador, observaron que plantaciones de eucaliptos de 48 años mostraron un DAP promedio de 0,44 m y una altura de 32,44 m. Las diferencias encontradas en ambas investigaciones se debieron a que cada lugar tiene sus propias características ambientales y edafológicas.

b. Altura de árboles

Con respecto a la altura de los árboles de los bosques de Antay, existe variabilidad que van desde 19,79 m (PM-01), 36,28 m (PM-02), 38,42 m (PM-03), 44,19 m (PM-04) hasta 29,35 m (PM-05). Las alturas halladas en este estudio que van desde 19,79 m hasta 44,19 m, aunque no son las más convincentes debido a la edad que tiene los árboles, la altura debería estar bordeando los 50 m, tal como señala Baca (2017), quién considera que un árbol de eucalipto puede sobrepasar los 50 m de altura en plantaciones con más de 30 años. Ramírez y Chagna (2019) agregan que la altura promedio de las plantaciones de “eucalipto” encontradas en la zona de Ibarra (Ecuador) fue de 32,44 m.

c. Área basal de los árboles

Como consecuencia de las alturas y el desarrollo de los árboles de “eucalipto” considerados en este estudio, las áreas basales de las plantaciones de los bosques de la comunidad de Antay, tienen valores bajos que oscilan entre 0,11 m² (PM-01), 0,13 m² (PM-02, PM-03 y PM-05), y 0,20 m² (PM-04), lo cual refleja el deficiente manejo que han tenido estos bosques, a lo que suma las condiciones climatológicas y edáficas de la zona estudiada, indicando que los árboles no han alcanzado desarrollarse plenamente debido a las limitaciones. Con respecto a este parámetro estudiado, Baca (2017) en un estudio similar obtuvo resultados mucho más significativos con respecto al área basal del *Eucalyptus globulus*, los mismos que variaron de 5,02 hasta 6,82 m², demostrando claramente que un adecuado manejo, la mayor antigüedad de los bosques y una oportuna supervisión municipal permiten obtener árboles de mayor condición.

d. Volumen de los árboles

Los volúmenes de los árboles de los bosques en estudio son muy variables, es así como esta característica oscila de 1,53 m³ (PM-01), 3,35 m³ (PM-02), 3,58 m³ (PM-03), 6,01 m³ (PM-04) y 2,86 m³ (PM-05), pero estos valores son superiores a los encontrados en un estudio realizado por Baca (2017), quien señaló que los árboles de “eucalipto” que investigó presentaron un volumen promedio de 1,21 m³. Es de suponer que la edad de las plantas tuvo un efecto positivo en los volúmenes de los árboles de los bosques de la comunidad de Antay, donde las plantaciones tienen una edad de aproximada de 40 años mientras que las plantas

estudiadas por Baca (2017) solo tenían 10 años de haber sido plantadas.

e. Biomasa aérea y carbono total retenido por árbol

En los resultados del cálculo de la biomasa aérea por árbol de los cinco bosques estudiados, se han encontrado valores que van de 1,25 hasta 4,91 t.ha⁻¹ (PM-05), notándose claramente que los valores de la biomasa pudieron ser mejores si los responsables de su conducción hubieran tomado en cuenta los aspectos relacionados con una atención oportuna en cuanto a las necesidades que requieren las plantaciones de este tipo. Sin embargo, en un estudio similar, Luza (2014), quién encontró que la biomasa aérea de plantaciones del “eucalipto” en el Valle del Mantaro (Junín) tenían una biomasa que varió entre 2,43 a 2,55 t.ha⁻¹, donde las plantas tenían un desarrollo mucho más uniforme y las plantaciones, a pesar de ser tener solo 10 años, habían recibido mayor atención técnica. Como resultado de las cantidades de biomasa encontradas en los bosques en estudio, las cantidades de carbono total promedio por árbol en los cinco puntos de muestreo fueron de 0,63 hasta 2,45 t de C.árbol⁻¹, valores que son el fiel reflejo del descuido que han tenido estos bosques, sobre todo teniendo en cuenta los resultados obtenidos por Cabudivo (2017), quién al estudiar el contenido de carbono en árboles urbanos en la ciudad de Lima consiguió valores de 0,40 hasta 4,80 t de C.árbol⁻¹, indicando una vez más que el manejo oportuno de los árboles permiten un mayor desarrollo de su biomasa y por ende del carbono capturado.

f. Dióxido de carbono capturado por árbol

Los promedios de dióxido de carbono capturado por árbol en los cinco puntos de muestreo fueron de 2,30 a 9,00 t de CO₂.árbol⁻¹, los mismos que reflejan las condiciones que mostraron los árboles al momento del estudio, donde se observó claramente que había una desigualdad notoria entre los árboles de un bosque con el de los otros, especialmente en lo referido a la densidad de las plantaciones. Sin embargo, estos resultados se relacionan en cierto modo con los resultados obtenidos por Del Águila (2014) quién al estudiar el secuestro de CO₂ por plantaciones de tres edades diferentes, encontró que a mayor edad de los árboles hubo un mayor almacenamiento de dióxido de carbono, obteniendo promedios de 2,58; 5,69 y 9,47 t de CO₂.árbol⁻¹ con plantaciones de 27, 35 y 44 años, respectivamente.

4.2.2. Dióxido de carbono capturado por la hojarasca

a. Humedad y carbono almacenado por la hojarasca

La humedad promedio de la hojarasca mostró valores que variaron desde 0,07 a 0,09 %, presentando valores muy parecidos en los cinco bosques en estudio, estos resultados que probablemente estuvieron influenciados por la estación del año y el tiempo en que fueron tomadas las muestras, hicieron que el material recolectado estuviera prácticamente seco, condición que permitió que los contenidos de carbono orgánico en la hojarasca mostraran valores variables desde de 3,85 hasta 4,98 t de C.ha⁻¹. Estas cantidades son similares a los obtenidos por Gamarra (2001), quién en un estudio realizado en la comunidad de Hualhuas, Junín, encontró un contenido promedio de 4,99 t de C.ha⁻¹ de carbono retenido por la hojarasca de la especie *Eucalyptus globulus*, agregando que la hojarasca es de suma importancia en la retención de carbono y al que al momento de descomponerse incorpora nutrientes al suelo.

b. Dióxido de carbono almacenado por la hojarasca

Los resultados de dióxido de carbono almacenado en la hojarasca de los bosques de la comunidad de Antay valores que variaron desde 16,70 hasta 18,11 t.ha⁻¹, como resultado de las cantidades de carbono orgánico retenidas en la hojarasca, el mismo que estuvo influenciado por la época en que se realizó el muestreo, debiéndose considerar también, que estas al estar descomponiéndose continuamente, pasarán a conformar la materia orgánica que está presente en el suelo. Con respecto a estos resultados, se puede considerar que son similares a lo obtenido por Gamarra (2001) quién reporto haber comprobado que la hojarasca de los bosques de “eucalipto” de la comunidad de Hualhuas, contenían un promedio de 18,31 t.ha⁻¹ de CO₂ capturado. Asimismo, Connolly y Corea (2007) señalaron que el material orgánico en descomposición (hojarasca) retiene la menor cantidad de C (0,46 a 1,75 %).

