

UNIVERSIDAD DE HUANUCO
FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERIA AMBIENTAL



TESIS

“Estimación de la captura y almacenamiento de carbono en suelos reforestados con *Eucalyptus globulus* en el Cerro Pergaypata – Ambo – Huánuco, 2025”

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

AUTOR: Condor Shicshi, Nelson José

ASESOR: Vásquez Baca, Yasser

HUÁNUCO – PERÚ

2026

U

TIPO DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN:

- Tesis (X)
- Trabajo de Suficiencia Profesional ()
- Trabajo de Investigación ()
- Trabajo Académico ()

LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN: Biotecnología y Nanotecnología

AÑO DE LA LÍNEA DE INVESTIGACIÓN (2020)

CAMPO DE CONOCIMIENTO OCDE:

Área: Ingeniería, Tecnología

Sub área: Biotecnología ambiental

Disciplina: Biotecnología ambiental

D

DATOS DEL PROGRAMA:

Nombre del Grado/Título a recibir: Título Profesional de Ingeniero ambiental

Código del Programa: P09

Tipo de Financiamiento:

- Propio (X)
- UDH ()
- Fondos Concursables ()

DATOS DEL AUTOR:

Documento Nacional de Identidad (DNI): 70225505

DATOS DEL ASESOR:

Documento Nacional de Identidad (DNI): 42108318
Grado/Título: Título oficial de máster universitario en planificación territorial y gestión ambiental

Código ORCID: 0000-0002-7136-697X

H

DATOS DE LOS JURADOS:

Nº	APELLIDOS Y NOMBRES	GRADO	DNI	Código ORCID
1	Morales Aquino, Milton Edwin	Doctor en Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible	44342697	0000-0002-2250-3288
2	Cámara Llanos, Frank Erick	Doctor en ciencias de la salud	44287920	0000-0001-9180-7405
3	Inga Caqui, Jhendy Milagros	Maestro en medio ambiente y desarrollo sostenible, mención en gestión ambiental	72361661	0009-0006-2217-1494



UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO

Facultad de Ingeniería

PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA AMBIENTAL

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO(A) AMBIENTAL

En la ciudad de Huánuco, siendo las 16:00 horas del día 17 del mes de abril del año 2026, en cumplimiento de lo señalado en el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad de Huánuco, se reunieron el sustentante y el Jurado Calificador integrado por los docentes:

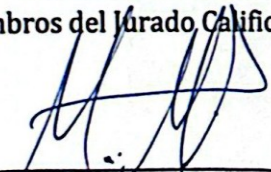
- Dr. Milton Edwin Morales Aquino (Presidente)
- Dr. Frank Erick Camara Llanos (Secretario)
- Mg. Jhenidy Milagros Inga Caqui (Vocal)

Nombrados mediante la Resolución N° 0550-2026-D-FI-UDH para evaluar la Tesis intitulada: "Estimación de la captura y almacenamiento de carbono en suelos reforestados con *Eucalyptus globulus* en el Cerro Pergaypata - Ambo - Huánuco, 2025", presentado por el (la) Bach. CONDOR SHICSHI, NELSON JOSE para optar el Título Profesional de Ingeniero(a) Ambiental.


Dicho acto de sustentación se desarrolló en dos etapas: exposición y absolución de preguntas: procediéndose luego a la evaluación por parte de los miembros del Jurado.

Habiendo absuelto las objeciones que le fueron formuladas por los miembros del Jurado y de conformidad con las respectivas disposiciones reglamentarias, procedieron a deliberar y calificar, declarándolo(a) APROBADO Por UNANIMIDAD con el calificativo cuantitativo de 14 y cualitativo de SUFICIENTE (Art. 47)


Siendo las 17:17 horas del día 17 del mes de ABRIL del año 2026, los miembros del Jurado Calificador firman la presente Acta en señal de conformidad.



Dr. Milton Edwin Morales Aquino
DNI: 44342697
ORCID: 0000-0002-2250-3288
Presidente



Dr. Frank Erick Camara Llanos
DNI: 44287920
ORCID: 0000-0001-9180-7405
Secretario



Mg. Jhenidy Milagros Inga Caqui
DNI: 72361661
ORCID: 0009-0006-2217-1494
Vocal



UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO



CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD

El comité de integridad científica, realizó la revisión del trabajo de investigación del estudiante: NELSON JOSE CONDOR SHICSHI, de la investigación titulada "Estimación de la captura y almacenamiento de carbono en suelos reforestados con *Eucalyptus globulus* en el Cerro Pergaypata - Ambo - Huánuco, 2025", con asesor(a) YASSER VASQUEZ BACA, designado(a) mediante documento: RESOLUCIÓN N° 0664-2025-D-FI-UDH del P. A. de INGENIERÍA AMBIENTAL.

Puede constar que la misma tiene un índice de similitud del 22 % verificable en el reporte final del análisis de originalidad mediante el Software Turnitin.

Por lo que concluyo que cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio y cumple con todas las normas de la Universidad de Huánuco.

Se expide la presente, a solicitud del interesado para los fines que estime conveniente.

Huánuco, 23 de marzo de 2026

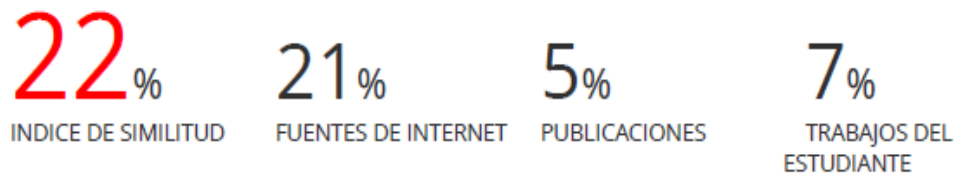


MANUEL E. ALIAGA VIDURIZAGA
D.N.I.: 71345687
cod. ORCID: 0009-0004-1375-5004

Jr. Hermilio Valdizán N° 871 - Jr. Progreso N° 650 - Teléfonos: (062) 511-113
Telefax: (062) 513-154
Huánuco - Perú

121. NELSON JOSE CONDOR SHICSHI.docx

INFORME DE ORIGINALIDAD



FUENTES PRIMARIAS

1	repositorio.unas.edu.pe Fuente de Internet	3%
2	doczz.es Fuente de Internet	1%
3	repositorio.udh.edu.pe Fuente de Internet	1%
4	vdocuments.es Fuente de Internet	1%
5	documentop.com Fuente de Internet	1%



MANUEL E. ALIAGA VIDURIZAGA
D.N.I.: 71345687
cod. ORCID: 0009-0004-1375-5004

DEDICATORIA

A Dios por haberme brindado la vida, salud, conocimiento y fortaleza que formó los cimientos de mi formación como Futuro Ingeniero Ambiental.

A mis abuelos, Modesto León Bautista y Vilma Luz Ruiz Pérez, que día a día están a mi lado dándome fuerzas y resiliencia, proporcionándome amor incondicional, gracias por su respaldo que me impulso a terminar la carrera de Ingeniería Ambiental, les agradezco inmensamente por acompañarme en esta travesía.

A mi madre Rocío Vilma Shicshi Ruiz, por darme la vida, por enseñarme lo que es la perseverancia y fortaleza para afrontar cada adversidad, gracias por ese amor puro e inmenso y estar presente en mi etapa de profesional.

A mis hermanos Kalef, Andrea y Camila por brindarme su apoyo incondicional y sus deseos de superación, por estar en las buenas y en las malas siempre unidos.

A mis Tíos Cristian y David por enseñarme lo que es mejorar cada día y apoyarme incondicionalmente en mis proyectos, por sus respaldos constantes que me impulsaron a ser profesional.

AGRADECIMIENTO

A mi Institución Universitaria de Huánuco, específicamente a la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, por la formación y la oportunidad de desarrollarme profesionalmente.

A mi asesor Mg. Yasser Vásquez Baca por la confianza que me dio en todo momento, agradezco su tiempo para enseñarme sus conocimientos y proporcionarme recomendaciones oportunas durante el proceso, desarrollo y revisión de la tesis, brindándome su respaldo constante para culminar este proyecto.

A mis jurados Mg. Milton Morales, Mg. Jhendy Milagros Inga Caqui y Mg. Frank Cámara Llanos por brindarme sus conocimientos y tomarse cada uno su tiempo apretado para orientarme y responder las dudas que tenía sobre mi proyecto.

A mis maestros por enseñarme e instruirme como Ingeniero Ambiental, por responder mis preguntas, tener paciencia y formarme como profesional.

ÍNDICE

DEDICATORIA	II
AGRADECIMIENTO	III
ÍNDICE.....	IV
ÍNDICE DE TABLAS	VII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	IX
RESUMEN.....	X
ABSTRACT.....	XI
INTRODUCCIÓN	XII
CAPÍTULO I.....	14
PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	14
1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.....	14
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	17
1.2.1. PROBLEMA GENERAL.....	17
1.2.2. PROBLEMA ESPECÍFICO	17
1.3. OBJETIVO.....	17
1.3.1. OBJETIVO GENERAL	17
1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	17
1.4. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	18
1.5. LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN	19
1.6. VIABILIDAD DE LA INVESTIGACIÓN.....	19
CAPÍTULO II.....	21
MARCO TEÓRICO	21
2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN	21
2.1.1. ANTECEDENTES INTERNACIONALES.....	21
2.1.2. ANTECEDENTES NACIONALES.....	23
2.1.3. ANTECEDENTES LOCALES	25
2.2. BASES TEÓRICAS	28
2.2.1. METODOLOGÍAS PARA DETERMINACIÓN DE CAPTURA DE CARBONO EN MASA FORESTAL	28
2.2.2. FACTORES CLIMÁTICOS EN SUELOS REFORESTADOS	37
MARCO LEGAL.....	49
2.3. DEFINICIONES CONCEPTUALES.....	59

2.4. HIPÓTESIS.....	60
2.5. VARIABLES.....	60
2.5.1. VARIABLE DE ESTUDIO	60
2.5.2. VARIABLE DE CARACTERIZACIÓN	60
2.6. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES.....	61
CAPÍTULO III.....	63
METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....	63
3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN	63
3.1.1. ENFOQUE	63
3.1.2. ALCANCE O NIVEL.....	63
3.1.3. DISEÑO	64
3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA	64
3.2.1. POBLACIÓN.....	64
3.2.2. MUESTRA	65
3.3. TÉCNICAS E INSTRUMENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS....	66
3.3.1. PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS	66
3.3.2. PROTOCOLO A SEGUIR EN LA EJECUCIÓN.....	66
3.4. TÉCNICAS PARA EL PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN	71
CAPÍTULO IV.....	73
RESULTADOS.....	73
4.1. PROCESAMIENTO DE DATOS	73
4.1.1. RESULTADOS DE EVALUACIONES FISICOQUÍMICAS RELACIONADAS CON EL ALMACENAMIENTO DE CARBONO ORGÁNICO.....	73
4.1.2. PARA LA ESTIMACIÓN DE CARBONO SE REALIZÓ EL SIGUIENTE PROCEDIMIENTO DE ACUERDO A LAS DIRECTRICES DEL IPCC (INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE)	75
4.2. CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS Y PRUEBA DE HIPÓTESIS	80
CAPÍTULO V.....	82
DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	82
CONCLUSIONES	85
RECOMENDACIONES.....	86

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	87
ANEXOS.....	96

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Ecuación Alométrica por tipo de Bosque (Zonas húmedas)	32
Tabla 2 Ecuación Alométrica por Especies Forestales	32
Tabla 3 Ecuación Alométrica por Tipo de Bosque (Zonas secas).....	33
Tabla 4 Comparativo de guías sobre captura y almacenamiento de carbono	52
Tabla 5 Operacionalización de variables	61
Tabla 6 Coordenadas de la ubicación.....	65
Tabla 7 Estadísticos descriptivos de las propiedades fisicoquímicas de la biomasa radicular asociadas al almacenamiento de carbono orgánico	73
Tabla 8 Estadísticos descriptivos de las propiedades fisicoquímicas del tronco relacionadas con el almacenamiento de carbono orgánico	74
Tabla 9 Estadísticos descriptivos de las propiedades fisicoquímicas de la hojarasca (hojas) vinculadas al almacenamiento de carbono orgánico	74
Tabla 10 Comparación de los valores medios de propiedades fisicoquímicas asociadas al carbono orgánico entre raíces, tronco y hojarasca	75
Tabla 11 Contenido de humedad, materia seca y materia orgánica del tronco para la estimación del carbono orgánico	76
Tabla 12 Conversión de materia orgánica a carbono orgánico en el tronco	76
Tabla 13 Carbono orgánico almacenado en el tronco expresado en gramos por cada 100 g de muestra seca.....	76
Tabla 14 Contenido de humedad, materia seca y materia orgánica de la biomasa radicular.....	77
Tabla 15 Conversión de materia orgánica a carbono orgánico en raíces	77
Tabla 16 Carbono orgánico almacenado en raíces expresado en gramos por cada 100 g de muestra seca.....	77
Tabla 17 Contenido de humedad, materia seca y materia orgánica de la hojarasca	78
Tabla 18 Conversión de materia orgánica a carbono orgánico en hojarasca	78

Tabla 19 Carbono orgánico almacenado en la hojarasca expresado en gramos por cada 100 g de muestra seca.....	78
Tabla 20 Estimación del carbono acumulado en el tronco de <i>Eucalyptus globulus</i> por hectárea, aplicando el factor de conversión IPCC.....	79
Tabla 21 Estimación del carbono acumulado en la biomasa radicular de <i>Eucalyptus globulus</i> por hectárea, aplicando la relación raíz/fuste (R/S) del IPCC	79
Tabla 22 Estimación del carbono acumulado en la hojarasca de <i>Eucalyptus globulus</i> por hectárea aplicando la fracción de follaje reportada en la literatura	80
Tabla 23 Prueba de normalidad de Shapiro–Wilk aplicada al carbono orgánico almacenado en los diferentes componentes de la biomasa	80
Tabla 24 Resultados del ANOVA de un factor para la comparación del carbono orgánico almacenado entre componentes de la biomasa de <i>Eucalyptus globulus</i>	81
Tabla 25 Comparaciones múltiples mediante prueba de Tukey del carbono orgánico almacenado entre los componentes de la biomasa de <i>Eucalyptus globulus</i>	81

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Distribución de la frecuencia de densidad de la madera de las especies de árboles tropicales de Centro y Sudamérica	36
Figura 2 Relación entre la densidad de la madera y la tasa de crecimiento	36
Figura 3 Temperaturas medias y precipitaciones en Ambo	37
Figura 4 Cantidad de precipitación en Ambo	38
Figura 5 Velocidad del viento en Ambo	38
Figura 6 Composición de los suelos	39
Figura 7 Eucalyptus globulus	41
Figura 8 Ciclo del Carbono	46
Figura 9 Diagrama simplificado de los flujos y almacenes de carbono en un ecosistema forestal	48
Figura 10 Mapa Nacional de Cubertura Vegetal – Ministerio del Ambiente (MINAM)	58
Figura 11 Mapa Nacional de Cubertura Vegetal – Ministerio del Ambiente (MINAM)	67
Figura 12 Esquema para muestra de tronco.....	68

RESUMEN

La presente investigación Estimación de la captura y almacenamiento de carbono en suelos reforestados con *Eucalyptus globulus* en el Cerro Pergaypata – Ambo – Huánuco, 2025. surge como respuesta a la creciente necesidad de generar información local confiable sobre el papel de los sistemas forestales reforestados en la mitigación del cambio climático, considerando la distribución del carbono en los distintos componentes de la biomasa vegetal. El objetivo general fue evaluar la captura y el almacenamiento de carbono orgánico en el tronco, la biomasa radicular y la hojarasca de *Eucalyptus globulus*. La metodología empleada correspondió a un enfoque cuantitativo, de tipo descriptivo y diseño no experimental. Las muestras fueron recolectadas en campo y analizadas en laboratorio para determinar el contenido de humedad, materia seca y materia orgánica. El carbono orgánico fue estimado asumiendo una fracción estándar del 50 % de la materia orgánica, y los resultados se expresaron como gramos de carbono por cada 100 gramos de muestra. Los resultados evidenciaron que la hojarasca presentó la mayor concentración de carbono orgánico (38,82 g/100 g de muestra), seguida del tronco (14,45 g/100 g) y de la biomasa radicular (9,05 g/100 g). Estos valores reflejan una distribución diferenciada del carbono entre los componentes evaluados, asociada a su función estructural y dinámica dentro del ecosistema. Se concluye que la reforestación con *Eucalyptus globulus* contribuye significativamente a la captura y almacenamiento de carbono orgánico, destacándose la hojarasca como el principal reservorio por unidad de masa, el tronco como almacenamiento estructural estable y las raíces como un compartimento dinámico vinculado al suelo.

Palabras claves: captura de carbono, almacenamiento de carbono, *Eucalyptus globulus*, reforestación, materia orgánica.

ABSTRACT

This research, Estimation of carbon capture and storage in soils reforested with *Eucalyptus globulus* in Cerro Pergaypata – Ambo – Huánuco, 2025, arises in response to the growing need to generate reliable local information on the role of reforested forest systems in mitigating climate change, considering the distribution of carbon in the different components of plant biomass. The overall objective was to evaluate the capture and storage of organic carbon in the trunk, root biomass, and litter of *Eucalyptus globulus*. The methodology used was quantitative, descriptive, and non-experimental in design. Samples were collected in the field and analyzed in the laboratory to determine moisture content, dry matter, and organic matter. Organic carbon was estimated assuming a standard fraction of 50% of organic matter, and the results were expressed as grams of carbon per 100 grams of sample. The results showed that leaf litter had the highest concentration of organic carbon (38.82 g/100 g of sample), followed by the trunk (14.45 g/100 g) and root biomass (9.05 g/100 g). These values reflect a differentiated distribution of carbon among the components evaluated, associated with their structural and dynamic function within the ecosystem. It is concluded that reforestation with *Eucalyptus globulus* contributes significantly to the capture and storage of organic carbon, with leaf litter standing out as the main reservoir per unit of mass, the trunk as stable structural storage, and the roots as a dynamic compartment linked to the soil.

Keywords: carbon capture, carbon storage, *Eucalyptus globulus*, reforestation, organic matter.

INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas, el aumento sostenido de las concentraciones de gases de efecto invernadero en la atmósfera se ha convertido en una de las principales preocupaciones ambientales a nivel global. Este fenómeno, estrechamente vinculado a las actividades humanas como la deforestación, el cambio de uso del suelo y la expansión de sistemas productivos intensivos, ha intensificado los efectos del cambio climático, generando impactos visibles en los ecosistemas, la biodiversidad y la calidad de vida de las poblaciones humanas. Frente a este escenario, la captura y el almacenamiento de carbono en los ecosistemas terrestres se han consolidado como una estrategia clave para mitigar dichos efectos.

Los ecosistemas forestales desempeñan un papel fundamental en el ciclo global del carbono, al actuar como sumideros naturales capaces de fijar carbono atmosférico y almacenarlo en la biomasa vegetal y en el suelo. En este contexto, las iniciativas de reforestación adquieren una relevancia especial, no solo por su contribución a la recuperación de áreas degradadas, sino también por su potencial para reducir la concentración de carbono en la atmósfera. Sin embargo, la efectividad de estos sistemas depende de diversos factores, entre ellos la especie utilizada, las condiciones edafoclimáticas y la distribución del carbono en los diferentes componentes del ecosistema.

En la región de Huánuco, la reforestación con *Eucalyptus globulus* ha sido ampliamente promovida como una alternativa para la restauración de áreas degradadas y el aprovechamiento forestal. No obstante, a pesar de su expansión, aún existe información limitada sobre la forma en que el carbono orgánico se distribuye y se almacena en los distintos componentes de esta especie, tales como el tronco, la biomasa radicular y la hojarasca, especialmente cuando se analiza desde una perspectiva de laboratorio y a escala de masa.

Bajo este contexto, la presente investigación tuvo como finalidad evaluar la captura y el almacenamiento de carbono orgánico en una reforestación de *Eucalyptus globulus* ubicada en el Cerro Pergaypata, distrito de Ambo, región

Huánuco. Para ello, se estimó el contenido de carbono orgánico en el tronco, las raíces y la hojarasca, expresándolo en gramos de carbono por cada 100 gramos de muestra, lo que permitió comparar de manera directa la concentración de carbono entre los diferentes componentes de la biomasa vegetal.

Los resultados obtenidos aportan información relevante para comprender el comportamiento del carbono orgánico en sistemas reforestados y contribuyen al fortalecimiento del conocimiento científico a nivel local y regional. Asimismo, este estudio busca servir como una base técnica que apoye la toma de decisiones en iniciativas de reforestación y gestión ambiental, resaltando la importancia de los ecosistemas forestales como aliados estratégicos frente al cambio climático.

CAPÍTULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

Dicha alteración climática alude al incremento de las temperaturas de las coberturas terrestres, y presenta un problema grave que amenaza el equilibrio político, económico, social y ambiental. Estas variaciones en el clima generan efectos como inundaciones, sequías, heladas y precipitaciones más intensas, lo cual afecta tanto nuestra calidad de vida como la salud del planeta.

El cambio climático se origina por la liberación de gas de efecto invernadero formando el efecto del calentamiento atmosférico (efecto invernadero), resultado de muchas acciones humanas. Estos gases, entre los que se incluyen el CO₂ (dióxido de carbono, O₃ (el ozono), evaporaciones del H₂O, distintos óxidos de nitrógeno, gas metano, fluoro carburos artificiales, que actúan como contaminantes atmosféricos. Sin ellos, la temperatura normal sería un aproximado de 18°C.

La Unión Europea disminuyó notablemente en cuanto a la liberación de gases de efecto invernadero responsable de la alteración climática. Entre estos gases, el más conocido es el CO₂, que es generado naturalmente del intercambio gaseoso en la respiración de los animales y de la desintegración de la biomasa. Otros gases presentes en menor cantidad en la atmósfera también pueden intensificar el calentamiento global. En 2021, las actividades económicas en la UE generaron 3.600 millones de toneladas equivalentes de CO₂, lo que presenta una reducción del 22% al comparar con el 2008. El CO₂ constituyó casi el 80% del total de la liberación de gas producto del calentamiento atmosférico (efecto invernadero), en la región, seguido por el metano con un poco más del 12%. Aunque el metano permanece menos tiempo en la atmósfera que el CO₂, absorbe mucha más energía solar, lo que lo convierte en un contaminante atmosférico potente y peligroso, cuyas fugas pueden provocar explosiones. (Europeo, 2023).

En Latinoamérica, las liberaciones de GEI (gases de efecto invernadero) representan aproximadamente un 10% en lo que representa la población total mundial. En cuanto a la región incluye países con elevados índices de deforestación, economías altamente dependientes del carbono, y algunos en proceso de transición hacia cambios estructurales. Brasil encabeza la lista como el mayor emisor, contribuyendo con un 52% de las emisiones, seguido de México con un 12%, Venezuela con un 8%, Argentina con un 6%, Bolivia con un 4%, y Colombia y Perú con un 3% cada uno. Ecuador, Guatemala y Chile aportan un 2% cada uno, mientras que otros países de la región suman el 6%. (Vergara, 2013).

La CMNUCC (La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Calentamiento Climático), frente a la urgencia sobre alteración climática, ha establecido acuerdos para reducir la cantidad GEI producidas de la acción industrial. El protocolo de Kioto en este contexto, la normativa de Kioto determina en su artículo 3.3 que debe disminuirse las liberaciones de GEI generadas por las acciones humanas están ligadas al cambio de la utilización de la tierra y la silvicultura, específicamente en las prácticas de forestación, reforestación y deforestación, con el fin de controlar las cantidades de dichos gases en la atmósfera. (kioto, 1997).

Solo el 0.4% de las liberaciones de GEI representa al Perú a nivel global, pero es el 3er país más susceptible a las alteraciones climáticas. En los últimos 30 años, el país perdió el 22% de su superficie glaciar, las cuales presentan el 71% de los glaciares tropicales del planeta. Por ello, es crucial que sumemos esfuerzos y tomemos medidas concretas para prevenir mayores daños al sistema climático. Es fundamental comprender el motivo de la problemática e inculcar la concientización en los ámbitos académicos y políticos. (Ministerio del Ambiente [MINAM], 2013).

En Perú, la utilización de la tierra y la deforestación son los responsables del 51% de las liberaciones de GEI, lo que convierte a estas actividades en un factor significativo que contribuye al cambio climático. (Ministerio del Ambiente [MINAM], 2016).

En el Perú, en 2021, las descargas de CO₂ aumentaron en 8,557 megatoneladas, lo que expresa un aumento en un 18.37% en relación con el año antecedente, 2020. Las descargas de CO₂ de ese año totalizaron 55,144 megatoneladas, posicionando en el puesto 129 al Perú, de un total de 148 países en el ranking mundial de emisiones de CO₂, en el que los países están ordenados de menos a más contaminantes. (Quispe et al., 2024).

Se estima que, en la región de Huánuco, las descargas de GEI se originan principalmente de la utilización del suelo, la modificación en la utilización del suelo y la silvicultura, siendo la deforestación la principal causa. Entre 2000 y 2005, la tasa de conversión de áreas de bosque a áreas no boscosas fue de 11,830.21 ha por año, aumentando a 16,790.42 ha por año entre 2005 y 2009. En total, la región de Huánuco perdió 264,919.0 ha de bosques entre 2001 y 2015. (Gobierno Regional Huánuco [GOREHCO], 2020).

Es preocupante la situación que se describe en referencia a la alteración climática a consecuencia de la liberación de GEI, su impacto negativo sobre la salud del ambiente y de las personas. A causa de diferentes actividades del hombre, la atmósfera cada vez está siendo contaminada el cual requieren una gestión adecuada para prevenir la contaminación y promover la sostenibilidad, es lamentable que, a pesar de la urgencia de abordar este problema, no se cuenta con el compromiso necesario por parte de las autoridades y pobladores para implementar medidas efectivas que reduzcan la polución generada por este tipo de gases. Viendo esta problemática se propone la siguiente investigación: "Estimación de la captura y almacenamiento de carbono en suelos reforestados con *Eucalyptus globulus* en el Cerro Pergaypata – Ambo – Huánuco, 2025". Con el desarrollo del proyecto se busca mitigar el impacto del dióxido de carbono, así como también reducir la producción almacenando en la raíz, suelo y hojarasca.

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1. PROBLEMA GENERAL

¿Cuál es la cantidad de carbono en la captura y almacenamiento de suelos reforestados con *Eucalyptus globulus* en el Cerro Pergaypata – ¿Ambo – Huánuco, 2025?

1.2.2. PROBLEMA ESPECÍFICO

¿Cuál es la cantidad de carbono orgánico en la captura y almacenamiento del tronco a gradiente radial en plantaciones de *Eucalyptus globulus* en el Cerro Pergaypata – Ambo – Huánuco, 2025?

¿Cuál es la cantidad de carbono orgánico en la captura y almacenamiento de la biomasa radicular a diferentes profundidades en plantaciones *Eucalyptus globulus* en el Cerro Pergaypata – Ambo – Huánuco, 2025?

¿Cuál es la cantidad de carbono en la captura y almacenamiento de la biomasa de la hojarasca en plantaciones de *Eucalyptus globulus* en el Cerro Pergaypata – Ambo – Huánuco, 2025?

1.3. OBJETIVO

1.3.1. OBJETIVO GENERAL

Estimar la captura y almacenamiento de carbono en suelos reforestados con *Eucalyptus globulus* en el Cerro Pergaypata – Ambo – Huánuco, 2025.

1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Determinar la cantidad de captura y almacenamiento de carbono orgánico en el tronco a gradiente radial en plantaciones de *Eucalyptus globulus* en el Cerro Pergaypata – Ambo – Huánuco, 2025.

Determinar la cantidad de captura y almacenamiento de carbono orgánico en la biomasa radicular a diferentes profundidades en

plantaciones de *Eucalyptus globulus* en el Cerro Pergaypata – Ambo – Huánuco, 2025.

Determinar la cantidad de captura y almacenamiento de carbono orgánico en la biomasa de la hojarasca en plantaciones de *Eucalyptus globulus* en el Cerro Pergaypata – Ambo – Huánuco, 2025.

1.4. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

La justificación teórica de este estudio estuvo enfocada en incorporar información relacionada con la captura y almacenamiento de Carbono en suelos reforestados con *Eucalyptus globulus* en el Cerro Pergaypata – Ambo – Huánuco, 2025. Dando lugar a ser utilizados en posteriores proyectos de investigación como antecedentes, marco teórico entre otros. Como justificación práctica, esta investigación se realizó con el fin de conocer la cantidad de captura y almacenamiento de carbono en los suelos reforestados con *Eucalyptus globulus* en el Cerro Pergaypata – Ambo – Huánuco, 2025. Con ello se determinó la cantidad capturada y almacenada de carbono en el tronco, biomasa radicular y biomasa de la hojarasca en plantaciones de *Eucalyptus globulus* en el Cerro Pergaypata – Ambo – Huánuco, 2025.

En cuanto a la justificación metodológica, la ejecución de este trabajo se realizó mediante el método directo e insitu, con el objetivo de no destruir ni afectar el ecosistema, además haciendo uso de las fórmulas y ecuaciones estimaremos la captura y almacenamiento de carbono en el tronco, biomasa radicular y biomasa de la hojarasca en plantaciones de *Eucalyptus globulus* en el Cerro Pergaypata – Ambo – Huánuco, 2025.

La justificación social del estudio radicó en el valor y la importancia que tienen los espacios reforestados y su capacidad de capturar y almacenar el carbono, para la reducción del nivel de contaminación mediante el CO₂, ya que es estimado como uno de los GEI con alto potencial contaminante.

Como justificación ambiental del estudio dio un enfoque ambiental a los espacios reforestados y la capacidad de la captura y almacenamiento de carbono orgánico del *Eucalyptus globulus*, para la reducción del nivel de

contaminación por CO₂, lo cual serán identificados con muestras de su biomasa radicular, biomasa de la hojarasca y tronco a diferentes profundidades de los plantones. Un punto a favor, es que el área reforestada se encuentra cerca de la Ciudad de Ambo en el Cerro Pergaypata cuya finalidad fue de restaurar las áreas verdes degradadas por el contacto humano y con ello realizar un estudio que permita determinar la captura y almacenamiento del carbono orgánico.

1.5. LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN

Entre las principales limitaciones consideradas en el estudio estuvo la accesibilidad al área de ejecución, ubicada en el Cerro Pergaypata – Ambo – Huánuco, la cual requirió entre quince (15) y veinte (20) minutos de caminata cuesta arriba desde el centro de la ciudad.

Sumado a ello la demora de los trámites y respuestas de permisos, como también la poca información por parte de la Municipalidad Provincial de Ambo del Área de la Sub Gerencia de Gestión Ambiental. Para evitar retrasos en el proyecto por estas limitaciones burocráticas en el cronograma, se realizó con anticipación los trámites de los permisos correspondientes y se coordinó con el jefe del Área de la Sub Gerencia de Gestión Ambiental de la Municipalidad Provincial de Ambo.

1.6. VIABILIDAD DE LA INVESTIGACIÓN

Este estudio fue factible, debido a que podrá ser usado como antecedentes y bases teóricas en futuras investigaciones relacionados al tema sobre la captura y almacenamiento de carbono en suelos reforestados con *Eucalyptus globulus* en el Cerro Pergaypata – Ambo – Huánuco, 2025

Técnicamente fue viable, porque se contó con la accesibilidad a información local, nacional e internacional y se maneja los conocimientos suficientes relacionado al tema.

Ambientalmente fue viable, porque se mitigará la alteración climática causada por los GEI.

Económicamente fue viable, porque para el progreso y ejecución del estudio, el tesista contó con los recursos económicos necesarios para la ejecución y culminación del estudio.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

2.1.1. ANTECEDENTES INTERNACIONALES

Mora y Martínez (2024), en su trabajo titulado “Fijación de C en suelos bajo pasturas de sistemas productivos lecheros altoandinos”, se plantearon como **objetivo** analizar la capacidad de fijación de C en suelos de 16 redes ganaderas de la municipalidad de Guatavita, en Cundinamarca, Colombia. La **metodología** empleada incluyó la clasificación de los 4 sistemas en los siguientes: 1) Sistemas de Producción con TIC Moderna (SPTM), 2) Sistemas de Mediana Producción (SPMP), 3) Sistemas Tradicionales (SPT), y 4) Sistemas Eco amigables (SPEA), definidos mediante un estándar de oferta ambiental y las TICs usadas. La fijación de C se examinó mediante el % C.O usando la técnica de Walkley & Black, la DA (Densidad aparente) a partir de terrón parafinado, y la profundidad de muestreo con barreno helicoidal. Como **resultado** hallaron desigualdades estadísticas relevantes ($p > 0.05$) en las variables % CO y DA entre algunos conjuntos, excepto en la fijación de C. El grupo 4 demostró mayor habilidad de fijación con 179.18 toneladas de C por hectárea (tC/ha), y como subsiguiente el grupo 2 con 170.48 tC/ha, el grupo 1 con 137 tC/ha, y el grupo 3 con 135.07 tC/ha. La DA en los dichos sistemas fue de media a alta; a pesar de esta variabilidad y su correlación con la cantidad de monóxido de carbono. Sé **Concluyó** que las redes ganaderas en Guatavita tienen un rol fundamental en el almacenamiento de C atmosférico en el suelo, aportando así a disminuir los efectos dañinos al entorno ambiental a nivel global.