4.2.3. Dióxido de carbono almacenado en el suelo

a. Densidad aparente y el peso del suelo

Los valores promedio de la densidad aparente de los suelos dieron resultados muy similares

con resultados que variaron de 1,33 a 1,37 g.cm⁻³, los mismos que tienen una estrecha similitud con los datos reportados por Luza (2014), quién al realizar un estudio en el valle de El Mantaro, obtuvo un promedio de la densidad aparente de 1,33 t.m⁻³. Los valores encontrados están también en relación de los pesos de una hectárea de suelo que fue variable desde 2700 a 2740 t.ha⁻¹. Al respecto, los datos conseguidos por Tacarpo (2018) al realizar la estimación de la captura de carbono en el suelo a una profundidad de 0,50 m obtuvo un peso promedio de 4 975,00 t.ha⁻¹, cantidad muy superior al de este estudio que sólo consideró una profundidad de 0,20 m, debido a que los suelos fueron superficiales, aunque la densidad aparente fue muy similar. Además, debe tenerse en cuenta lo señalado por García y Beck (2006), quienes señalaron que los suelos altoandinos se caracterizan por tener una textura arenosa con material de tipo granítico y con niveles bajos de materia orgánica, lo cual tiene un significativo efecto sobre la densidad aparente y el peso del suelo.

b. Carbono y dióxido de carbono almacenado en el suelo

Los valores de carbono orgánico total almacenado por los suelos de los bosques de la comunidad campesina de Antay también fueron variables desde 28,78 hasta 63,91 t.ha⁻¹. Estos resultados tuvieron una relación muy estrecha con la altura y el volumen de las plantas de “eucalipto” que también fueron variables debido a diversos factores como la ausencia de un plan de manejo de las plantaciones, la desigual población arbórea de cada bosque y las condiciones ambientales y edáficas, las mismas que influyeron claramente en el número y altura de las plantaciones. Sin embargo, se puede tomar en cuenta los datos obtenidos por Gamarra (2001), quién reporta que en un estudio similar encontró que el promedio de carbono almacenado por el suelo fue 37,39 t.ha⁻¹. De igual manera, el CO₂ equivalente al C orgánico almacenado por los suelos dieron promedios desde 105,63 hasta 234,36 t.ha⁻¹. Al respecto, los resultados obtenidos pueden ser comparados con los datos reportados por Conolly y Corea (2007), quienes señalaron el dióxido de carbono almacenado en cuatro plantaciones ecoforestales de *Pinus radiata* D. Don “pino”, *Coffea arabica* L. “café”, *Acacia ssp* “acacia” y *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh “eucalipto rojo” y un bosque seco, indicaron que el suelo concentró los mayores valores de carbono fijado (76,07 a 87,12 %), seguido de la parte aérea de las plantaciones (tallos y hojas con 0,36 a 21,06 %); el C fijado en el sistema radicular fue la más baja (1,45 a 3,00 %).

4.2.4. Dióxido de carbono total almacenado por los cinco bosques en estudio

a. Dióxido de carbono almacenados por la biomasa, hojarasca y suelos

La cantidad de CO₂ retenido por la biomasa de los cinco bosques en estudio representan 33 490,25 t. Del mismo modo, el CO₂ retenido por la hojarasca corresponde a 147,40 t de CO₂ y la cantidad de CO₂ retenido en los suelos fue de 1 726, 45 t de CO₂. En consecuencia, se determinó que el total del dióxido de carbono capturado por los cinco bosques de la comunidad campesina de Antay fue de 35 364,10 t en un área total de 8,91 ha. En un estudio similar Luza (2014) encontró que la captura de carbono por la biomasa aérea, el sotobosque en 19 ha de plantaciones de “eucaliptos” ubicado en la localidad Viques (provincia de Huancayo, Junín), fue de 91 794 tCO₂, representando una captura mayor que la del bosque Chorrillos (10 ha), también ubicado en Viques, con un total de 7 417 tCO₂, la diferencia en relación a la cantidad de CO₂ retenido, diferencias que se justifica por las diferentes extensiones de los bosques en de estudio y a la influencia de los factores ambientales (clima, topográfica, hidrografía), la edad y tipo de manejo de cada ecosistema forestal.

b. Dióxido de carbono total capturado y bonos del carbono

Finalmente, la cantidad total de CO₂ retenido tanto por la biomasa, hojarasca y suelos de los cinco bosques de la comunidad de Antay fue de 35 364,10 t de dióxido de carbono. Esta cantidad podría ser ofertada a cualquier integrante del Sistema Europeo de Negociación del CO₂, entidad que considera que el precio de una tonelada de CO₂ tuvo un valor de S/ 92,69 (al mes de noviembre del año 2019). Por consiguiente, la comunidad campesina de Antay podría obtener un ingreso de S/ 3 272 639,24; valor económico que es muy superior a lo reportado por Luza (2014), quién estimó que los bosques de Viques y Chorrillos, en el Valle de El Mantaro, capturaron el equivalente de 132 823 t de CO₂ y que al ser valorizada a S/ 33,49 la tonelada, la población de Viques y de Chorrillo lograrían un ingreso de equivalente a S/. 4 449 550,5.

CAPÍTULO V: CONCLUSIONES

1. La zona en estudio tiene plantaciones de aproximadamente 40 años que han sufrido una tala desordenada originando una población actual con una cobertura que varía de 50 a 85 % en una hectárea de bosque, afectando negativamente a la capacidad de los bosques para retener una mayor cantidad de carbono. Existen evidencias de que las plantaciones fueron realizadas con fines de protección de los suelos contra la erosión y a la vez la obtención de madera para la construcción de viviendas y para el uso como combustible doméstico (leña).
2. Por otro lado, los suelos que está soportando a los bosques en estudio son, en su mayoría, de reacción ligeramente ácida, neutra y ligeramente básico, con contenido de materia orgánica muy variables y ubicados a altitudes que superan los 3300 m.s.n.m. Estas condiciones no permiten un desarrollo óptimo de las plantas, afectando a los diámetros a la altura del pecho que es variable y que no tiene valores de acuerdo con la edad que tienen las plantaciones. Por los tanto la altura, el volumen y el área basal de los árboles también son resultado de esas condiciones y un deficiente manejo de los bosques.
3. El de carbono orgánico retenido por la biomasa en promedio fue de 2,30 t.árbol⁻¹ en el bosque del fundo Rivera 1 (PM-01); 5,04 t.árbol⁻¹ en el bosque del fundo Rivera 2 (PM-02); 5,34 t.árbol⁻¹ en el bosque Santa María (PM-03); 9,00 t.árbol⁻¹ en el bosque La Querencia (PM-04) t.árbol⁻¹ y 4,31 t.árbol⁻¹ en el bosque Colegio (PM-05). El carbono almacenado por la hojarasca fue de 4,552 t de C.ha⁻¹ en el bosque Rivera 1; 4,976 t de C.ha⁻¹ en Rivera 2; 3,840 t de C.ha⁻¹ en el bosque Santa María; 3,852 t de C.ha⁻¹ en La Querencia) y 4,040 t de C.ha⁻¹ en el bosque Colegio. La cantidad de carbono retenido en los suelos fue de la siguiente manera: el bosque Rivera 1 almacenó 52,37 t de C.ha⁻¹ ; el bosque Rivera 2 almacenó 63,32 t de C.ha⁻¹; el bosque Santa María 43,78 t de C.ha⁻¹; en el bosque La Querencia 39,95 t de C.ha⁻¹ y en el bosque Colegio 28,68 tC.ha⁻¹.