Hernández et. al (2021). En su estudio titulado “Captura de carbono en redes agroforestales en los Llanos orientales de Colombia”, se plantearon como **objetivo** estimar la captura de C en la biomasa aérea

necro masa y C.O del suelo en sistemas agroforestales (SAF) con cacao (SAF cacao), con café (SAF café), sistemas silvopastoriles (SSP) y bosques, en la municipalidad de Mesetas, Meta, Colombia. Para ello, en la **metodología** se utilizaron 44 lotes de muestreo, donde se realizaron medidas dosimétricas de personas con un diámetro a la altura del esternón (dap) ≥ 2.5 cm (latizales, fustales y fustales grandes), cuyas mediciones transformadas en carbono mediante modelos de biomasa y un factor de división de carbono. En las tres redes agropecuarias, se contabilizó el número de árboles de cacao, café y plantas asociadas, además de identificar el tipo de uso (maderable, alimenticio, para combustión). En los **resultados** se consiguieron diferencias significativas ($P < 0,0001$) en el almacenamiento de carbono entre los diferentes usos del suelo. El mayor almacenamiento se encontró en el bosque, con 216.6 t C/ha, superando en un 59%, 72% y 73% a SAF cacao, SSP y SAF café, respectivamente. Las familias Fabaceae, Lauraceae y Primulaceae fueron las que presentaron la mayor fijación de C. En el SAF cacao, la mayor acumulación de C se encontró en las especies más utilizadas por la humanidad, mientras que en los SAF café y SSP, las especies maderables fueron las que acumularon más carbono. En **conclusión**, se destaca la capacidad de almacenamiento de C en las redes productivas más importantes del departamento de Meta, lo cual es clave para diseñar estrategias que integren la eliminación de liberación de GEI y favorezcan el desarrollo económico en la agricultura rural.

Jurado et al. (2020) en su estudio titulado “El análisis de la fijación de carbono en redes productoras de café (*Coffea arabica* L.) en Consacá, Nariño, Colombia”, se plantearon como **objetivo** estimar el C fijado en la biomasa aérea y en el suelo de 4 redes productoras de café de 4 años, ubicados en el ecotopo 221A, en la municipalidad de Consacá, Nariño. Emplearon una **metodología** que seguía un modelo de secciones completos al azar (DBCA), con secciones correspondientes a 3 parámetros altitudinales: I (>1800 msnm), II (1800-1600 msnm) y III (<1600 msnm). Los procedimientos fueron: café a libre

exposición (T1), café-limón (T2), café-guamo (T3) y café-carbonero (T4). Para calcular el carbono fijado, se utilizaron fórmulas alométricas específicas individualmente cada especie. En sus **resultados** mostraron una alta fijación de C en parámetros altitudinales de superiores a 1800 msnm (109,81 t/ha), y una baja fijación en el rango inferior a 1600 msnm (42,39 t/ha). Pero no se hallaron desigualdades estadísticas relevantes entre las redes, se observó que la mayor fijación de C ocurrió en el tratamiento T4 (74,82 t/ha) y el valor más bajo en T3 (56,56 t/ha). En **conclusión**, las redes productivas de café evaluados mostraron diferencias significativas en cuanto a almacenamiento de carbono, siendo superiores en altitudes mayores a 1800 msnm por las circunstancias climatológicas, la mayor D del suelo y el mayor contenido de sustancia orgánica. Por el contrario, los parámetros más disminuidos de fijación de C se hallaron en el parámetro de altitudes menores a 1600 msnm, lo que se le asigna a la menor fijación de sustancias orgánicas en los suelos y a las técnicas de manejo usadas en esa altitud, que favorecen la erosión y reducen la capacidad del suelo para retener carbono.

2.1.2. ANTECEDENTES NACIONALES

Espejo (2024), en su tesis titulada "Fijación de carbono de 3 tipos de bambú oriundo en ecosistemas de San Martín y Ucayali", su **objetivo** fue evidenciar la fijación de carbono en los ecosistemas de Ucayali y San Martín es relevante en 3 tipos oriundos de bambú: *Guadua weberbaueri* pilg., *Guadua lynnclarkiae* londoño y *Guadua superba* huber. La **metodología** consistió en establecer parcelas de medición de 250 m² en el campo, estratificando los individuos según diferentes clases de diámetro. Estas clases incluían: individuos con diámetros a la altura del pecho (DAP) superiores a 10 cm, aquellos con DAP entre 5,0 cm y 9,9 cm, y los que tenían un DAP entre 1,5 cm y 4,9 cm. Se utilizaron cintas diamétricas para medir los diámetros y se estimó la altura de todos los individuos. Además, se aplicaron fórmulas alométricas para calcular la materia total de biomasa y la fijación de CO₂ en las plantaciones de los

3 tipos de bambú. Los **resultados** mostraron que la fijación de C en la biomasa total de los 3 tipos fue de 76,31 tC/ha; en la necromasa, la fijación de C alcanzó los 31,03 tC/ha, y en el carbono orgánico del suelo, se determinó una captura de 183,56 tC/ha en el subsuelo. En **conclusión**, al aplicar las fórmulas alométricas con la finalidad de calcular la fijación de C en la biomasa, necromasa y carbono orgánico del suelo es estos 3 tipos oriundos de bambú, se obtuvo una fijación total de carbono de 290,90 tC/ha en bosques nativos. Esto también permitió evaluar el potencial de reforestación con bambú en zonas degradadas.

Ballón (2023), en su investigación titulada "Estudio del movimiento y fijación de carbono en los bosques pantanosos en los ríos Ucayali, Marañón y Tigre en la región Loreto", como **objetivo** se analizaron 10 lotes estables de 0,5. Se empleó un **método** estandarizado RAINFOR. En 5 de estos lotes, se analizó el contenido de C en el suelo orgánico (turba). La biomasa se evaluó usando la fórmula pan-tropical de Chave et al. (2014). Además, se identificaron los suelos orgánicos y se calcularon el suministro de C calculando la DA y el % resultante del C. También se realizaron evaluaciones sobre la diversidad, la composición florística y la dinámica del bosque. Los **resultados** indicaron un área basal similar en las dos formaciones, con valores que variaron entre 27,4 y 28,2 m²/ha. En los Varillales hidromórficos, se registró una alta densidad arbórea, con cifras que oscilan entre 892 y 1074 individuos por hectárea, superando así los registros en los Aguajales y otras formaciones de la llanura amazónica. En cuanto a la riqueza y diversidad, los resultados -siendo *Mauritia flexuosa* la especie más importante en los Aguajales (130–185% del IVI) y *Pachira nitida* (58–126% del IVI) en los Varillales hidromórficos. En **conclusión**, los bosques pantanosos en la región contienen entre 641,74 y 2189,75 MgC/ha, tanto sobre como debajo del suelo. El Varillal hidromórfico se destacó como el ecosistema con mayor densidad de carbono, con valores entre 2187,80 y 2189,75 MgC/ha, siendo aproximadamente el 90% de este carbono orgánico del suelo (COS) y con una profundidad promedio de turba de 4,50 m, en comparación con los Aguajales, que

tienen una profundidad de 0,96 m. En cuanto al movimiento forestal, en siete parcelas con un periodo intercensal de 2,26 a 5,8 años, se registraron tasas altas de mortalidad (1,76-5,41%), reclutamiento (2,31–5,65%) y recambio de individuos (2,03–5% anual).

Riveros (2023), con su estudio "Efecto de la profundidad y alejamiento de siembra en el crecimiento inicial y fijación de carbono de una plantación de *Calycophyllum spruceanum* (capirona)", se planteó como **objetivo** evaluar cómo la profundidad y el alejamiento de cultivo afectan el desarrollo inicial del grosor del tallo, la altura y el área de copa, así como la cantidad de carbono capturado por la plantación de *Calycophyllum spruceanum* establecida en la Universidad Nacional Intercultural de la Amazonía (UNIA). La **metodología** consistió en instalar la plantación con distancias de 3 m x 2 m y 3 m x 4 m entre plantas y una profundidad de hoyo de 30 cm y 90 cm. El diseño experimental fue de bloques completamente al azar (DBCA), con cuatro tratamientos (T1, T2, T3, T4) y tres bloques (B1, B2, B3). En los **resultados** mostraron que, aunque no hubo desigualdades relevantes entre los tratamientos, el alejamiento de 3 m x 4 m y una profundidad de 90 cm (T3) presentó una altura total de 4.54 m, un diámetro de tallo de 71.45 mm y un diámetro de copa de 169.97 cm². En **conclusión**, en cuanto a la fijación del C, a los 23 meses de establecida la plantación, el tratamiento con más acumulaciones de C fue el T1, con un total de 3.28 tC/ha, seguido por el T2, que mostró una acumulación similar de 3.24 tC/ha, evidenciando una tendencia creciente en la captura de carbono.

2.1.3. ANTECEDENTES LOCALES

Bashi (2023), en su trabajo titulado "Determinación de la captura y fijación de carbono en bosques reforestados de aliso (*Alnus acuminata*) de 6, 7 y 8 años en la localidad de Monte Potrero – Pachitea – Huánuco", su **objetivo** fue determinar la captura y fijación de CO₂ en los bosques reforestados de aliso a diferentes edades (6, 7 y 8 años) en la comunidad mencionada. La investigación empleó una **metodología** descriptiva no experimental, utilizando fórmulas alométricas para evaluar la biomasa

forestal, así como la fijación y la captura de dióxido de carbono, además de la valorización económica de dicho CO₂. En cuanto a los **resultados** se hallaron que la biomasa forestal a los 6 años fue de 0.0104 toneladas, a los 7 años alcanzó 0.0153 toneladas y a los 8 años se registró 0.0259 toneladas. En cuanto al dióxido de carbono capturado, a los 6 años se tuvo 0.0191 toneladas, a los 7 años 0.0283 toneladas y a los 8 años 0.0477 toneladas. El valor económico del CO₂ capturado fue de 146,962.95 euros (606,609.31 soles) a los 6 años, 89,481.37 euros (369,346.36 soles) a los 7 años y 41,775.81 euros (172,435.26 soles) a los 8 años. En **conclusión**, la evaluación de la captura y la fijación de C en los bosques de alisedas reforestados indica que a medida que los árboles envejecen, se almacena una mayor cantidad de carbono y dióxido de carbono. Esto convierte a estos bosques en una de las alternativas más efectivas para capturar dióxido de carbono y disminuir los GEI.

Hurtado (2023). En su tesis " Captura de carbono en árboles urbanos y el aumento de la población en la ciudad de Huánuco", El **objetivo** fue analizar la captura de C en la biomasa aérea de los árboles urbanos y su vínculo con la demografía de la ciudad de Huánuco. La **metodología**: Para ello, se llevó a cabo un inventario de especies arbóreas en 8 parques y 2 malecones, registrando datos sobre marcadores como el diámetro a la altura del pecho (d.a.p.) y la altura de los árboles. Se utilizó una ecuación alométrica para calcular la biomasa aérea, la fijación de C y la captura de bióxido de carbono. Se identificaron 16 familias, 29 especies de árboles y un total de 671 individuos, siendo la familia más abundante la Anacardiaceae (23,99%) y la especie más común el Schinus molle (17,29%). Los **resultados** mostraron una producción total de biomasa de 262,449 toneladas, con la especie Tipuana tipu registrando la mayor biomasa aérea, con 102,494 toneladas. El almacenamiento total de carbono y la captura de CO₂ de los árboles urbanos fueron de 131,048 toneladas y 480,552 toneladas, respectivamente. Tipuana tipu fue la especie que almacenó más carbono y capturó más CO₂, con 51,247 toneladas y 187,923 toneladas,

respectivamente, mientras que *Elaeagnus angustifolia* fue la especie con menor almacenamiento y captura. El Malecón Alomía Robles presentó la mayor cantidad de biomasa (117,150 toneladas), carbono almacenado (58,575 toneladas) y captura de CO₂ (214,795 toneladas). El índice de áreas verdes por habitante en 2010 fue de 0,6454 m², en 2015 de 0,6164 m² y en 2020 de 0,72 m². En **conclusión**, se halló una relación positiva entre el crecimiento poblacional y la expansión de las áreas forestales en la región Huánuco.

Ochoa (2023). En su investigación sobre la fijación de carbono de la especie forestal no maderable tara (*Caesalpinia spinosa*), se centró en los bosques nativos y plantados en la provincia de Ambo, en Huánuco, Perú. El **objetivo** fue evaluar el carbono fijado en estos bosques. La investigación se llevó a cabo en bosques plantados de 4 años y un bosque nativo de tara de 40 años, situados en el centro poblado de Canchacalla, distrito de Ambo. Para la **metodología**, se siguió el enfoque de ARÉVALO et al. (2003). En ambos tipos de bosque, se establecieron transectos de 7,5 m x 25 m, para ello se hizo un conteo de los árboles. Se instalaron dos cuadrantes de 1 m x 1 m para evaluar la vegetación arbustiva y herbácea, y se recogió la hojarasca acumulada en sus cuadrantes de 0,5 m x 0,5 m. Además, para determinar la distribución del C en los componentes de la planta de tara, se extrajo un individuo de cada transecto, incluyendo las raíces. En **resultados** se halló que el C total fijado en el bosque plantado fue de 50,20 toneladas por hectárea, distribuidas en un 26,01% en la parte aérea y un 73,99% en el suelo. En **conclusión**, en el bosque nativo, el C total fijado fue de 184,02 toneladas por hectárea, distribuido en un 23,26% en la parte aérea y un 76,74% en el suelo. La distribución del C dentro de la planta fue diferente entre las dos clases de bosque: en el bosque plantado, el tallo almacenó el 61,71%, las raíces el 25,43%, las hojas el 11,60%, las flores el 0,71% y los frutos el 0,54%. En el bosque nativo, el tallo almacenó el 77,81%, las raíces el 13,90%, las hojas el 4,06%, las flores el 0,04% y los frutos el 4,19%.

2.2. BASES TEÓRICAS

2.2.1. METODOLOGÍAS PARA DETERMINACIÓN DE CAPTURA DE CARBONO EN MASA FORESTAL

- **Metodología de ecuación alométrica para la estimación de biomasa aérea:**

De acuerdo a Picard, Saint-André, Henry & UR1138 BEF (2012), el procedimiento se aplica para la contabilización del carbono de los árboles, se distinguen dos técnicas para calcular el carbono en la biomasa aérea: la técnica directa y la técnica indirecta.

El procedimiento directo se aplica para la elaboración de ecuaciones alométricas e implica recolectar la biomasa de todos los árboles en una zona determinada, realizar su secado y pesaje. Este procedimiento se emplea habitualmente en proyectos locales, sin embargo, conlleva considerables inversiones de tiempo, recursos y trabajadores, por lo que no se aconseja para niveles regionales o a nivel nacional.

Es necesario establecer el sector en el que se llevarán a cabo las acciones o intervenciones del proyecto. Para establecer las fronteras de un proyecto, es imprescindible disponer de una cartografía actualizada y minuciosa, que les facilite tomar decisiones sobre dónde ubicar las actividades, lo que también se basa en sus necesidades y metas.

Los procedimientos indirectos requieren la aplicación de ecuaciones alométricas para llevar a cabo los cálculos de biomasa requeridos para el proyecto. En este caso, simplemente mida las variables más relevantes en el sitio e introducírlas en la ecuación.

Se recomiendan parcelas cuadradas, las cuales pueden ser temporales o permanentes dependiendo de las características, alcance y necesidades de cada proyecto.

Fórmula:

$$\ln[BA] = a + b \ln [D] + c [\ln [D]]^2 + d [\ln [D]]^3 + B1 \ln [\rho] \quad (1)$$

$$\ln [BA] = a + B1 \ln [D] \quad (2)$$

$$\ln [BA] = a + B1 \ln [D \cdot 2H\rho] \quad (3)$$

Donde:

BA = Biomasa aérea (Kg)

D(cm) = Diámetro a la altura del pecho medido a 1,30 m de altura sobre el suelo.

ρ = Densidad de madera ($g \text{ cm}^{-3}$)

H = Altura total del árbol

a, b, c, d y B1 = variables o constantes del modelo.

- **Metodología para determinar el carbono acumulado en la biomasa de bosques:**

Según Ricardo Russo (2009). Cada una de las unidades de muestreo tiene su zona basal definida. El área basal (AB) simboliza la totalidad de las áreas transversales (desde la base hasta los 1,30 m de altura) de todos los árboles con un diámetro que excede los 10 cm en una hectárea y se expresa en metros cuadrados por hectárea.

n

$$AB = \sum_{i=1}^n a_i$$

i=1

$$AB = [(DAP \text{ medio})^2 \times 0,7854] \text{ (m}^2 \text{ /arb)} \times N \text{ (arb/ha)}$$

Después se establece su altura media. El resultado del AB dividido entre la altura y un coeficiente de forma (proporción entre el volumen real

y el volumen aparente de un árbol) se traduce en el volumen de madera o el volumen de los fustes.

$$\text{Vol} = AB \times H \times 0,5$$

Finalmente, se calcula el contenido de carbono basándose en el volumen, que resulta de multiplicar el volumen por el porcentaje de materia seca (% MS, se tomó en cuenta el 50%) y por la presencia de C en la MS (% C = 50% aprobado por el IPCC).

$$\text{Cantidad de C} = \text{Vol.} \times 0,5 \times 0,5$$

Considerando el 60% adicional en ramas y hojas, a esta cantidad de C se le aplicó un factor de elongación de biomasa (FEB) igual a 1,6 y el total se multiplicó por el área respectiva de cada unidad.

Por ejemplo, si nuestra densidad de muestreo es de 350 árboles por hectárea, el diámetro medio a la altura del pecho es de 22 cm y la altura media es de 18 m, resulta que:

$$AB = (0,22 \text{ m})^2 \times 0,7854 \times 350 \text{ arb/ha} = 13,3 \text{ m}^2/\text{ha}$$

$$\text{Vol} = 13,3 \text{ m}^2/\text{ha} \times 18 \text{ m} \times 0,5 = 119,7 \text{ m}^3/\text{ha}$$

$$\text{Biomasa} = 119,7 \text{ m}^3/\text{ha} \times 0,5 \text{ t/m}^3 = 59,9 \text{ ton/ha}$$

Si se aplica a esa cantidad de biomasa un:

- FEB = 1,3: Biomasa total = 59,9 ton/ha x 1,3 = 77,9 ton/ha
- FEB = 1,5: Biomasa total = 59,9 ton/ha x 1,5 = 89,9 ton/ha

El FEB variará dependiendo de las características y tamaño del árbol que se esté evaluando. Los árboles con un diámetro menor y más ramas tienen un BEF (factor de expansión de biomasa) más alto. (R. Russo, 2009).

Metodología para Calcular la Biomasa arbórea:

- a) El método directo (o destructivo) empleado para elaborar ecuaciones alométricas y factores de expansión de biomasa implica recolectar la biomasa de uno o más árboles, calcular la biomasa por el peso directo de cada elemento (tronco, ramas y hojas), y aplicar los resultados a la totalidad en el área total (Rügnitz, Chacón & Porro, 2009).
- b) Los métodos indirectos requieren la aplicación de ecuaciones o coeficientes de expansión que facilitan la vinculación de ciertas dimensiones fundamentales adquiridas en campo (fácilmente cuantificables) con la propiedad de relevancia, suprimiendo la necesidad de medir esta última. Por ejemplo, puedes emplear una fórmula para determinar la biomasa total de un árbol al medir su diámetro. Estas ecuaciones se producen a través de un procedimiento estadístico conocido como análisis de regresión (Rügnitz et al., 2009).

Estimación de la biomasa arbórea en el terreno a través de la ecuación alométrica genérica:

$$B_{ASU} = f(\text{datos dimensionales})$$

Donde:

BASU: corresponde a la biomasa de árboles presentes en el suelo de una unidad, expresada en kilogramos de materia seca por árbol (kg M.S./árbol); (Rügnitz et al., 2009).

f (datos dimensionales): se trata de una relación alométrica entre la biomasa en el suelo (kg M.S./árbol) y los datos dimensionales obtenidos en terreno (por ejemplo, dap y altura total del árbol, etc.).

Tabla 1
Ecuación Alométrica por tipo de Bosque (Zonas húmedas)

Ecuación Alométrica	Tipo de Bosque	Intervalo de dap Medidos
$Y = \exp[-2,289 + 2,649 \cdot \ln(\text{dap}) - 0,021 \cdot (\ln(\text{dap}))^2]$	Maderas duras de zonas tropicales húmedas	5 – 148
$Y = 21,297 - 6,953 \cdot (\text{dap}) + 0,740 \cdot (\text{dap})^2$	Maderas duras de zonas tropicales muy húmedas	4 – 112

Donde:

Y = materia seca sobre el suelo, en kg de materia seca por árbol

dap = diámetro a la altura del pecho en cm

ln = logaritmo natural; exp = “elevado a la potencia de”

Se caracterizan como zonas tropicales húmedas regiones con precipitaciones entre 2,000-4,000 mm/año en tierras bajas; “zona tropical muy húmeda” se refiere a regiones (en tierras bajas) con precipitaciones mayores a 4,000 mm/año.

Nota. Extraído de la Fuente: Adaptado de ARAM000119 2005

Se utiliza para estimar la ecuación alométrica de plantaciones forestales comerciales (monocultivos) en biomasa (en kilogramos de materia seca por árbol).

Tabla 2
Ecuación Alométrica por Especies Forestales

Ecuación alométrica	Especies	Diámetros (cm)	R ²	Fuentes
Especies Forestales Comerciales				
$Y = 0,153 \cdot \text{dap}^{2382}$	<i>Tectona grandis</i>	10-59	0,98	1
$Y = 0,0908 \cdot \text{dap}^{2575}$	<i>Tectona grandis</i>	17-45	0,98	2
$Y = 0,0103 \cdot \text{dap}^{2993}$	<i>Bombacopsis quinata</i>	14-46	0,97	3
$Y = 1,22 \cdot \text{dap}^2 \cdot \text{HT} - 0,01$	<i>Eucalyptus sp.</i>	1-31	0,97	4
$Y = 0,08859 \cdot \text{dap}^{2235}$	<i>Pinus pinaster</i>	0-47	0,98	5
$Y = 0,97 + 0,078 \cdot \text{SB} - 0,00094 \cdot \text{SB}^2 + 0,0000064 \cdot \text{SB}^3$	<i>Bactris gasipaes</i>	2-12	0,98	6
$Y = -3,84 + 0,528 \cdot \text{SB} + 0,001 \cdot \text{SB}^2$	<i>Hevea brasiliensis</i>	6-20	0,99	6
$Y = -18,1 + 0,663 \cdot \text{SB} + 0,000384 \cdot \text{SB}^2$	<i>Bertholletia excelsa</i>	8-26	0,99	6
Palmeras				
$Y = 0,182 + 0,498 \cdot \text{HT} + 0,049 \cdot (\text{HT})^2$	<i>Chrysophylla sp.</i>	0,5–10,0	0,94	7
$Y = 10,856 + 176,76 \cdot (\text{HT}) - 6,898 \cdot (\text{HT})^2$	<i>Attalea cohune</i>	0,5–15,7	0,94	7

$Y = 24,559 + 4,921*HT + 1,017*(HT)^2$	<i>Sabal sp.</i>	0,2–14,5	0,82	7
$Y = 23,487 + 41,851*(\ln(HT))^2$	<i>Attalea phalerata</i>	1-11	0,62	7
$Y = 6,666 + 12,826*(HT^{0.5}) * \ln(HT)$	<i>Euterpe precatoria</i>	1-33	0,75	7

Donde:

Y = materia seca sobre el suelo, en kg de materia seca por árbol.

dap = diámetro a la altura del pecho en cm.

HT = altura total del árbol, en metros (en palmeras este es el fuste principal, excluyendo las hojas).

SB = área basal en cm².

Nota. Extraído de la Fuente: LULUCF 2003

La biomasa calculada tiene que mantenerse en un margen de error de +/- 10% de la estimada en la ecuación. Para esta validación, el número de árboles recolectados debe ser lo más próximo posible a la cantidad mínima de árboles propuesta por el modelo o, si dicha información no está disponible, lo más próximo posible a la cantidad de árboles empleados en el modelo. Ecuaciones alométricas para determinar la biomasa aérea (kg de materia seca por árbol) en bosques naturales y en condiciones de reposo (Rügnitz et al., 2009).

Procedimientos alométricos para calcular la biomasa en el terreno (kg de materia seca por árbol) en árboles aislados (dispersos).

Tabla 3
Ecuación Alométrica por Tipo de Bosque (Zonas secas)

Ecuaciones Alométricas	Tipo de Bosque	Fuente
$\text{Log}_{10} Y = -2.18062 + 0.08012(\text{dap}) - 0.0006244(\text{dap}^2)$	Árboles dispersos en pasturas en América Central	1
$Y = 4.5 + 7.7 * H$	Palmeras	2

Donde:

Log₁₀ Y = Logaritmo de referencia 10 de la materia seca sobre el suelo, en Kg de materia seca por árbol.

Y = materia seca sobre el suelo, en kg de materia seca por árbol.

H = altura en metros; dap = diámetro a la altura del pecho en cm.

Nota. Extraído de la Fuente: IPCC 2003 citando a Brown 1997; Brown y Schroeder 1999; Schroeder et al. 1997.

Ecuaciones alométricas para estimar la biomasa sobre el suelo (kg de materia seca por árbol) en árboles aislados y dispersos (Rügnitz et al., 2009).

Estimación de reservas de carbono en la biomasa de árboles:

De acuerdo a Rügnitz et al., (2009). Se realiza los siguientes pasos:

Paso 1: Determinación de la biomasa arbórea en el terreno mediante la ecuación genética:

$$B_{ASU} = f(\text{datos dimensionales})$$

B_{ASU} : representa la biomasa de árboles presentes en el suelo de una unidad, expresada en kilogramos de materia seca por árbol (kg M.S./árbol).

f (informe de dimensiones): Es una fórmula alométrica que vincula la biomasa en el suelo (kg M.S./árbol) con los datos dimensionales obtenidos en terreno (por ejemplo, dap y altura total del árbol, etc.).

Paso 2: Determinación de la biomasa de árboles por hectárea:

$$BA = (AU/1000) \times (10000 / \text{área de la parcela})$$

Donde:

BA = Biomasa arbórea sobre el suelo (t MS/ha);

AU = Sumatoria de la biomasa arbórea de todos los árboles de la parcela (kg M.S./área de la parcela);

Factor 1000 = Conversión de las unidades de la muestra de kg MS/t MS

Factor 10000 = Conversión del área (m²) a hectárea

Paso 3: Determinación del almacenamiento de carbono en la biomasa de árboles por hectárea:

$$\Delta CBA = (BA * CF)$$

Donde:

ΔCBA = Nivel de carbono presente en la biomasa en el terreno (t C/ha);

BA = Biomasa arbórea sobre el suelo (t MS/ha);

CF = Fracción de carbono (t C /t MS). El valor estándar del IPCC para CF = 0,5.

Suelos reforestados

Deforestación

La deforestación constituye un problema persistente y uno de los más grandes retos que afrontan los humanos en estos tiempos. Este fenómeno tiene efectos negativos tanto a nivel global como local, ya sea por la destrucción permanente de bosques y selvas, causada por actividades como la agricultura, la ganadería, la expansión urbana y la extracción de recursos naturales. Aproximadamente el 22% de las liberaciones globales netas de GEI, que contribuyen al calentamiento global y a la alteración climática, provienen de las modificaciones en la utilización del suelo, en especial de aquellos relacionados con la deforestación asociada a la agricultura y la silvicultura. (Chalco, Arroyo, & Aquije, 2024).

Reforestación

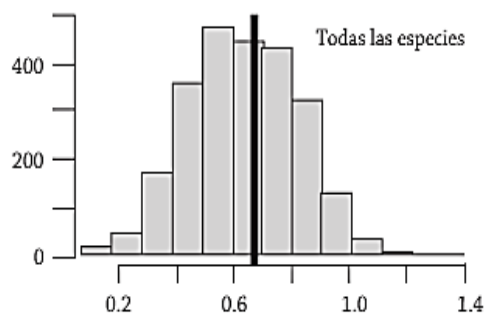
Desarrollo de madera en la naturaleza

Se presenta ritmos variados en las diferentes especies de árboles en los bosques de la amazonia en cuanto a su crecimiento. Algunas especies, como el shihuahuaco (*Dipteryx micrantha*, Jenkins 2009), aumentan su diámetro entre 1 y 2 mm al año, mientras que otras, como el topo (*Ochroma pyramidale*), tienen un crecimiento anual de 4,3 cm (Condit, Hubbell y Foster 1993).

Dentro del parámetro de desarrollo (Figura 1), los tipos se pueden clasificar en el de crecimiento lento y rápido, excluyendo para este análisis la categoría intermedia de crecimiento regular. Se observó que el crecimiento está fuertemente relacionado con la densidad de la madera (g/cm^3) ($P < 0,001$) (Figura 2), lo que significa que las especies de crecimiento lento suelen tener maderas duras (con una densidad entre 50 y 100 g/cm^3), como el Tahuari, Shihuahuaco, Quinilla, Sugar Huayo, Estoraque, Capirona, Pumaquiro, Copaiba, Moena, Larto Caspi, Huayruro, Caoba, Cumala, Ishpingo y Tornillo.

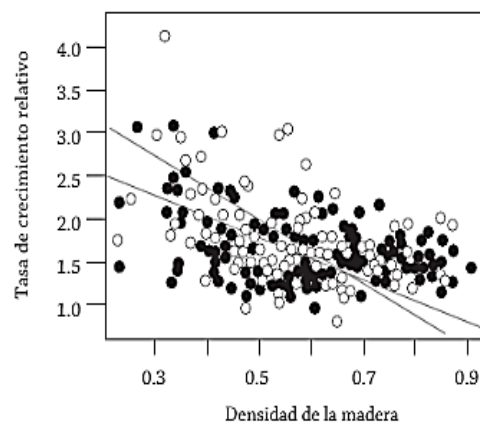
En cambio, las especies que crecen rápidamente tienden a producir maderas más blandas o de menor densidad ($<49 \text{ g/cm}^3$), como el Cedro, Pashaco, Bolina, Lupuna y Topa. (Romo, 2017).

Figura 1
Distribución de la frecuencia de densidad de la madera de las especies de árboles tropicales de Centro y Sudamérica



Nota. Extraído de la Fuente: (Romo, 2017)

Figura 2
Relación entre la densidad de la madera y la tasa de crecimiento



Nota. De Fuente: (Romo, 2017).

2.2.2. FACTORES CLIMÁTICOS EN SUELOS REFORESTADOS

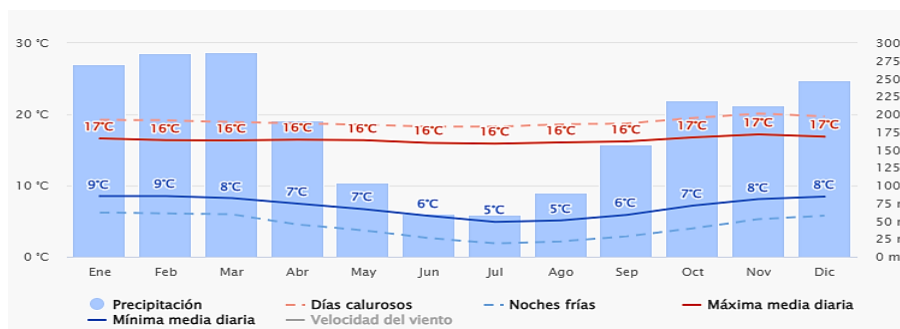
Humedad

A través de la reforestación, las plantas absorbentes de agua acumulan la lluvia a través de sus raíces y hojas, expulsando una considerable cantidad de humedad al ambiente mediante la transpiración, lo que contribuye a mantener niveles adecuados de agua en los cuerpos de agua locales. (Carrasco, 2021).