4. En resumen, la cantidad total de CO₂ contenido por la biomasa de los cinco bosques en estudio fue de 33 490,25 t. La hojarasca capturó 147,40 t de CO₂ y los suelos de los cinco bosques tuvieron una retención total de 1 726,45 t de CO₂, con un total de 35 364,10 t de CO₂ capturados por los bosques de la comunidad de Antay.

5. Con referencia a la venta del CO₂ en el mercado de bonos de carbono establecidos por el Sistema Europeo de Negociación de CO₂ (2019) que señala que el precio de 1 t de CO₂ es de S/ 92,69, la comunidad de Antay podría obtener un ingreso de S/ 3 277 898,43 dinero que podría ser un factor importante para el desarrollo socioeconómico de los pobladores de la comunidad de Antay.

VI: RECOMENDACIONES

1. Pese a que los bosques de la comunidad de Antay están ubicadas en una zona altoandina del Perú, por encima de los 3500 m.s.n.m., han demostrado tener una buena la capacidad para el almacenamiento del dióxido de carbono y considerando los resultados obtenidos en este estudio, se recomienda la implementación de un programa de capacitación tanto para los comuneros como para las autoridades, con el fin de mejorar el conocimiento sobre la preservación, conservación y manejo eficiente de las áreas boscosas, considerando, además, el repoblamiento de las áreas sin uso con el establecimiento especies forestales tanto nativas como exóticas.
2. Al conocerse que los bosques de la comunidad de Antay tienen una expectante capacidad para la captura del dióxido de carbono, es de necesidad el establecimiento de convenios para el desarrollo y fortalecimiento de programas y proyectos relacionados con el mecanismo de desarrollo limpio mediante planes de reforestación, sin dejar de lado la importancia que tienen los bosques al ofrecer a la población diversos servicios ambientales y económicos, los mismos que serán de beneficio para el desarrollo integral de la comunidad de Antay.
3. Al haberse determinado mediante esta investigación que las plantaciones de eucaliptos son eficientes en la captura de cantidades significativas de dióxido carbono, lo cual representa un potencial sumamente importantes para la mitigación del cambio climático, se debe propiciar que la comunidad de Antay y del mismo modo, las comunidades vecinas, tomen mayor interés en el mantenimiento y aprovechamiento racional de sus bosques, con la finalidad de que en un futuro próximo puedan tener la posibilidad de negociar y obtener beneficios económicos mediante la venta internacional de los bonos de carbono.

REFERENCIAS

- Acosta, M. M.; Vargas, H. J.; Velázquez, M. A. y Etchevers, J. D. (2002). Estimación de la biomasa aérea mediante el uso de relaciones alométricas en seis especies arbóreas en Oaxaca, México. *Agrociencia*. 36(6):725-736. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=30236610&iCveNum=1171>
- Albuja, L. J. (2008). *Evaluación de cinco herbicidas de acción sistémica en el control de malezas de la unidad productiva de duraznero en la granja "La Pradera" Chaltura-Imbabura*. (Tesis de Grado). Universidad Técnica del Norte, Ibarra, Ecuador.
- Arévalo, L. J y Palm, C. (2003). Manual de determinación de las reservas de carbono en los diferentes sistemas de uso de tierras en Perú. ICRAF, CODESU, INIA, INRENA. *Ecol. Apl.* (3), pp. 1-2.
- Baca, J. E. (2017). *Captura de dióxido de carbono (CO₂) de especies forestales como mecanismo de compensación ambiental en una vía de alta presión vehicular (Avenida Separadora Industrial) – Lima, 2017*. (Tesis de Grado). Universidad César Vallejo, Lima, Perú.
- Benavides, H. O. y León, G. E. (2007). Información técnica sobre gases de efecto invernadero y el cambio climático. *Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales* – IDEAM. <http://www.ideam.gov.co/documents/21021/21138/Gases+de+Efecto+Invernadero+y+el+Cambio+Climatico.pdf>
- Benjamín, J. A. y Masera, O. (2001). Captura de carbono ante el cambio climático: Madera y Bosques. *Instituto de Ecología, A.C. Xalapa, México*. 7(1) pp. 3-12. <https://www.redalyc.org/pdf/617/61770102.pdf>
- Cabrera, C. (2003). Plantaciones forestales: Oportunidades para el desarrollo sostenible. Guatemala. *Instituto de Agricultura, Recursos Naturales y Ambiente*, 20. http://recursosbiblio.url.edu.gt/publicjlg/IARNA/serie_tec/06tec2003.pdf
- Cabudivo, K. (2017). *Secuestro de CO₂ y producción de oxígeno en árboles urbanos de la Av. Abelardo Quiñones - distrito San Juan Bautista, Loreto – Perú*. (Tesis de Grado). Universidad Nacional de la Amazonia Peruana, Iquitos, Perú.
- Carrillo, F., Acosta, M., Jiménez, Carmen del R., Gonzáles, L., y Etchevers, J. (2016). Ecuaciones alométricas para estimar la biomasa y el carbono de la parte aérea de *Pinus hartwegii* en el Parque Nacional Ixta-Popo, México. *Revista mexicana de ciencias*

agrícolas. 7 (3) pp. 681-691.
http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342016000300681&lng=es&nrm=iso&tlng=es

Castillo, M., Del Castillo, L., Monge, C., y Bustamante, M. (2004). *Comunidades Campesinas del Perú: más cantidad, menos comunidad y más diversidad, en el último medio siglo*. Perú, Lima: ALLPA. pp. 15-63.
https://www.landcoalition.org/sites/default/files/documents/resources/05_ALLPA_Comunidades_Campesinas_en_siglo_XXI.pdf

Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (2002). *Inventarios forestales para bosques latifoliados en América Central* – CATIE. pp. 164. Turrialba, Costa Rica.
https://www.fao.org/fileadmin/user_upload/training_material/docs/Inventarios_Forestales%20Bosques_Latifoliados_AC.pdf

Centro Internacional para la Investigación del Fenómeno de El Niño (2011). *Efecto Invernadero*, Guayaquil, Ecuador. [CIIFEN].
<http://www.infobosques.com/descargas/biblioteca/322.pdf>

Centro Mundial Agroforestal (2009). *Guía de inventario de la flora y vegetación. Manual Técnico N° 11. Programa Regional Amazon. Lima, Perú*. [ICRAF].
<http://www.worldagroforestry.org/>

Chambi, P. (2001). Valoración económica de secuestro de carbono mediante simulación aplicado a la zona boscosa del río Inambari y Madre de Dios. *IICFOE*.
https://www.uach.cl/procarbono/pdf/simposio_carbono/25_Chambi.PDF

Colegio de la Frontera del Sur. (2000). *Proyecto Piloto Internacional para la captura de carbono y desarrollo selvicultura comunitario en Chiapas-México*. México. ECOSUR. pp. 78

Connolly, Y. y Corea, C. (2007). *Cuantificación de la captura y almacenamiento de carbono en sistema agroforestal y forestal en seis sitios de cuatro municipios de Nicaragua*. (Tesis de Grado). Universidad Nacional Agraria, Managua, Nicaragua.