Temperatura

La "media diaria máxima" (línea roja continua) presenta un valor medio en las temperaturas máximas descritas en un día de cada mes en Ambo. De manera similar, la "media diaria mínima" (línea azul continua) muestra el valor medio de las temperaturas mínimas. Las líneas discontinuas rojas y azules reflejan las temperaturas de valor medio de los días con más calor y las noches más frías de cada mes durante las 3 últimas décadas. Al planificar las vacaciones, es recomendable considerar estas temperaturas promedio para estar listos para los días más fríos o cálidos, Aunque el flujo del viento no se presenta comúnmente, se pueden ajustar en la parte baja del gráfico. Además, el gráfico de precipitación es útil para anticipar efectos estacionales, como el clima monzónico en India o la temporada de lluvias en África. Las precipitaciones mensuales superiores a 150 mm suelen indicar un clima húmedo, mientras que aquellas inferiores a 30 milímetros corresponden a períodos secos. (Meteoblue, s.f.).

Figura 3
Temperaturas medias y precipitaciones en Ambo

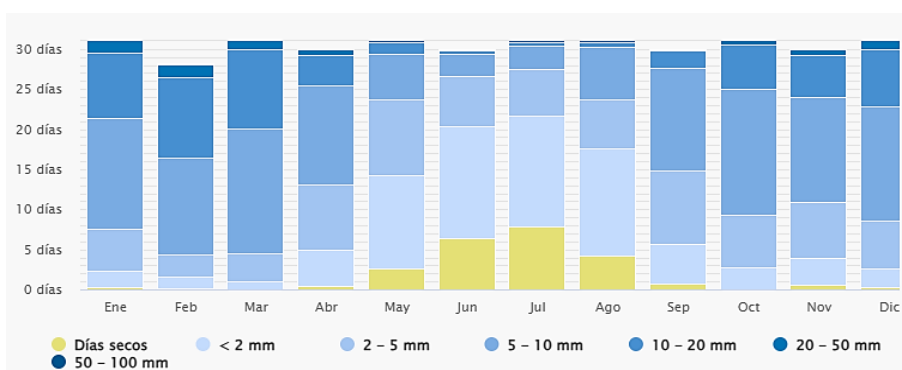


Nota. Temperaturas de Fuente: (Meteoblue, s.f.)

Precipitación

El diagrama de precipitación para Ambo muestra cuántos días del mes se registran determinados niveles de lluvia. En áreas tropicales y monzónicas, estos indicadores pueden estar por debajo de la realidad, ya que las precipitaciones suelen ser más abundantes. (Meteoblue, s.f.).

Figura 4
Cantidad de precipitación en Ambo

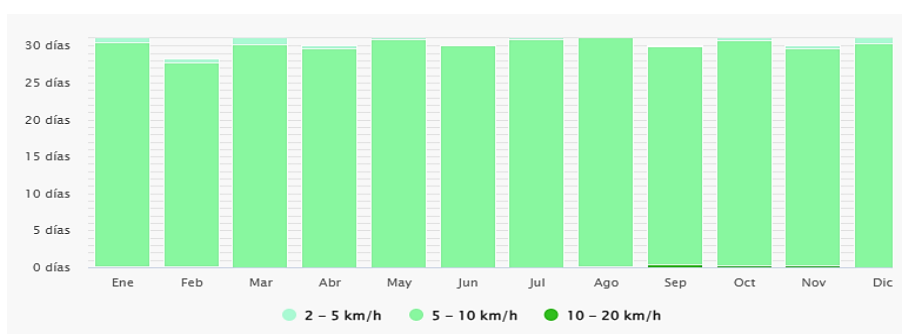


Nota. Información de Fuente: (Meteoblue, s.f.)

Vientos

El diagrama de Ambo ilustra los días de cada mes en los que se logran ciertas velocidades del viento. Un caso destacado es la meseta tibetana, en la que se puede observar que el monzón genera ventarrones fuertes y constantes desde el mes de diciembre hasta el mes de abril, mientras que desde el mes de junio hasta el mes de octubre predominan vientos lentos. (Meteoblue, s.f.).

Figura 5
Velocidad del viento en Ambo

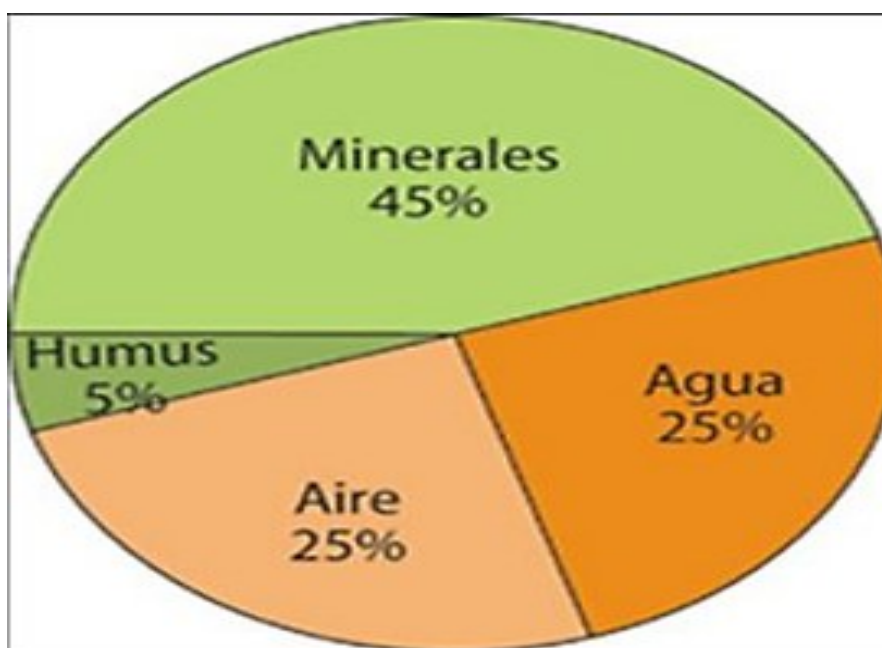


Nota. De Fuente: (Meteoblue, s.f.)

Condiciones edáficas

El suelo es un material con poros compuesto por partículas inorgánicas y orgánicas en diversos grados de descomposición, junto con el H₂O y el aire en diferentes porciones. La interrelación de estos elementos le otorga propiedades como textura, estructura, consistencia, porosidad, drenaje y profundidad útil, características que permiten definir estrategias de manejo y estimar el rendimiento esperado. (UNLP, s.f.)

Figura 6
Composición de los suelos



Nota. Datos extraídos de Fuente: (UNLP, s.f.)

Las finalidades de la Edafología son diversas, pero su enfoque principal es el estudio y la caracterización del suelo, así como el entendimiento de los procesos que en él ocurren y su relación con el entorno ambiental. Los factores edáficos son los elementos que determinan las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo. Algunos de los más relevantes incluyen la textura, la estructura, la porosidad, la permeabilidad, la humedad, el pH, la materia orgánica y los nutrientes. (Picard, Saint-André, Henry & UR1138 BEF, 2012).

Las características físicas del suelo se refieren a sus propiedades estructurales y mecánicas, incluyendo aspectos como el color, la textura, la profundidad, los poros, la densidad, la habilidad para retener H₂O y en cuanto a su temperatura. Estas características afectan el desplazamiento del aire, el H₂O y los nutrientes en el suelo, así como en el crecimiento de la raíz de las plantas. (Infoagrónomo, 2018)

Las características químicas del suelo están relacionadas con su composición y reactividad, e incluyen factores como el pH, la salinidad, la sustancia orgánica, el C, el N, el P, el K y otros nutrientes indispensables para las plantas. Estas propiedades afectan la disponibilidad y el equilibrio de los nutrientes en el suelo, así como habilidad amortiguadora y de reemplazamiento de cationes. (Infoagrónomo, 2018).

Las características biológicas del suelo están vinculadas a la variedad y actividad de los organismos que lo ocupan, tales como bacterias, hongos, protozoos, nematodos, ácaros, insectos y lombrices. Estos seres vivos tienen un papel fundamental en procesos como la desintegración de sustancias orgánicas, la captación de nitrógeno, la solubilización del fósforo, la expulsión de nutrientes, la formación de agregados, el mejoramiento de las estructuras de los suelos y la prevención de distintas patologías. (Infoagrónomo, 2018).

Eucalyptus globulus

Esta planta es una de las especies de gran importancia en la reforestación en muchas partes del mundo, siendo la especie *Eucalyptus globulus* la más cultivada en este género, en las regiones de clima mediterráneas. Esto debido a que, en gran medida, tiene gran capacidad para adaptarse a muchas variedades climatológicas y a distintos tipos de suelos, su idoneidad en la producción de papeles de alta capacidad por su rápido desarrollo. (Santelices, 2005).

Figura 7
Eucalyptus globulus



Nota. Información de Fuente: (Renobales & Sallés, 2001).

Es un árbol bastante grande, poseen cortezas de color grisáceo y tiene la capacidad de alcanzar alturas superiores a los 100 mts. Sus hojas son dimorfas, con un fuerte olor a eucaliptol, y son opuestas en las ramas jóvenes, pasando a ser alternas y pecioladas a medida que crecen. Son de color verde y miden entre 10 y 20 cm en longitud. Sus flores son grandes, de color blanco, y generalmente se encuentran solitarias en las axilas. El fruto es una cápsula que mide entre 3 y 1.5 centímetros en tamaño. Las hojas son las partes principales utilizadas que contienen componentes como el aceite esencial (eucaliptol o cineol). La infusión de hojas de eucalipto es utilizada para tratar la bronquitis y los resfriados en el sistema respiratorio. El aceite esencial se extrae de las hojas a través de la destilación por arrastre de vapor. Gracias a sus características antisépticas, se utiliza en inhalaciones e infusiones para tratar problemas del tracto respiratorio y pulmones. Asimismo, se aplica en el área bromatológica, en la fabricación de perfumes y en el sector minero como agente de flotación. El eucalipto y el pino son dos de las especies más comunes en plantaciones industriales a nivel mundial, gracias a su gran capacidad de adaptación y amplitud ecológica. (Torres, 2018).

Características:

Su tronco es grueso, cilíndrico y erguido, alcanzando hasta 2 metros de diámetro. La madera es rica en agua y presenta un color

pardo-amarillento claro, produciendo hojas largas que se agrupan al quebrarse. Tiene una textura abierta con un grano entrelazado y anillos de crecimiento claramente visibles. Es una madera fuerte y relativamente duradera, compuesta por aproximadamente 47% de celulosa y 27% de lignina. Las fibras de la madera tienen una longitud de entre 0,81 y 1,06 mm, con un diámetro de 19,6 micras. Su copa es alargada e irregular, sobre un tronco con ramas. La corteza tiene un grosor de alrededor de 3 cm, es de color marrón y se desprende en largas tiras a medida que madura, revelando una segunda capa de corteza suave, lo que indica que es una corteza vencida. En algunos casos, también excreta resinas. (Lifeder, s.f.)

Las hojas juveniles tienden a ser ovaladas, dispuestas de manera opuesta, sésiles, amplexicaules y de color glauco, con un tamaño aproximado de 8-15 cm de longitud y 4-8 cm de diámetro. En su etapa joven, tienen un tono azul y se encuentran sobre tallos cuadrangulares. Por otro lado, las hojas adultas son alternas, pecioladas, con una forma lineal y lanceolada, alcanzando entre 15 y 25 cm de longitud y presentando un color verde grisáceo. Estas diferencias en las hojas, al transitar del estado juvenil al adulto, evidencian un dimorfismo sexual en la especie. (Lifeder, s.f.)

Las flores de esta especie son de color blanco o crema, y suelen estar en las axilas de las hojas, pueden estar solas o en pequeños racimos de 2 a 3 flores, alcanzando un diámetro de hasta 3 cm. Cuando los pétalos se abren, forman una especie de capa. La planta posee tanto órganos reproductivos masculinos como femeninos, los cuales florecen cuando el follaje adulto aparece. Una característica destacada de estas flores es la habilidad para dar origen mucha miel, generalmente blanca, estos les confiere una alta capacidad melífera, favoreciendo así el transporte de polen y la polinización. Esta especie se distingue por el aroma particular de sus flores. (Lifeder, s.f.).

El *Eucalyptus globulus* tiene un potencial significativo para capturar el carbono, tanto como en su biomasa como en el suelo. Estudios han

demostrado que las plantaciones de *Eucalyptus globulus* pueden almacenar grandes cantidades de carbono orgánico, contribuyendo a la mitigación del cambio climático por su crecimiento rápido en periodos cortos, lo cual se relaciona a la especie con el objetivo de la reforestación, ya que el agua no es un factor limitante para su crecimiento. (Lifeder, s.f.).

El *Eucalyptus globulus* es una especie forestal de rápido crecimiento ampliamente utilizada en programas de reforestación, producción forestal y captura de carbono. Su tasa de crecimiento se evalúa mediante indicadores dasométricos como el incremento en altura, diámetro y volumen de biomasa. Esta especie presenta un crecimiento promedio anual aproximado de 0,8 m a 1,0 m en altura y de 1,0 cm a 1,5 cm en diámetro, lo que demuestra su alta capacidad de adaptación a condiciones edafoclimáticas andinas. Asimismo, el incremento medio anual en volumen oscila entre 10 y 40 m³/ha/año, según reportes de la FAO, lo que confirma su elevado potencial productivo. En la región de Huánuco, el crecimiento del *Eucalyptus globulus* está influenciado por factores como la altitud, fertilidad del suelo, disponibilidad hídrica y manejo silvicultural, presentando una importante capacidad de acumulación de biomasa y captura de carbono.

Captura y almacenamiento de carbono orgánico.

Los estudios sobre el sistema de captura de carbono (C) en entornos naturales está vinculada con el estudio de parámetros en funciones ecológicas que ofrecen los ecosistemas. Aunque el ciclo del C en la naturaleza y la capacidad de los suelos y mares para absorber carbono son conceptos conocidos desde hace tiempo, fue en 1976 cuando se introdujo por primera vez el concepto de que los bosques actúan como "fijadores" de los gases producidos por los combustibles fósiles (WRI 2001).

El nuevo interés por esta característica ecológica de los ecosistemas terrestres surgió desde que estudiosos y responsables de

políticas comenzaron a reconocer el valor total de la naturaleza (VTN) y a enfocarse en crear estrategias con el fin de reservar y recuperar dichos valores. El VTN se define como la adición de los valores de utilización directa e indirecta, así como de opción y existente que proporcione el entorno natural. (Vargas & Yáñez, 2004).

Huella de Carbono

La inquietud global por las repercusiones negativas de la alteración climática sigue creciendo, lo que ha motivado a las instituciones y organizaciones a ahondar en el entendimiento sobre los GEI y su funcionamiento. En este marco, la huella de carbono se ha establecido como un marcador conocido mundialmente para analizar esta dinámica. La huella de carbono evalúa el impacto de todos los GEI generados por la actividad humana, ya sean individualmente, colectivamente, ocasionalmente o relacionadas con productos, sobre el medio ambiente. Esta valoración se expresa en toneladas o kilogramos de CO₂ equivalente y reflejando los GEI liberados diariamente debido a la quema recursos energéticos no renovables en proceso de transporte y, la generación de energía y la calefacción, entre otros. (Páez, 2014).

Gases Efecto Invernadero

Los GEI ocurren debido a que los rayos solares que llegan a la tierra están compuestos de ondas de alta frecuencia que atraviesan la atmósfera con poca resistencia. En cambio, la Tierra libera energía hacia el espacio que consiste en ondas de frecuencia más baja, las cuales son absorbidas por los gases en la atmósfera, provocando así el EI (efecto invernadero). Esta fijación de energía provoca un aumento de la temperatura. En términos sencillos, el EI provoca que la energía que llega a la tierra se libere de manera lenta, permaneciendo más tiempo cerca de la superficie y causando un incremento en la temperatura. El veloz aumento de la T° global es consecuencia de este fenómeno, resultante de las emisiones de GEI originadas por actividades humanas en la atmósfera. No todos los GEI tienen el mismo potencial para

contribuir al calentamiento global, ya que su impacto varía según su capacidad de radiación y del Tiempo que las moléculas de gas permanecen en ella. (Espíndola & Valderrama, 2012).

Ciclo del Carbono

La fijación del C en los cultivos se lleva a cabo mediante la fotosíntesis, y el carbono se incorpora al suelo a través de los residuos de la biomasa aérea y en raíces. Los organismos del suelo descomponen el material orgánico muerto, obteniendo energía a partir de la desintegración oxidativa de moléculas orgánicas complejas. A lo largo de este proceso, aproximadamente la mitad del carbono se mineraliza y se libera como CO₂. En los sistemas agrícolas, hay cuatro fuentes principales de emisiones de dióxido de carbono: la fotosíntesis de los vegetales, la oxidación del C orgánico en el suelo y los residuos de cultivos, el uso de combustibles fósiles para el funcionamiento de maquinaria agrícola como tractores y sistemas de riego, así como el empleo de combustibles no renovables en la elaboración de insumos agrícolas como abonos artificiales y herbicidas. (Verhulst, François, & Govaerts, s.f.)

Los suelos también pueden emitir CH₄, especialmente en áreas como en áreas de cultivos de arroz y humedales. La concentración de C en el suelo depende del balance entre las contribuciones, como los residuos de sembríos, y las pérdidas ocasionadas por la descomposición de las sustancias orgánicas. Para aumentar la fijación de C orgánico en los suelos, es necesario incrementar los aportes de C, reducir la desintegración de las sustancias orgánicas, o los dos factores. La contribución de C puede aumentarse mediante: la intensificación del ciclo de cultivos, la reducción del cultivo y la retención de restos de cultivo, y la optimización de los insumos agropecuarios como abonos de riego, plaguicidas y encalado. La desintegración del carbono se puede disminuir al modificar las técnicas de cultivo o al incorporar sembrados con restos de desintegración lenta en los ciclos.

La estimación es indispensable para lograr el nuevo equilibrio varía entre 20 y 40 años, o entre 50 y 100 años. (Verhulst et al., s.f.).

Figura 8
Ciclo del Carbono



Nota. De Fuente : (Verhulst, François, & Govaerts, s.f.)

El carbono en los ecosistemas forestales

La planta, en su proceso de fotosíntesis absorben el dióxido de carbono convirtiéndolos en sustancias clave para la formación de glucosa, estas utilizadas para constituir todas las estructuras importantes para el desarrollo del árbol, como sus troncos, sus ramas, hojas, flores, frutos, y las raíces, a medida que su crecimiento del árbol aumenta, también aumenta cada una de sus estructuras, que al agruparse forman una copa y además aumenta su longitud y diámetro del tronco. La copa requiere de suficiente espacio con la finalidad de fijar energía proveniente de los rayos solares a través de sus hojas, esto genera una competencia entre los árboles para captar los rayos solares, llevando a la formación de un dosel cerrado. Los elementos de la copa aportan sustancia orgánica al suelo, que se descompone gradualmente y se transforma en humus sólido, el cual, también libera dióxido de carbono al medio. (Benjamín & Masera, 2001).

El secuestro de carbono implica la captura del CO₂ presente en el ambiente y su fijación en reservorios de mucha duración, como la

biomasa vegetal aérea (que incluye estructuras como tronco, tallo, hoja, flor y fruto) y la biomasa subterránea (raíces, microbios y formas estables de C orgánico e inorgánico en el suelo). (Clemente, 2021).

Captura y almacenamiento de carbono en la vegetación y en el suelo

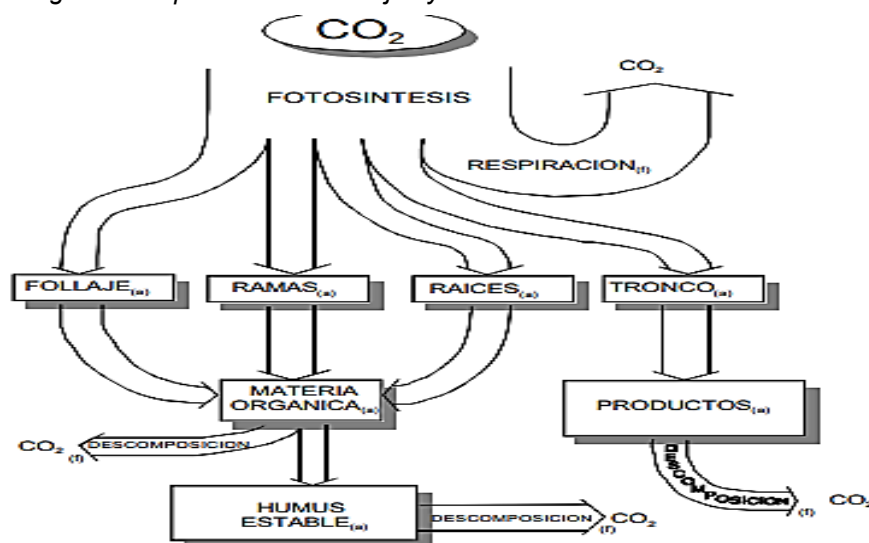
Gracias al acuerdo de la CMNUCC y la implementación del Protocolo de Kioto, se ha otorgado mucha importancia a la captura del dióxido de carbono que realizan los vegetales durante su respiración, así como la fijación de C en el suelo. En este sentido, las masas forestales cumplen una función fundamental en la captura y conservación del C atmosférico. Por lo tanto, en países como Perú, que cuentan con una gran riqueza forestal y alta diversidad biológica, es crucial evaluar su capacidad para capturar y almacenar C, tanto en bosques oriundos como en reforestaciones y otros ecosistemas. En investigaciones llevadas a cabo en la selva peruana (Pucallpa), estimó que una red agroforestal fija alrededor de 114 t C/ha, mientras que en una plantación de pijuayo con cobertura se alcanza hasta 149 t C/ha. (Dilas, Ortecho, & Alvarez, 2020).

El carbono en ecosistemas forestales

El diagrama a continuación muestra los flujos y los reservorios de C en un ecosistema forestal. En este contexto, el follaje, las ramas, las raíces, el tronco, los desechos, los productos y el humus estable funcionan como reservorios de C. Estos componentes regresan al ciclo normal mediante procesos de desintegración y/o combustión de la biomasa del bosque (Benjamín & Masera, 2001).

Figura 9

Diagrama simplificado de los flujos y almacenes de carbono en un ecosistema forestal



Nota. Fuente (Benjamín & Masera, 2001)

Carbono en vegetación

El C en las plantas es el total del C presente en el área de biomasa y en la biomasa de las raíces. La biomasa aérea incluye el tronco principal, las ramas, las hojas y el follaje, mientras que el C de las raíces se refiere a la biomasa que se encuentra en las raíces. (Benjamín & Masera, 2001).

Carbono en el suelo

El Carbono presente en suelo forestal proviene de distintas capas que lo componen. Este suelo se origina a partir de la división de la madre roca expuesta (material parental), donde se pone una planta. Con el pasar del tiempo, se forman de distintos estratos por la deposición de materiales, que a medida se acumulan y compactan, almacenando carbono.

Este almacenamiento se incrementa conforme continúa el desarrollo de la conformación del suelo. (Benjamín & Masera, 2001).

Biomasa

El análisis de la biomasa es indispensable ya que esto proporciona información acerca del despliegue de la sustancia orgánica en un

entorno. Utilizados con distintos fines, tales como: estimar el contenido de C en los lugares con mucha vegetación, cuantificar los nutrientes presentes en distintos ecosistemas, así determinar el control de energía en los ecosistemas forestales, desde este modo determinar y ofrecer un análisis cuantitativo de los ecosistemas y las fuentes de sustancias orgánicas accesibles, para analizar alteraciones en las composiciones de los bosques, medir la cantidad de GEI que se retienen al evitar la tala de muchos árboles, así como calcular el crecimiento, rendimiento y productividad de los bosques. Todos estos aspectos son cruciales para entender el ecosistema forestal y evaluar los efectos de las intervenciones humanas que afectan su equilibrio. (Páez, 2014).

MARCO LEGAL

LEY N° 30754, Ley Marco sobre Cambio Climático

Artículo 1. Objeto:

La Ley Orgánica de Cambio Climático tiene como propósito de definir los principios, métodos y normas generales para la coordinación, elaboración, desarrollo, ejecución, información, supervisión, evaluación y difusión de las políticas nacionales, con el objetivo de garantizar una administración completa, transparente y participativa de las acciones de mitigación y adaptación del cambio climático, con el objetivo de disminuir la vulnerabilidad del país al cambio climático, capitalizar las oportunidades de crecimiento con bajas emisiones de carbono (Ley N° 30754 de 2019. Ley Marco sobre el Cambio Climático, MINAM).

Adaptación y mitigación fundamentadas en la preservación de las reservas de carbono. Fomentar la implicación de las comunidades locales y de las comunidades originarias o indígenas en la salvaguarda, conservación y gestión sustentable de los bosques que representan significativas reservas de carbono, y recuperar zonas deforestadas en todo el país para ampliar el territorio de estas reservas (Ley N° 30754 de 2019. Ley Marco sobre el Cambio Climático, MINAM).

Desarrollo con bajas emisiones de carbono: La administración integral del cambio climático busca vincular el incremento de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) con el desarrollo económico, respetando los estándares globales de rendimiento ambiental y competitividad (Ley N° 30754, MINAM).

Artículo 16. Medidas de mitigación al cambio climático:

Los tres niveles nacionales de gobierno desarrollan e implementan programas, proyectos y acciones encaminados a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, capturar carbono e incrementar las remociones de manera transparente y participativa, priorizando la conservación, manejo y protección sustentable de la forestación, así como el aprovechamiento de forestación y gestión del uso de la tierra. residuos fijos y aguas residuales, etc (Ley N° 30754. Art. 16, MINAM).

Artículo 17. Reducción de emisiones de deforestación y degradación de los bosques:

17.1. El Ministerio de Medio Ambiente es responsable de monitorear y evaluar la reducción de emisiones provenientes de la degradación y deforestación forestal e informar sobre el estado de la implementación de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (Ley N° 30754. Art. 17, MINAM).

17.2. La reducción de las emisiones derivadas de la degradación y la deforestación forestal mediante proyectos y programas de protección forestal y gestión sostenible puede ayudar a proteger y aumentar las reservas de carbono forestal, beneficiando a las comunidades locales que viven en las zonas mencionadas y cerca de ellas (Ley N° 30754. Art. 17, MINAM).

17.3. Lo ideal es que los planes y proyectos de conservación y gestión sostenible de los bosques incorporen las prácticas y conocimientos tradicionales de las poblaciones indígenas o locales (Ley N° 30754. Art. 17, MINAM).

Reglamento de la Ley N° 30754, Ley Marco sobre Cambio Climático

Artículo 1. Objeto:

El propósito de esta normativa es normalizar la Ley número 30754, Ley Marco de Cambio Climático, referente a la Evaluación, Formulación, Implementación, Supervisión, Planificación, Información y Difusión de la Política Estatal para la Gestión Integrada del Cambio Climático. Esta normativa aborda la vulnerabilidad a los impactos del cambio climático, la utilización de oportunidades para un desarrollo con bajo contenido de carbono y el cumplimiento de las responsabilidades internacionales del país frente a la Convención General de la ONU sobre Cambio Climático

Este reglamento fomenta el crecimiento sostenible y resistente al clima y puede producir ventajas que superan la adaptación al cambio climático, como el desarrollo con bajos niveles de carbono a escala local, regional y nacional.

La medición se realiza a escala nacional, incluyendo la elaboración del inventario nacional de gases de efecto invernadero (INGEI), con base en la información proporcionada por INFOCARBONO, el informe anual de gases de efecto invernadero (RAGEI) es elaborado por las autoridades competentes de acuerdo con las normas desarrolladas. pautas. IPCC, y preparar directrices para que las autoridades climáticas nacionales busquen la mejora continua de los jefes de departamento.

Mediciones a nivel organizacional, incluyendo la elaboración de registros de emisiones de gases de efecto invernadero de organizaciones públicas y privadas utilizando la huella de carbono peruana definida en el artículo 55 de este reglamento, de acuerdo con los lineamientos de la norma técnica peruana NTP ISO 14064 -1:2016.

La Huella de Carbono del Perú proporciona información sobre las mediciones organizacionales de gases de efecto invernadero según la norma técnica del Perú NTP ISO 14064-1:2016. Cumple con la norma

ISO 14064-1:2006 o posterior. También produce informes que cumplen con INFOCARBONO, mejorando así la calidad de los datos para la elaboración del INGEI (D.S. N°013 de 2019 [Ministerio del Ambiente]. Reglamento de la Ley de Marco sobre el Cambio Climático. 31 de diciembre de 2019).

Artículo 54. INFOCARBONO

INFOCARBONO ha establecido las reglas para la elaboración de las RAGEI, las cuales están disponibles en plataformas digitales e incluyen los resultados de los inventarios de gases de efecto invernadero elaborados de acuerdo con las reglas para la elaboración de los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero. (D.S. N°013 de 2019 [Ministerio del Ambiente]. Reglamento de la Ley de Marco sobre el Cambio Climático. 31 de diciembre de 2019).

Tabla 4

Comparativo de guías sobre captura y almacenamiento de carbono

Guía Metodología	Guía para la Determinación de Carbono en pequeñas propiedades rurales	Guía práctica para la medición de la captura del carbono en la biomasa forestal
Precauciones a ser tomadas antes y durante la etapa de campo	<ul style="list-style-type: none"> • Solamente se deben llevar a cabo mediciones en terreno cuando se han establecido los objetivos y los elementos logísticos y administrativos del proyecto. • Establecer un cronograma de campo para el análisis de datos. • Se recomienda instalar parcelas de prueba (pre-prueba). • Es preferible no recolectar muestras en diferentes etapas del año. • Es importante considerar que los mapas de la zona y la utilización de GPS son esenciales. 	<ul style="list-style-type: none"> • Solamente se deben llevar a cabo mediciones en terreno cuando se han establecido los objetivos y los elementos logísticos y administrativos del proyecto. • Es importante considerar que los mapas de la zona y la utilización de GPS son esenciales.
	<ul style="list-style-type: none"> • Se aconseja disponer de un receptor de GPS (Sistema de Posicionamiento Global) para simplificar la identificación y el ajuste de cada parcela. 	<ul style="list-style-type: none"> • Se crean áreas de muestreo y todos los árboles son medidos en una sola parcela. • Las parcelas deben ser exactas y precisas.

Establecimiento de parcelas	<ul style="list-style-type: none"> • Se aconseja emplear una parcela cuadrada o rectangular de 400 m² para estratos con baja densidad de árboles. • La disposición de las parcelas para llevar a cabo el muestreo debe ser precisa, exacta y cuidadosa. 	
Forma de Parcelas	Parcelas cuadradas	Parcela Circular
Tamaño de parcelas	20 x 20 m (400 m ²). Con un total de 28 parcelas en un área de 10,000 Ha	100 m ² (con un radio de 5,64 m). Con un total de 3 parcelas en un área de una (1) Ha.
Medición de la altura y diámetro de los árboles	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Medición del diámetro: La medición del diámetro es a la altura del pecho a 1,3 metros de suelo, utilizando forcípula y un individuo de pequeño porte, también se utiliza cinta de diámetro, Forcípula de medición digital y Dendrómetro de cinta. ✓ Evaluación de la altura a través de un clinómetro de papel: <ol style="list-style-type: none"> 1. Se toma una distancia suficiente del árbol (entre 15 y 40 metros, en función de la escala del instrumento y de la total visibilidad de la parte superior del árbol). 2. Se corrige la inclinación del terreno. 3. Vigilancia y cuantificación de la base del árbol. 4. Vigilancia y evaluación del ápice (o de la altura comercial) del árbol. 5. Cálculo de las mediciones. 6. Se aplica la fórmula siguiente para determinar la altura de cada árbol: $H = \text{Tang}(X) * D$ Donde: H= altura en metros. Tang. (X) = tangente del ángulo en grados. D = distancia en metros. 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Medición del diámetro: La medición del diámetro es a la altura del pecho a 1,3 metros del suelo, utilizando forcípula. ✓ Medición de la altura utilizando un clinómetro: <ol style="list-style-type: none"> 1. El lugar de muestreo se registra en la hoja de datos. 2. Calcula una distancia de 20 o 30 metros desde la raíz del árbol, desde este punto, el individuo usará un clinómetro para medir. 3. Manteniendo el clinómetro en la mano derecha, observe con el ojo derecho a través de la lente, manteniendo el ojo izquierdo abierto y dirigiendo la mirada hacia la copa del árbol. Un dial portátil, que muestra ángulos en grados en un lado y tangentes en el otro, gira cuando el clinómetro se inclina ascendiendo y descendiendo, creando una ilusión óptica que trasciende el marco del clinómetro. 4. Se utiliza un clinómetro para leer el ángulo o tangente desde la copa de un

		<p>árbol hasta sus raíces.</p> <p>5. Con el ojo izquierdo cerrado, inicialmente se realiza la medición de la parte superior de la copa del árbol y se señala el ángulo o tangente en la hoja de datos.</p> <p>6. Continué con este procedimiento y realicé otra medición, señalando el tangente o ángulo en el registro de datos.</p>
¿Qué variables se medirán?	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Medición y estimación de biomasa sobre el suelo. ✓ Medición de biomasa sobre el suelo. ✓ Medición de biomasa subterránea. 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Establecer la biomasa de un cultivo de bosques o un bosque natural.
Biomasa	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Biomasa arbórea. ✓ Biomasa de raíces arbóreas. ✓ Hojarasca y detritos. 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Biomasa en plantaciones forestales. ✓ Biomasa en bosque natural.
frecuencia de mediciones	3 repeticiones	3 repeticiones
Cálculo del Carbono	Ecuación Alométrica utilizando el método indirecto	Ecuación Alométrica, utilizando el método directo.