Convención Marco de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (2014). *Protocolo de Kyoto: Información Básica*.
http://unfccc.int/portal_espanol/informacion_basica/protocolo_de_kyoto/items/6215.php

- Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (1992). *Guía de la Convención sobre el Cambio Climático y el Protocolo de Kyoto*. Kioto, Japón - CMUCC. <https://sinia.minam.gob.pe/normas/protocolo-kyoto-convencion-marco-las-naciones-unidas-cambio-climatico>
- Cruzado, L. A. (2010). *Determinación de las reservas de carbono en la biomasa aérea de los bosques altoandinos de la concesión para conservación Alto Huayabamba – San Martín*. (Tesis de Grado). Universidad Nacional Agraria de la Selva, Tingo María, Perú.
- Del Águila, C. (2014). *Secuestro de CO₂ y almacenamiento de carbono en plantaciones de Cedrelinga cateniformis Ducke "tornillo" en tres edades diferentes en el CIEFOR - Puerto Almendra, río Nanay, Iquitos – Perú*. (Tesis de Grado). Universidad Nacional de la Amazonía Peruana. Iquitos, Perú.
- Díaz, S. y Molano, M. (2001). Cuantificación y Valoración Económica de la captura de CO₂ por plantaciones del género *Eucalyptus* establecidas por el PRECA en las cuencas carboníferas de Cesar, Valle del Cauca-Cauca y Altiplano Cundiboyacense. *Colombia Forestal*. pp. 92-102. <https://revistas.udistrital.edu.co/ojs/index.php/colfor/article/view/3210>
- Dirección General de Medio Ambiente de la Comunidad Europea (2006). *El cambio climático: ¿Qué es?* https://www.oei.es/historico/decada/portadas/climate_change_youth_es.pdf
- Domínguez, A. Y. (2016). *Estimaciones de captura de los parques y emisiones de CO₂ vehicular en Tijuana, B.C.* (Tesis de Maestría). Tijuana, B. C., México. <https://www.colef.mx/posgrado/wp-content/uploads/2016/12/TESIS-Dom%C3%ADnguez-Madrid-Ana-Yurendy.pdf>
- Echeverri, C. A. (2006). Estimación de la emisión de gases de efecto invernadero en el municipio de Montería. *Rev. Ing. Univ. Medellín*. 5 (9), pp. 85. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1692-33242006000200008
- Espinoza, W., Krishnamurthy, L., Vázquez, A., y Torres, A. (2012). Almacén de carbono en sistemas agroforestales con café. *Revista Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*. 18(1) <http://www.scielo.org.mx/pdf/rcsfa/v18n1/v18n1a6.pdf>
- Etchevers, J. D. y Padilla, J. (2008). Diagnóstico de la fertilidad del suelo. En Nutrición de cultivos. G. Alcantar y L. I. Trejos. Colegio de Postgraduados. Montecillos, México.

- Federación Española de Municipios y Provincias. (2009). Los sumideros de carbono a nivel local. *Red Española de Ciudades por el Clima*. <http://www.redciudadesclima.es/sites/default/files/c2dd700737802664a97469104e56f17d.pdf>
- Gamarra, R. (2001). Estimación del Contenido de Carbono en Plantaciones de *Eucalyptus globulus* Labill, en Junín, Perú. *Ecotecnias para el Desarrollo Sostenible Urbano Rural*, pp. 1-21. https://www.uach.cl/procarbono/pdf/simposio_carbono/35_Gamarra.PDF
- García, C. (2010). La Evidencia del Cambio Climático. La necesidad de las Políticas Preventivas. Nómadas. *Revista Crítica de Ciencias Sociales y Jurídicas*. <https://revistas.ucm.es/index.php/NOMA/article/viewFile/38052/36806>
- García, E. y Beck, S (2006). *Botánica Económica de los Andes Centrales*. Herbario Nacional de Bolivia, Instituto de Ecología, La Paz, Bolivia. pp. 51-76.
- García, L., Rojo, D., García, L., y Hernández M. (2002). Plantas con propiedades antiinflamatorias. *Revista Cubana de Investigaciones Biomédicas*, 21(3), pp. 214-216. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S086403002002000300012&lng=es&tlng=es
- Gayoso, J. y Guerra, J. (2005). Contenido de carbono en la biomasa aérea de bosques nativos en Chile. *Bosque (Valdivia)*, 26(2), pp. 33-38. https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0717-92002005000200005
- Gobierno Regional de Lima (2015). *Diagnóstico de Zonificación para el tratamiento de la Demarcación Territorial de la Provincia de Cajatambo* - GOREL. <http://sdot.pcm.gob.pe/wp-content/uploads/2016/09/EDZ-Cajatambo.pdf>
- Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (2014). *Cambio Climático. Informe de Síntesis* - IPCC. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/SYR_AR5_FINAL_full_es.pdf
- Grupo Intergubernamental de Expertos Sobre el Cambio Climático (2006). *Tierras Forestales. Capítulo 4. Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero* - IPCC. http://www.ipccnggip.iges.or.jp/public/2006gl/spanish/pdf/4_Volume4/V4_04_Ch4_Forest_Land.pdf.

- Grupo Intergubernamental de Expertos sobre El Cambio Climático (2005). *Orientación del IPCC sobre las buenas prácticas para UTCUTS. Orientación sobre las buenas prácticas para uso de la tierra, cambio de uso de la tierra y silvicultura*. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/SYR_AR5_FINAL_full_es.pdf
- Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (2003). *Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry. National Greenhouse Gas Inventories Programme. Instituto for Global Environmental Strategies (IGES), pp – 628* - IPCC. https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gpglulucf/gpglulucf_files/GPG_LULUCF_FULL.pdf
- Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (2001). *Sumidero de carbono – IPCC*. <http://www.ipcc.sumidero.de.carbono.pdf>
- Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (2000). *Informe especial del IPCC: Uso de la tierra, cambio de uso de la tierra y silvicultura*. <https://archive.ipcc.ch/pdf/special-reports/spm/srl-sp.pdf>
- Gutiérrez, C. L. (2017). *Estimación de la captura de CO₂ en el juncal del Área de Conservación Regional La Albufera de Medio Mundo (ACRAMM) – Huaura, Lima-Perú*. (Tesis de Grado). Universidad Católica Sedes Sapientiae. Huaura, Perú.
- Gutiérrez, V. y Lopera, G. (2001). *Metodología para la cuantificación de existencias y flujo de carbono en plantaciones forestales*. Simposio internacional medición y monitoreo de la captura de carbono en ecosistemas forestales. Chile. 17 p. http://www.uach.cl/pmcarbono/pdf/simposio_carbono/15_Gutiérrez.PDF
- Hitchcock, H. y McDonnell J. (1979). *Biomass measurement: a synthesis of the literature*. In: workshop proceeding forest resources inventories. Frayer, W. E. (Eds.). SAF-IUFRO. Fort Collins, CO, USA. pp. 544-595.
- Honorio, E. y Baker, T. (2010). Manual para el monitoreo del ciclo del carbono en bosques amazónicos. *Instituto de Investigaciones de la Amazonia Peruana*. pp. 54.
- Hernández, R., Fernández, C. y Baptista, P. (2010). *Metodología de la Investigación*. 6ta. Edición. Mc Graw Hill Educación. México. <http://observatorio.epacartagena.gov.co/wp-content/uploads/2017/08/metodologia-de-la-investigacion-sexta-edicion.compressed.pdf>
- Instituto del Bien Común (2016). *Tierras Comunales: Más que preservar el pasado es asegurar el futuro. El Estado de las comunidades indígenas en el Perú – IBC*.

http://www.ibcperu.org/wp-content/uploads/2016/05/Informe-2016-TIERRAS-COMUNALES_lg.pdf

Kutsch, W., Bahn, M. y Heinemeyer, A. (2009). *Soil Carbon Dynamic: an integrated methodology*. Cambridge. University Press. New York, USA.

Ley N° 24656 (1987). *Ley General de Comunidades Campesinas*. Diario El Peruano, Lima, Perú, 14 de abril de 1987.

Lonsdale, W. M. (1988). La predicción de la cantidad de hojarasca en los bosques del mundo. *Annals of Botany*, 61(3): 319-324.

López, J. (2005). *Manual de Edafología*. <http://files.infoagroconstanza.webnode.es/200000017c2dccc3d62/edafologia%20del%20suelo.pdf>

Luque, M. (2011). *Determinación de la captura de dióxido de carbono acumulado en la biomasa de los bosques húmedos en la comunidad de Macahua municipio de Ixiamas, departamento de La Paz*. (Tesis de Grado). Universidad Mayor de San Andrés, La Paz, Bolivia.

Luza, I. A. (2014). *Stock de carbono almacenado en la biomasa aérea, sotobosque y suelo en bosques andinos, Huancayo, Perú, 2013*. (Tesis de Grado). Universidad Continental. Huancayo, Perú.

Martínez, H. A. (2015). *Eucalipto (Eucalyptus spp.): Condiciones para su cultivo. Fomento de la reforestación comercial para la mejora y conservación de las reservas de carbono*. Moravia, Costa Rica. <https://www.onfcr.org/media/uploads/documents/genero-eucalipto.pdf>

Martínez, J. y Fernández, A (2004). *Cambio climático: una visión desde México*. pp. 21. *México D.F.* <http://148.206.53.84/tesiuami/INE/s109670.pdf>

Martínez, L. A., Cuéllar, Y., Páez, N. J., Pedraza, J. I., y Belalcázar, L. C. (2018). *Huella de carbono del ciclo de vida de plantaciones forestales comerciales (Eucalyptus grandis, Pinus patula) y forestal protectora (Guadua angustifolia Kunth) en Colombia*. http://www.advancesincleanerproduction.net/7th/files/sessoes/6A/1/martinez_la_et_al_academic.pdf

- Medina, C. (2006). *Indicadores de impactos de los sistemas forestales y agroforestales. POSAF.* pp. 1-28.
http://www.minambiente.gov.co/documentos/documentosGestion/cambio_climatico/publicaciones/230812_cartilla_redd.pdf
- Mejía, C. (2019). *Estructura de un proyecto de investigación.*
<https://www.youtube.com/watch?v=mScO6ojcC8I>
- Ministerio de Agricultura y Riego (2011). *Perú Forestal 2010.*
http://dgffs.minag.gob.pe/pdf/estadistica_forestal/anuarios/ANUARIO_PERU_FOR_E_STAL_2010.pdf
- Ministerio del Ambiente (2016a). *El Perú y el cambio climático: Tercera comunicación nacional del Perú.* <http://minam.gob.pe/wp-content/uploads/2016/05/Tercera-Comunicación.pdf>. [MINAM]
- Ministerio del Ambiente. (2016b). *Inventario nacional de gases de efecto invernadero.*
<http://infocarbono.minam.gob.pe/inventarios-nacionales-gei/intro/>. [MINAM]
- Ministerio del Ambiente (2016c). *La conservación de bosques en el Perú (2011 – 2016). Conservando los bosques en un contexto de cambio climático como aporte al crecimiento verde.* <http://www.minam.gob.pe/informessectoriales/wp-content/uploads/sites/112/2016/02/11-La-conservaci%C3%B3n-de-bosques-en-el-Per%C3%BA.pdf>. [MINAM].
- Ministerio del Ambiente (2015). *Guía de Inventario de la Flora y Vegetación.* [MINAM].
<http://www.minam.gob.pe/patrimonionatural/wpcontent/uploads/sites/6/2013/10/GU%C3%83ADEFLORAYVEGETACI%C3%83%E2%80%9CN.compressed.pdf>.
- Ministerio del Ambiente (2010). *Segunda Comunicación Nacional del Perú a la CMNUCC.* Lima, Perú. [MINAM]. <https://sinia.minam.gob.pe/documentos/segunda-comunicacion-nacional-peru-convencion-marco-las-naciones>. [MINAM].
- Ministerio del Ambiente (2009). *Cambio Climático y Desarrollo Sostenible en el Perú.*
<http://www.minam.gob.pe/cambioclimatico/wpcontent/uploads/sites/11/2013/10/CDAM0000323.pdf>. [MINAM].
- Montero, G., Ruiz, R. y Peinado, M. (2005). *Producción de biomasa y fijación de CO₂ por los bosques españoles.* Madrid, España.
https://www.researchgate.net/profile/Ricardo_Ruiz-Peinado/publication/235639682_Produccion_de_Biomasa_y_Fijacion_de_CO2_Por

[_Los_Bosques_Espanoles/links/02bfe512335d814d30000000/Produccion-de-Biomasa-y-Fijacion-de-CO2-Por-Los-Bosques-Espanoles.pdf](#)

- Morante, V. S. (2017). *Estimación del nivel de captura de dióxido de carbono del “guaranguay” (Tecoma stans) en Collanac, distrito de Pachacámac, 2017*. (Tesis de Grado). Universidad César Vallejo, Lima, Perú.
- Mostacedo, B., Villegas, Z., Peña, M., Poorter, L., Licona, C. y Alarcón, A. (2006). *Fijación de carbono (biomasa aérea) en áreas de manejo forestal sujetas a diferentes intensidades de aprovechamiento: implicaciones a corto y mediano plazo*. pp. 46. Instituto Boliviano de Investigación Forestal (IBIF). La Paz, Bolivia.
- Oliva, M. y García, F. (1998). Un nuevo campo de acción en la química biológica: Parte I. Generalidades sobre el cambio global. *Rev. Educación Química*. 9(3). México, D. F. <http://revistas.unam.mx/index.php/req/article/view/66555/58455>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2018). *El Trabajo de la FAO Sobre El Cambio Climático* – FAO. <http://www.fao.org/3/CA2607ES/ca2607es.pdf>.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2016). *Propiedades Biológicas* – FAO. <http://www.fao.org/soils-portal/about/definiciones/es/>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2010). *El Ecosistema* – FAO. <http://www.fao.org/docrep/009/ah648s/AH648S07.htm>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2009). *Guía para la descripción de suelos*. Cuarta edición. División de Información FAO. Roma, Italia.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2006). *Ordenación responsable de los bosques plantados: Directrices voluntarias*. <http://www.fao.org/3/a-j9256s.pdf>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2002). *Captura de Carbono en los Suelos para un Mejor Manejo de la Tierra* – FAO. <http://www.fao.org/3/a-bl001s.pdf>

- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2001). *Rol de los cambios frente al cambio climático* – FAO. <http://www.fao.org/3/XII/0814-B2.htm>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2000). *Sistemas de uso de la tierra en los trópicos húmedos y la emisión y secuestro de CO₂* – FAO. <http://www.fao.org/3/a-x4590s.pdf>
- Ortiz, R. (2014). *Estudio agrostodafológico y capacidad de carga animal en Contadera-Tomas – Yauyos*. (Tesis de Grado). Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú.
- Pinedo, E. (2015). *Biomasa, contenido de carbono y secuestro de CO₂ en plantaciones de Cedrelinga cateniformis Ducke de diferentes edades, CIEFOR Puerto Almendra Iquitos - Perú, 2013*. (Tesis de Grado). Universidad Nacional de la Amazonia Peruana, Iquitos, Perú.
- Poulain, M. (2006). *Estimación de emisiones de gases de efecto invernadero y proposición de una estrategia para su reducción y captura. Caso XI región de Aysén*. (Tesis de Maestría). Universidad de Chile.
- Proaño, L., Sarmiento, A., Figueredo, M. y Cobo, M. (2016). *Viabilidad económica de la captura y aprovechamiento de emisiones de CO₂ en la industria cementera*. Grupo de investigación Energía, Materiales y Ambiente (GEMA) Universidad de La Sabana. Colombia. <https://www.car.gov.co/uploads/files/5cfa7a8e20f3e.pdf>
- Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. (1997). *Protocolo de Kyoto para la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático*-PNUD.
- Ramírez, J. L. y Chagna, E. J. (2019). Secuestro de carbono en la biomasa aérea de una plantación de *Eucalyptus grandis* W.Hill. *Revista Cubana de Ciencias Forestales*. 7(1). <http://scielo.sld.cu/pdf/cfp/v7n1/2310-3469-cfp-7-01-86.pdf>.
- Revilla, J. M. (2015). *Viabilidad económica de plantaciones demostrativas de bolaina blanca (Guazuma crinita Mart.) en la cuenca del río Aguaytía Ucayali-Perú*. Tesis de Postgrado). Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, Perú. <http://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/UNALM/2119/K10-R48-T.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Robles, J. (2007). Comparación de las cantidades ofertadas y demandadas de madera de diámetros menores (8-18 cm). *Programa de incentivos forestales en la región II del Instituto Nacional de Bosques*, Guatemala.

- Rivera, M. (2018). *Determinación de ecuaciones para estimar biomasa en la parte leñosa aérea de polylepis flavipila "quinual" en el bosque Japoní - Huarochirí, Lima.* (Tesis de Grado). Universidad Agraria La Molina, Lima, Perú.
- Samaniego, C. A. (2013). *Efecto de un incendio forestal en una plantación de Eucalyptus globulus Labill. subsp. globulus en Huaraz.* (Tesis de Grado). Universidad Agraria La Molina, Lima, Perú.
- Sánchez, R., Ramos, R., Geissen, V., Mendoza, J., De La Cruz, E., Salcedo, E., y Palma, D. (2011). Contenido de carbono en suelos con diferentes usos agropecuarios en el trópico mexicano. *Rev. Terra Latinoamericana* 29 (2). <http://www.scielo.org.mx/pdf/tl/v29n2/2395-8030-tl-29-02-00211.pdf>
- Salas, J. e Infante, A. (2006). Producción primaria neta aérea en algunos ecosistemas y estimaciones de biomasa en plantaciones forestales. *Rev. For. Lat.* pp. 47 – 70. <https://biblat.unam.mx/es/revista/revista-forestal-latinoamericana/articulo/produccion-primaria-neta-aerea-en-algunos-ecosistemas-y-estimaciones-de-biomasa-en-plantaciones-forestales>
- Saynes, S., Etchevers, B., Paz, P. y Alvarado, C. (2016). Emisiones de gases de efecto invernadero en sistemas agrícolas de México. *Rev. Terra Latinoamericana*. 34(1). pp. 83-96. <http://www.redalyc.org/comocitar.oa?id=57344471006>
- Schoeneberger, P., Wysocki, D., Benham, E. y Broderson, W. (2012). *Field Book for Describing and Sampling Soils.* Natural Resources Conservation Service, USDA. National Soil Center. Lincoln, USA.
- Seoáñez, M. (2013). *Tratado de la biomasa con especial incidencia sobre la biomasa como fuente energética.* McGraw-Hill. Madrid, España.
- Seppänem, P. (2002). Secuestros de carbono a través de plantaciones de eucalipto en el trópico húmedo. *Foresta Veracruzana*. 4(2), pp. 51-58. <http://www.redalyc.org/pdf/497/49740208.pdf>
- Serrato, R., Adame, S., López, J. y Flores, D. (2014). Carbono orgánico de la hojarasca en los bosques de la reserva de la Biósfera Mariposa Monarca, caso Santuario Sierra Chincua, México. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*. 5(1). <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/5344964.pdf>.
- Sistema Europeo de Negociación de CO₂. (2019). *Lista de precios de captura de dióxido de carbono.* <https://www.sendeco2.com/es/precios-co2>

- Sistema de Información sobre Comunidades Campesinas del Perú. (2016). *Directorio 2016 comunidades campesinas del Perú – SICCAM*. <http://www.ibcperu.org/wp-content/uploads/2017/06/DIRECTORIO-DE-COMUNIDADES-CAMPESINAS-DEL-PERU-2016.pdf>
- Tacarpo, A. M. (2018). *Estimación del potencial de captura de carbono de las especies de flora predominante de la parte alta del bosque de la comunidad campesina de Tumpa – Provincia de Yungay, 2018*. (Tesis de Grado). Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo, Áncash, Perú.
- Trumper, K; Bertzky, M., Dickson, B., Van der Heijden, G; Jenkins; y Manning, P. (2009). *¿La Solución Natural? El papel de los ecosistemas en la mitigación del cambio climático. Evaluación rápida del PNUMA*. http://apps.unep.org/redirect.php?file=/publications/pmtdocuments/pdf/Naturalfixfinal_Spanish.pdf
- Universidad Católica Sedes Sapientiae. (2018). Reglamento de tesis. Departamento de investigación de la Facultad de Ingeniería Agraria [DIFIA]. Lima, Perú.
- Universidad Católica Sedes Sapientiae. (2016). Silabo Desarrollado de la Asignatura de Seminario de Tesis. Facultad de Ingeniería Agraria. Programa de Estudios de Ingeniería Ambiental. Huaura, Perú.
- Useros, J. L. (2013). El cambio climático: sus causas y efectos medioambientales. *Real Academia de Medicina y Cirugía de Valladolid*, (50) pp. 85 – 90. <https://es.scribd.com/document/341119480/Dialnet-ElCambioClimatico-4817473-1-pdf>
- Vallejo, M.I. (2005). *Establecimiento de parcelas permanentes en bosques de Colombia*. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Bogotá D. C. 275. p. Bogotá – Colombia.
- Valtierra, M. J. (2010). La dieta de dióxido de carbono (CO₂). *Conciencia Tecnológica*. (39) pp. 50 – 53. <http://www.redalyc.org/pdf/944/94415753009.pdf>
- Vargas, P. y Barco, D. (2009). El cambio climático y sus efectos en el Perú. pp. 27. <http://www.bcrp.gob.pe/docs/Publicaciones/Revista-Moneda/Moneda-143/Moneda-143-05.pdf>