Suelos forestales en el Perú

Clasificación de la Cobertura Vegetal:

La clasificación de la cobertura de vegetación en el país se fundamenta en la escala cartográfica, la superficie mínima del mapa y la resolución espacial del material satelital empleado (Mapa Nacional de Cobertura Vegetal, MINAM).

Criterio geográfico

Basándonos en este criterio, el territorio se segmenta en cuatro (4) zonas naturales fundamentales, tales como la Yunga o Selva Alta, Amazonía tropical o Selva Baja, la Cordillera Andina o Sierra y la costa.

Bosque tropical amazónico o bosque de tierras bajas: La Gran Llanura Amazónica o Llanura Subandina debajo de la Jungla, caracterizada por una estacionalidad reducida, es decir, regímenes

térmicos con fluctuaciones diarias de temperatura relativamente grandes en comparación con pequeñas fluctuaciones diarias de temperatura (Mapa Nacional de Cobertura Vegetal, MINAM).

La Yunga, o selva alta: Forma una gran zona ecológica ubicada en el lado oriental de los Andes peruanos a una altitud de 800 metros. pag. El sustantivo arroz. (CDC-Unalm, 2010) Hasta aproximadamente 3200 a 3600 m. pag. El sustantivo metro se limita a las estepas andinas (regiones sur y centro) o Jalca o Páramo (regiones norte). Se distingue por una vegetación abundante con una disposición vertical estructurada que se desarrolla sobre colinas pronunciadas, una alta precipitación anual de 2000 mm a casi 8000 mm y una temperatura media inferior a 24°C (Mapa Nacional de Cobertura Vegetal, MINAM).

La región andina: Se divide en dos zonas claramente delimitadas: una región conocida como la Vertiente Andina Occidental y la Vertiente Andina en la zona baja, situada entre 1.500 y 3.800 metros sobre el nivel del mar. pág. sustantivos caballeros. Zona Sur) y 3000 a 3200 m. pp. sustantivo arroz. (Distrito Norte). Se caracteriza por matorrales, que incluyen terrenos herbáceos (en su mayoría efímeros) y pequeñas manchas de bosque remanente. Desde el punto de vista geológico dominan las rocas ígneas y volcánicas (Mapa Nacional de Cobertura Vegetal, MINAM).

La costa: Se distingue por el impacto de la Corriente Oceánica de Perú, generando extensas zonas desérticas con poca vegetación, la conocida como Ecorregión del Desierto de Sechura (CDC-Unalm, 2006). Estos abarcan colinas generadas por la niebla durante el invierno, además de pequeños, estrechos y secos bosques costeros que se desarrollan en los cañones y ríos que fluyen por las pendientes occidentales de los Andes (Mapa Nacional de Cobertura Vegetal, MINAM).

Criterio bioclimático

Este principio se fundamenta en la separación de extensos espacios naturales en zonas más reducidas, como provincias húmedas, de acuerdo con lo establecido en el Mapa Bioclimático de Clasificación de Regiones Vivas del Mundo. de L.R. Holdridge (Mapa ecológico del Perú, 1975). Se determinan las provincias de humedad a través de la relación entre el potencial de evapotranspiración (R_{tp}) = evapotranspiración potencial total anual / precipitación media anual, lo que facilita la identificación de entornos con ciertas propiedades basándose en el balance entre calor y humedad (Mapa Nacional de Cobertura Vegetal, MINAM).

- Perhúmedo-húmedo: Rev_{tp} 0,25-1,00
- Semisaturado-perhúmedo: Rev_{tp} 0,0625-0,50
- Saturado-húmedo: Rev_{tp} 0,0625-1,00
- Superhúmedo y subhúmedo: Rev_{tp} 0,125-2,00
- Perhúmedo y subhúmedo: Rev_{tp} 0,25-2,00
- Subhúmedo: Rev_{tp} 1,00-2,00
- Semiárido: Rev_{tp} 2,00 -4,00
- Semiárido-Árido: Rev_{tp} 2,00-8,00
- Perhúmedo-Árido: Rev_{tp} 0,25-8,00
- Semiárido-superárido: Rev_{tp} 2,00-32,00
- Árido-desechado: Rev_{tp} 4,00-64,00

En el caso de un bosque selvático, la vegetación se divide en tres (3) elevaciones principales, debido principalmente a los importantes gradientes de temperatura que se encuentran en la transición de un rango de elevación a otro. A pesar de que la humedad se mantiene igual, la vegetación en estos niveles tiene características topográficas y florísticas diferentes (Mapa Nacional de Cobertura Vegetal, MINAM).

Ellos son:

- Basimontano: 800-2000 metros sobre el nivel del mar.
- Montano: 2,000-3,000 metros sobre el nivel del mar
- Altimontano: 3,000-3,600 metros sobre el nivel del mar.

Criterio fisonómico

Esta norma se basa en la clasificación de la vegetación a nivel de morfología vegetal, la cual está directamente relacionada con su forma de vida principal, o biomorfo (Mapa Nacional de Cobertura Vegetal, MINAM).

Ellos son:

Bosque: Abundancia de árboles o palmeras arborescentes.

Matorral: Abundancia de arbustos sobre otras formas de vida vegetal.

Herbazal: Abundancia de hierbas sobre otras formas de vida vegetal.

Bosque con bambú: Es una mezcla entre árboles y cañas.

Bambusal: Abundancia de cañas sobre otras formas de vida vegetal.

Criterio fisiográfico

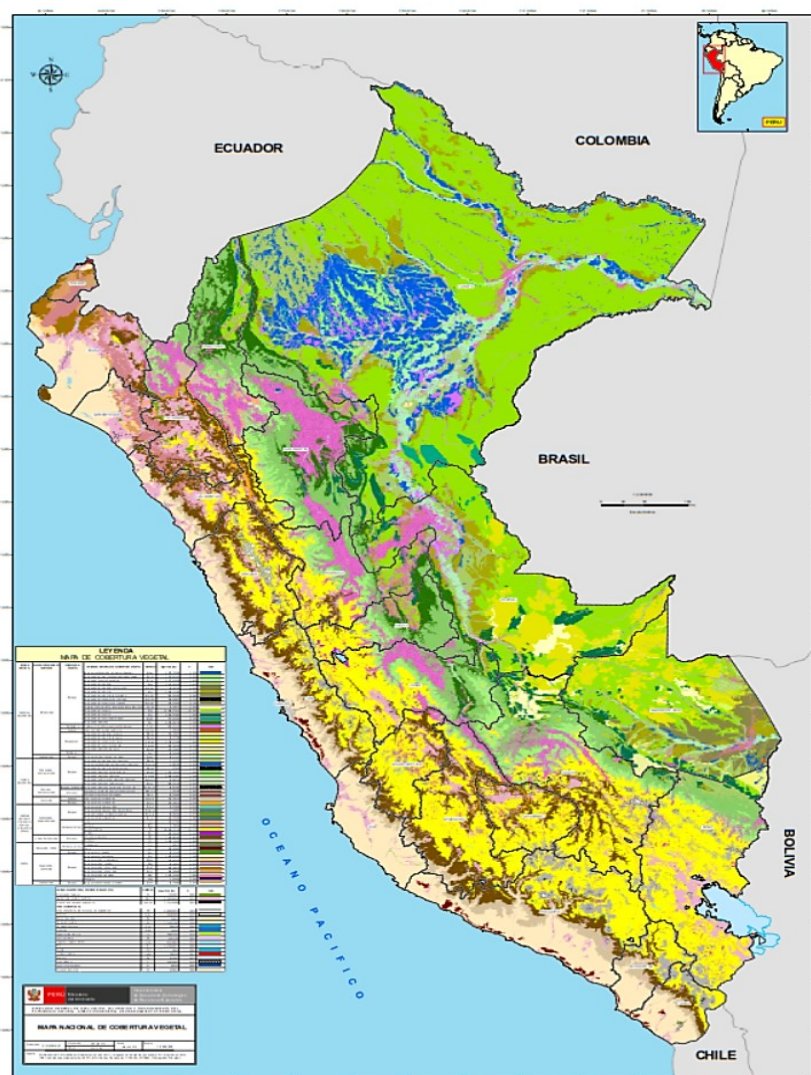
La norma se basa en la clasificación de la vegetación según el relieve que ocupa. Sabemos que existe una relación directa entre el suelo y las plantas, y utilizamos términos indirectos como terreno (terrazas, cerros, montañas, etc.) para expresar suelo. Se utiliza estrictamente en bosques tropicales amazónicos, bosques selváticos y bosques costeros secos (Mapa Nacional de Cobertura Vegetal, MINAM).

Plantación Forestal

Esta cobertura se alinea con todas las zonas de plantación en áreas forestales aptas en la región andina aprox. 3000 a 3800 m sobre el nivel del mar. Su superficie es de 77.460 hectáreas, lo que supone el 0,06% de la superficie de la provincia. En esta superficie se forman árboles, formando áreas forestales, cuyo diseño, tamaño y variedad se determinan para lograr objetivos específicos, tales como plantaciones productivas, energía, defensa de zonas agrícolas, defensa de taludes, defensa de cuerpos acuáticos, prevención de la erosión del terreno y control del flujo de agua (Mapa Nacional de Cobertura Vegetal, MINAM).

Figura 10

Mapa Nacional de Cobertura Vegetal – Ministerio del Ambiente (MINAM)



Nota. Fuente: MINAM (Cobertura Vegetal).

2.3. DEFINICIONES CONCEPTUALES

Reforestación

La reforestación es el proceso de sembrar árboles en zonas donde el bosque ha sido destruido o disminuido, con el objetivo de recuperar la cobertura forestal, aumentar la habilidad de rescate C y promover la biodiversidad y su estabilidad en los ecosistemas. (Global Forest Resources Assessments [FAO], 2015).

Calicata

La calicata permite observar visualmente la tasa de humedad en las áreas de raíces de cultivos, proporcionando datos de la accesibilidad de H₂O para las plantas así ayudando a determinar el momento y la cantidad de riego necesaria. Además, permite evaluar el nivel de densificación del suelo, la profundidad de este, la presencia de capas impermeables, así como la estructura y textura del terreno. Al obtener muestras de los diferentes horizontes del suelo y mandarlos al análisis laboratorial, también se obtiene datos químicos sobre el suelo determinado. (Portal fruticola, 2016)

Fertilidad del suelo

Se define como la capacidad para suministrar de nutrientes indispensables que los vegetales requieren para un óptimo crecimiento. Los nutrientes más relevantes que las plantas obtienen del suelo son el N, P, K, Ca y Mg. (PennSate Extension, 2023).

Recursos naturales

Los recursos naturales son elementos del entorno o bienes producidos por la naturaleza que la humanidad lo utiliza para satisfacer sus necesidades como elementos, ropa, productos de consumo y vivienda, no obstante, su explotación desmedida puede resultar en su agotamiento. (Lahoz, 2024).

Contaminación del aire

Las concentraciones de las sustancias químicas ocurren a causa del daño del aire y el daño atmosférico, las cuales alcanzan parámetros que

pueden perjudicar la salud pública, a los animales, a la vegetación, al patrimonio cultural, etc. (NATIONAL GEOGRAPHIC, 2024).

Muestreo de suelo

Utilizada con la finalidad de evaluar la condición nutricional de los suelos y así poder recomendar el tipo de abono sintético y la cantidad requerida que debe aplicarse en una parcela de tierra destinado a un sembrado específico. (Gobierno de Mexico, 2022).

Horizonte

Los horizontes del suelo son capas que se desarrollan de forma natural con el tiempo en la superficie terrestre. Las capas están formadas por muchos materiales con características particulares las cuales las hacen únicas. Cada horizonte del suelo puede proporcionar información sobre la historia geológica y los factores del entorno ambiental y del área donde se ubica (Portillo, 2023).

2.4. HIPÓTESIS

H1: La reforestación con *Eucalyptus globulus* en el Cerro Pergaypata – Ambo – Huánuco, 2025 genera una correcta captura y almacenamiento de carbono en la raíz, tronco y hojarasca.

H0: La reforestación con *Eucalyptus globulus* en el Cerro Pergaypata – Ambo – Huánuco, 2025 no genera una correcta captura y almacenamiento de carbono en la raíz, tronco y hojarasca.

2.5. VARIABLES

2.5.1. VARIABLE DE ESTUDIO

Captura y almacenamiento de carbono orgánico en suelos reforestados con *Eucalyptus globulus*.

2.5.2. VARIABLE DE CARACTERIZACIÓN

Suelos reforestados con *Eucalyptus globulus*.

2.6. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

"Estimación de la captura y almacenamiento de carbono en suelos reforestados con *Eucalyptus globulus* en el Cerro Pergaypata – Ambo – Huánuco, 2025"

Tabla 5
Operacionalización de variables

VARIABLE DE ESTUDIO	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADOR	UNIDAD DE MEDICIÓN	TIPO DE VARIABLE
Captura y almacenamiento de carbono orgánico en suelos reforestados con Eucalyptus globulus.	La captura del carbono en entornos naturales está vinculada con el estudio de parámetros en funciones ecológicas que ofrecen los ecosistemas. En 1976 se introdujo el concepto de que los bosques actúan como "fijadores" de los gases producidos por los combustibles fósiles. Estudiosos y políticos comenzaron a reconocer el	La captura del carbono se realiza mediante los siguientes procedimientos:	Captura y almacenamiento de carbono orgánico en el tronco.	- Materia orgánica aparente	%	Numérica discreta
		Establecimiento de parcelas: Se emplea una parcela cuadrada o rectangular de 400 m2 Aprox.	- Fresco	t/ha	Numérica discreta	
		Forma de Parcelas: Parcelas cuadradas	- Seco	t/ha	Numérica	
		Tamaño de parcelas: 20 x 20 m (400 m2).	- Fresco	t/ha	continua	
		Medición de la altura y diámetro de los árboles: Medición del diámetro y Medición de la altura utilizando un clinómetro.	- Seco	t/ha	Numérica	
		Biomasa: Biomasa arbórea.	orgánico en la biomasa radicular.		continua	
			Captura y almacenamiento		Numérica continua	

valor de la naturaleza y a enfocarse en crear estrategias con el fin de reservar y recuperar dichos valores. (Vargas & Yáñez, 2004)	Biomasa de raíces arbóreas. Hojarasca y detritos. Frecuencia de mediciones: Tres (3) repeticiones Cálculo del Carbono: Ecuación Alométrica utilizando el método indirecto.	de carbono orgánico en la biomasa de la hojarasca.	Numérica continua
---	--	--	-------------------

VARIABLE DE CARACTERIZACIÓN

Suelos reforestados con Eucalyptus globulus	La reforestación es el proceso de sembrar árboles en zonas donde el bosque ha sido destruido o disminuido, con el objetivo de recuperar la cobertura forestal, aumentar la habilidad de rescate del Carbono y promover la biodiversidad y su estabilidad en los ecosistemas. (Global Forest Resources Assessments [FAO], 2015).	Factores climáticos	- Humedad % - Temperatura °C - Precipitación Mm - p H p H metro - Humedad % - Textura Clase textual	Numérica continua Numérica continua Numérica continua Numérica continua
		Se medirá los parámetros como la Humedad, Temperatura, Precipitación, pH, Textura y el área de estudio. Todo esto a través de muestras llevadas al laboratorio.	Mapa del área	Hectáreas
		Extensión de terreno		Numérica continua

Nota. Cuadro de operacionalización de los variables, indicando los parámetros de seguimiento que seguirá la investigación.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN

De acuerdo con la información de la metodológica de (Zacarías & Supo, 2020), consideró que el proyecto: *Es Descriptiva*, porque cuenta con una variable, que fue relacionada para evaluar la estimación de la captura del carbono en el estudio, debido a la variable de Estudio. *Es Prospectivo*, ya que se trabajó con datos recopilados por el mismo investigador, es decir, el proyecto se desarrolló con datos primarios. *Sin Intervención*, ya que el investigador sólo observó la realidad. *Es Transversal*, porque se realizó un solo tipo de medición de la variable.