TERMINOLOGÍA

Área basal

Es la superficie de una sección transversal del tallo o tronco del árbol, palmera y demás formas vegetales de porte arborescente, a determinada altura del suelo. Se expresa en m² de material vegetal por unidad de superficie de terreno, que puede referirse a la hectárea, y permite conocer la dominancia y tener una idea sobre la calidad de sitio (MINAM, 2015).

Biomasa

Es el peso (o estimación equivalente) de la materia orgánica que existe en un determinado ecosistema forestal por encima y por debajo de la superficie del suelo (Montero *et al*, 2005).

Biomasa abajo del suelo

Se refiere a las raíces del árbol cuya la medición de este tipo de biomasa tiene un alto costo y es por eso por lo que se considera como una proporción de la biomasa aérea. Se excluyen las raíces finas de menos de 2 mm de diámetro, debido a que no son identificables en el suelo (IPCC, 2005).

Biomasa arriba del suelo

Está compuesta por los árboles, la vegetación arbustiva y la vegetación herbácea que está en desarrollo sobre el terreno, incluyendo troncos, tocones, ramas, cortezas, semillas y hojas (Medina, 2006).

Densidad final

Corresponde al número de árboles por hectárea que el silvicultor desea tener al final de la edad de rotación, en estos árboles se espera que se haya concentrado el potencial de producción del sitio. El problema radica en determinar con la mayor precisión, cuál debería ser la mayor densidad final para cada especie y calidad de sitio (Robles, 2007).

Diámetro a la altura del pecho (DAP)

El DAP sirve para estimar el volumen maderable y la biomasa del árbol, así como el crecimiento de los árboles. El DAP de las especies forestales es medido a una altura de 1,30 m desde la base del tallo (MINAM, 2015).

Hojarasca

Biomasa no viva que yace muerta, en diversos estados de descomposición por encima o dentro del suelo mineral u orgánico, con un tamaño mayor de 2 mm, el cual es el límite establecido para materia orgánica del suelo y menor que el diámetro mínimo elegido para madera muerta (IPCC, 2006).

Inventario forestal

Procedimiento útil para obtener información necesaria para la toma de decisiones sobre el manejo y aprovechamiento forestal. [Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza] (CATIE,2002).

Maleza

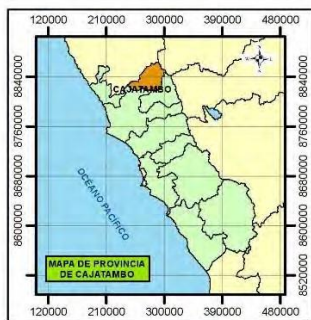
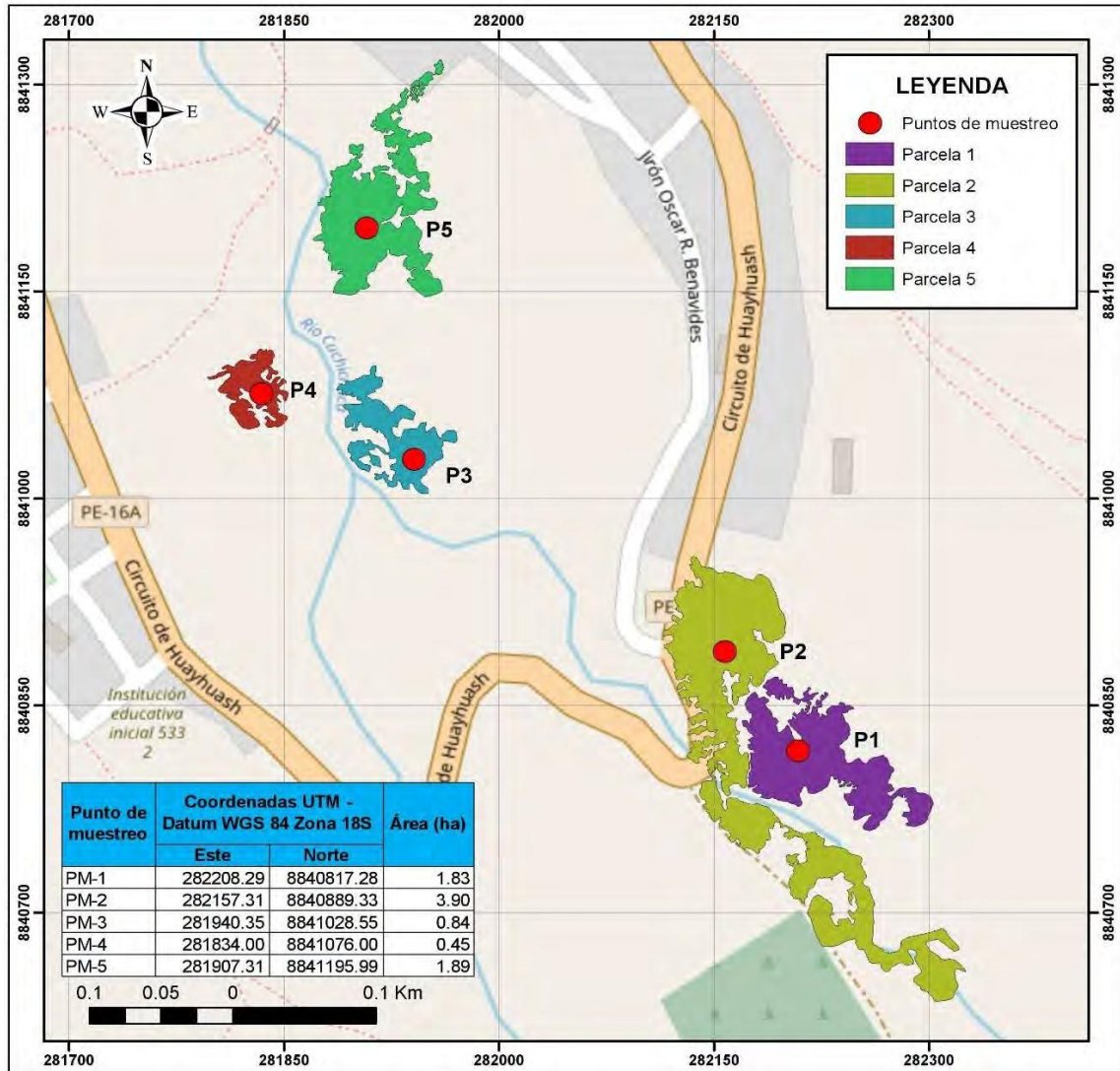
Las plantas que aparecen como indeseables en áreas de cultivos son consideradas como “malezas”; constituyen riesgos naturales dentro de los intereses y actividades del hombre, son frecuentemente descritas como dañinas a los sistemas de producción de cultivos y también a los procesos industriales y comerciales (Albuja, 2008).

Modelo alométrico

Es una relación matemática entre una variable independiente y una dependiente. La primera puede ser estimada a partir de métodos destructivos o a partir de parámetros biométricos estimados en campo directamente (DAP y altura). Con estos datos, se puede establecer el grado de relación entre esta y alguna variable derivada como biomasa (Revilla, 2015).

APÉNDICES

Apéndice 1. Plano de ubicación y puntos de muestreo en la zona en estudio



 UNIVERSIDAD CATÓLICA SEDES SAPIENTIAE FACULTAD DE INGENIERÍA AGRARIA ESPECIALIDAD DE INGENIERÍA AGRARIA		
MAPA: PUNTOS DE MUESTREO		
TESIS: "CAPTURA DE DIÓXIDO DE CARBONO EN PLANTACIONES DE "EUCALIPTO" (Eucalyptus globulus Labill) EN LA COMUNIDAD CAMPESINA DE ANTAY, DISTRITO DE CAJATAMBO - LIMA"		
ELABORADO POR: Bach. Marita Ventocilla Garcia	FECHA: Nov., 2019	N° 01
ESCALA: 1: 3 500	FUENTE: MINAM, MTC, 2017	

Fuente: *Elaboración propia.*

Apéndice 2. Datos para el cálculo de la altura de plantas

Punto de Muestreo	N° de Árbol	Ángulo Mayor	Ángulo Menor	Distancia (m)
P.M-01	1	60°	6°	15
	2	54.5°	10°	12
	3	55°	10°	15
	4	53.5°	12°	10
	5	55°	5°	15
	6	47.5°	15°	12
	7	55°	10°	12
	8	48°	15°	10
P.M-02	1	52°	8°	20
	2	65.5°	7°	20
	3	60°	5°	20
	4	62.5°	6°	20
	5	67°	7°	20
	6	55.5°	5°	20
	7	60°	5°	20
	8	45°	5°	20
P.M-03	1	60°	3°	20
	2	60.5°	4°	20
	3	67°	0°	20
	4	52.5°	2°	20
	5	67°	2°	20
	6	55.5°	0°	20
	7	67°	2°	20
	8	60°	5°	20
P.M-04	1	55°	7°	20
	2	62.5°	5°	20
	3	70°	2°	20
	4	59.5°	4°	20
	5	64°	1°	20
	6	64.5°	6°	20
	7	70°	6°	20
	8	67°	5°	20
P.M-05	1	50.5°	10°	20
	2	60°	0°	20
	3	40°	20°	20
	4	46.5°	10°	18
	5	40°	2°	20
	6	54.5°	4°	20
	7	59°	1°	18
	8	67°	5°	20

Fuente: Elaboración propia.

Apéndice 3. Circunferencia de los árboles considerados en el estudio

Punto de Muestreo	Número de Árbol	Circunferencia (m)
P.M-01	1	1,40
	2	1,50
	3	1,13
	4	1,61
	5	0,84
	6	0,80
	7	1,07
	8	0,50
P.M-02	1	1,0
	2	0,89
	3	1,50
	4	1,60
	5	1,10
	6	1,48
	7	1,52
	8	0,97
P.M-03	1	1,02
	2	1,56
	3	1,65
	4	1,62
	5	0,86
	6	0,93
	7	1,44
	8	0,86
P.M-04	1	1,80
	2	1,92
	3	2,0
	4	0,96
	5	0,83
	6	1,76
	7	1,53
	8	1,08
P.M-05	1	1,80
	2	1,70
	3	0,72
	4	0,80
	5	1,28
	6	0,92
	7	1,31
	8	1,33

Fuente: Elaboración propia.

Apéndice 4. Cálculo de la hojarasca

Punto de Muestreo	Parcela	Muestra W fresco Total (g)	Submuestra W. fresco submuestra (g)	Estufa W. Seco submuestra (g)
P.M-01	1	255,8	200	177,4
	2	234,4	200	179,2
	3	247,6	200	172,1
	4	253,4	200	181,9
	5	245,9	200	184,1
P.M-02	1	266,9	200	184,4
	2	273,4	200	184,1
	3	263,4	200	186,9
	4	270,5	200	183,7
	5	276,3	200	185,2
P.M-03	1	214,6	200	180,5
	2	210,6	200	180,9
	3	205,8	200	181,3
	4	217,6	200	184,6
	5	209,4	200	183,3
P.M-04	1	215,8	200	175,5
	2	207,6	200	178,1
	3	212,3	200	184,4
	4	218,9	200	185,4
	5	206,7	200	183,5
P.M-05	1	221,8	200	183,7
	2	215,8	200	185,9
	3	220,5	200	186,3
	4	217,9	200	184,5
	5	215,3	200	187,3

Fuente: Elaboración propia.

Apéndice 5. Datos para el cálculo del carbono orgánico del suelo

Puntos de Muestreo	Parcela	Peso de la submuestra (g)	Peso de la submuestra seca (g)	Carbono orgánico (g)	Carbono orgánico (%)
P.M-01	1	10	9,7936	0,2064	2,064
	2	10	9,7722	0,2278	2,278
	3	10	8,314	0,1686	1,686
	4	10	8,125	0,1875	1,875
	5	10	8,134	0,1866	1,866
P.M-02	1	10	7,481	0,2519	2,519
	2	10	7,376	0,262	2,624
	3	10	7,893	0,107	2,107
	4	10	7,798	0,220	2,202
	5	10	7,695	0,2305	2,305
P.M-03	1	10	7,765	0,2235	2,235
	2	10	8,158	0,1842	1,842
	3	10	7,678	0,2322	2,322
	4	10	8,099	0,1901	1,901
	5	10	7,044	0,2356	2,356
P.M-04	1	10	8,946	0,1054	1,054
	2	10	8,020	0,1980	1,980
	3	10	8,685	0,1315	1,315
	4	10	8,160	0,1840	1,840
	5	10	8,605	0,1395	1,395
P.M-05	1	10	8,549	0,1451	1,451
	2	10	9,020	0,0980	0,980
	3	10	8,548	0,1452	1,452
	4	10	9,120	0,0880	0,880
	5	10	9,130	0,0870	0,870

Fuente: Elaboración propia.

Apéndice 6. Vistas complementarias del proceso de la investigación



Fotografía 1. Portal de entrada al distrito de Cajatambo



Fotografía 2. Vista del centro poblado y de plantaciones de eucalipto.



Fotografía 3. Entrada a la Plaza de Armas de Cajatambo.



Fotografía 4. Vista panorámica de centro poblado rodeado de un bosque de eucalipto.



Fotografía 5. Señalización de los árboles considerados en la investigación



Fotografía 6. Delimitación de las parcelas de estudio.