3.1.1. ENFOQUE

De acuerdo con (Hernandez Sampieri, Fernandez Collado, & Baptista Lucio, 2014), el enfoque consta de tres tipos: Cuantitativo, cualitativo y mixto. Ya que estos tipos de enfoques son los más aceptados para realizar investigaciones.

El presente estudio adoptó el enfoque tipo cuantitativo, porque incluyó la intervención de las herramientas estadísticas para el análisis de los datos y la comprobación de hipótesis, el cual fue de ayuda para obtener la conclusión con mayor precisión y dar solución a problemas ambientales.

3.1.2. ALCANCE O NIVEL

En la información de (Zacarías & Supo, 2020), dice que el nivel cuantitativo conforma los: exploratorios, descriptivos, explicativos, aplicativos, predictivos y relacionales.

Esta investigación consideró el nivel cuantitativo descriptivo, el análisis estadístico, es univariado porque solo describe o estima parámetros en la población de estudio a partir de una muestra.

3.1.3. DISEÑO

De acuerdo con (Zacarías & Supo, 2020), el diseño es un estudio descriptivo observacional prospectivo.

Es Observacional, porque incluyó a los estudios exploratorios o cualitativos, los estudios descriptivos, los estudios relacionales y estudios explicativos.

Es Prospectivo, porque los datos necesarios para el estudio fueron recogidos con el propósito de la investigación (primarios). Por lo que, permitió ejercer control del sesgo de medición.

Este esquema explica el diseño que tomará la presente investigación:

X₁: -----O₁

X₂: -----O₁

X₃: -----O₁

Donde:

X₁: Grupo (tronco)

X₂: Grupo (raíz)

X₃: Grupo (hojarascas)

O₁: Observación

3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA

3.2.1. POBLACIÓN

(Hernandez Sampieri, Fernandez Collado, & Baptista Lucio, 2014) define la población como el conjunto total de individuos o elementos que comparten características parecidas y en los cuales se busca satisfacer el interés de la investigación.

Por consiguiente, de acuerdo con esta información la población de este estudio será toda el área reforestada con *Eucalyptus globulus* que cuenta con un área total de una hectárea en el Cerro Pergaypata, en la Ciudad de Ambo, Provincia de Ambo y Departamento de Huánuco. Con las siguientes coordenadas de ubicación geográfica:

Tabla 6
Coordenadas de la ubicación

UBICACIÓN GEOGRÁFICA			
PUNTO	NORTE	ESTE	ALTITUD
P1	368177	8879714	2025 msnm
P2	368231	8879695	2035 msnm
P3	368156	8879648	2035 msnm
P4	368230	8879633	2025 msnm

3.2.2. MUESTRA

Según (Hernandez Sampieri, Fernandez Collado, & Baptista Lucio, 2014) Mencionan que las muestras no probabilísticas, que además se conocen como muestras intencionales o por conveniencia, se eligen en función de las particularidades del estudio. Se emplean en una variedad de investigaciones tanto cuantitativas como cualitativas. En este caso, el proceso de selección no es mecánico ni se basará en fórmulas de probabilidad, sino que está más relacionado con el criterio y las decisiones del investigador.

En este estudio no se hará uso de fórmulas de probabilidad y siguiendo la muestra de tipo no probabilística, la muestra será por conveniencia en parcelas reforestados de 400 m².

Las parcelas de muestreo fueron establecidas en la zona central del área reforestada con *Eucalyptus globulus* del Cerro Pergaypata, seleccionando parcelas de 400 m². Esta ubicación fue elegida con el fin de evitar el efecto del borde, el cual puede alterar el crecimiento normal de los árboles debido a factores como: exposición al viento, variaciones

en la radiación solar, diferencias en la disponibilidad de nutrientes y humedad del suelo. La zona central presenta condiciones más homogéneas y representativas, permitiendo obtener mediciones más confiables de altura, diámetro y volumen de biomasa. En estas parcelas se determinaron los puntos de muestreo para la evaluación de biomasa en los componentes de la hojarasca, raíz y tronco.

3.3. TÉCNICAS E INSTRUMENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS

3.3.1. PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS

Se utilizará el método directo o mediciones en campo, en el cual se obtendrá muestras de tronco, raíz y hojarasca para ser pesado en fresco y ser llevados a laboratorio para determinar el carbono en peso seco. Además, se hará uso de fórmulas para determinar la cantidad de carbono almacenado.

3.3.2. PROTOCOLO A SEGUIR EN LA EJECUCIÓN

Para ejecutar el desarrollo de dicho estudio, se ha planificado llevar a cabo en cuatro fases: la fase pre-campo, la fase de campo, la fase de laboratorio y la fase de gabinete.

Fase de pre-campo

Estratificación del área

Se realiza el reconocimiento del lugar de ejecución con la ayuda del mapa de ubicación del cerro Pergaypata, con el objetivo de estratificar el área en unidades homogéneas y marcar las áreas a muestrear.

Diseño para muestreo

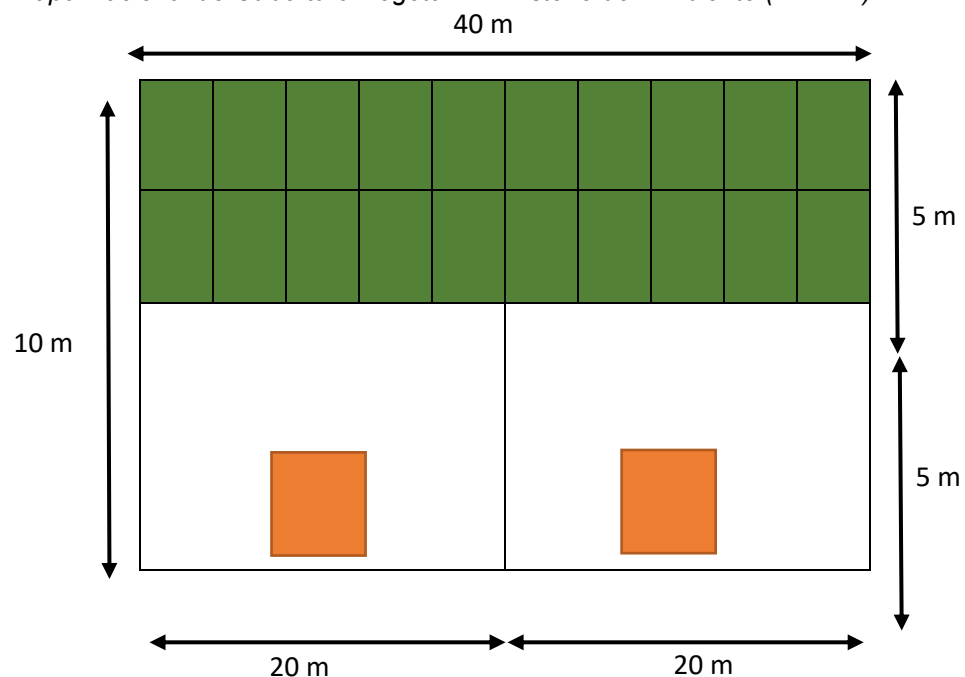
Se definieron espacios de muestreo utilizando un diseño de muestreo estratificado propuesto ICRAF (centro mundial agroforestal). Para esto, se trabajó con un lote de 400 m² (40 m x 10 m), ubicada al azar en el terreno, dentro de la cual se establece una subparcela de 40

m x 5 m para el muestreo de hojarasca, la cual se dividió en 20 partes proporcionales. Para el muestreo de carbono orgánico en el tronco y raíces, se definieron en la parcela de 40 m x 5 m y 2 subparcelas de 20 m x 5 m, y en cada una de ellas se realizó una calicata en el centro.

El ICRAF (2009) y (Arevalo, Alegre , & Lapeyre , 2004), proponen muestrear hasta una profundidad de 30 cm, en rangos de 0 - 10 cm; 10 - 20 cm y 20 - 30 cm.

Figura 11

Mapa Nacional de Cobertura Vegetal – Ministerio del Ambiente (MINAM)



Nota. Diseño para realizar el muestreo en la zona de ejecución

Donde:

- Puntos a muestrear la hojarasca
- Puntos a muestrear tronco y raíces

Fase de campo

El método que se empleará para el muestreo de la biomasa del tronco, la biomasa radicular y la hojarasca será la diseñada por el ICRAF (Centro Internacional de investigación agroforestal).

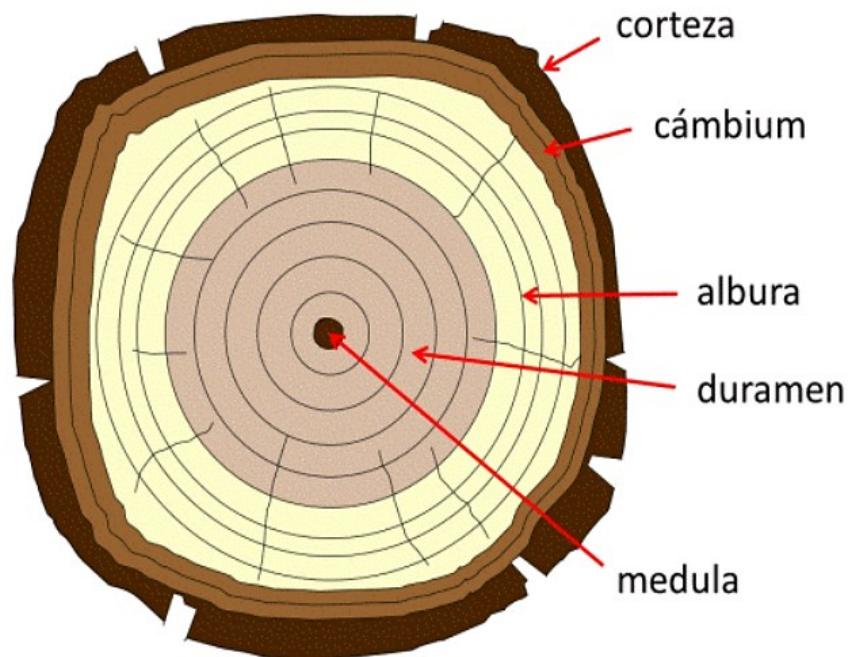
Muestreo de troncos caídos (materia orgánica muerta)

Del diseño mostrado, de las subparcelas de 5 x 20 metros, se utilizará un transecto que de preferencia cruce el centro de la parcela partiendo de un punto aleatorio hasta el extremo opuesto. Estimar el diámetro de los troncos caídos por categoría de densidad: sólido, intermedio y podrido.

Se recomienda utilizar un machete, golpear este contra el tronco caído encontrado en el transecto. En caso que el machete rebote, se debe clasificar al tronco como sólido; en el caso que penetre ligeramente, se considera de densidad intermedia; y en caso la madera se desintegre, se considera podrido.

Se establecerá previamente un diámetro mínimo de 10 cm de diámetro para diferenciar la biomasa no viva sobre el suelo (hojas, ramas y semillas).

Figura 12
Esquema para muestra de tronco



Nota. Rangos de profundidad según recomienda ICRAF (2009).

Muestreo para el tronco

Para determinar el carbono almacenado en el tronco, se utilizó un barreno hecho artesanalmente de 11 pulgadas o 28 cm de longitud para tomar las muestras sin dañar al árbol para el análisis. Se llevará a cabo la toma de muestra a la altura del pecho (1,30 m), para generar el impulso y la presión necesaria para barrenar al árbol. Antes de comenzar, se tiene que lubricar con aceite la parte interna y externa del barreno. El inicio del barrenado comienza con la inserción de la punta en alguna fisura de la corteza del árbol. Para que penetre la punta afilada, se tiene que ejercer fuerza con un martillo o comba, para que la punta pueda penetrar a la parte interna del árbol.

Una vez que la punta afilada del barreno ha penetrado unos centímetros, simplemente hay que seguir ejerciendo fuerza con un martillo o comba hasta alcanzar la longitud deseada de la viruta o llegar al centro del árbol.

Alcanzada la longitud deseada de la viruta con el barreno, se introduce en el borde posterior una llave stilson para poder ejercer movimientos horarios y antihorarios para poder extraer la viruta del eje hueco. Se procede a retirar la viruta golpeando con un fierro corrugado de 3/8 de 25 cm aproximadamente con un martillo o comba dentro del barreno, hasta que comenzamos a ver la parte inicial de la viruta, la cual comenzaremos a guardar en un sobre de papel o bolsa con cierre hermético.

Para la extracción de muestras del tronco de *Eucalyptus globulus*, se utilizó un barreno artesanal como instrumento de muestreo, debido a su funcionalidad y disponibilidad en campo, permitiendo la obtención de muestras representativas del tejido leñoso sin causar daños significativos al árbol. Este instrumento cumple el mismo principio de funcionamiento que el barreno de pressler, ya que permite extraer la viruta mediante un sistema de perforación controlada. Asimismo, este instrumento facilitó el muestreo en condiciones de campo propias de la

zona de estudio, donde el acceso a equipos especializados como el barreno de pressler es limitado, constituyendo una alternativa viable, eficiente y de bajo costo para la recolección de muestras forestales.

Muestreo para la hojarasca

Se calculó teniendo en cuenta las hojas, semillas y sus fragmentos, así como ramitas y material leñoso de menos de 4 cm de diámetro, para diferenciar con madera muerta o tronco principal mayor a 4 cm de diámetro. Se recolectó toda la hojarasca encontrada en cada una de las parcelas de 10 m² (4 m x 2.5 m). Estas muestras se pondrán en bolsas plásticas etiquetadas y se llevarán al laboratorio para su correspondiente análisis.

Muestreo de raíces

Para el muestreo del carbono almacenado en las raíces, se aplicará la metodología recomendada por el ICRAF. 2009 (Centro Mundial de Agroforestería). Se recolectarán utilizando un cubo de muestreo con un volumen de 100 cm³ las raíces delgadas de las siguientes profundidades: 0 - 10 cm, 10 - 20 cm y 20 - 30 cm.

Estas raíces se colocarán en bolsas plásticas codificadas para su posterior análisis en el laboratorio.

Fase de laboratorio

Determinación en el Tronco

Con el fin de establecer el carbono almacenado en los troncos, se utilizará en el método de Walkley - Black (método de oxidación húmeda), a través del cual se obtendrá el porcentaje de materia orgánica (%M. O) por medio de un análisis de laboratorio.

Las muestras recolectadas para determinar Densidad Aparente (DA) se colocarán en un horno a 70°C por 48hrs un proceso constante, al finalizar se retirará la muestra se procederá a pesar de nuevo para determinar el peso seco.

Determinación en las hojarascas

Tras la recolección de hojarascas, se colocará cada una en sobres de papel o bolsas herméticas y se pesará, para determinar el peso húmedo. Luego se introducirán en una estufa donde se secarán a 70°C durante un periodo de 24 a 48 horas, hasta lograr un peso estable.

Después que la muestra este completamente seca, se pesará de nuevo para obtener el peso seco y examinar la biomasa en toneladas por hectárea (t/ha), lo que permitirá analizar el monto de Carbono en (t/ha).

Determinación en las raíces

Se elegirá las raíces de cada muestra del cubo, que incluya suelo, piedras y raíces, mediante un proceso de lavado y tamizado, para obtener únicamente las raíces. Luego, se pesarán para determinar la humedad y se secarán en un horno a 70 °C durante un periodo de 24 a 48 horas, hasta alcanzar un peso constante. Después, se realizará un nuevo pesaje para obtener el peso seco y así calcular la biomasa en t/ha, y posteriormente se evaluará el monto de carbono en (t/ha).

Fase gabinete

Se realizarán cálculos haciendo uso de fórmulas específicas designadas para obtención de carbono en el tronco, la densidad aparente en hojarascas y raíces.

Para la representación de datos

Dichos elementos adquiridos, serán representados en cuadros y gráficos con su respectiva descripción.

3.4. TÉCNICAS PARA EL PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

El estudio comprende de un enfoque cuantitativo, es por ello que para el procesar y analizar los datos obtenidos se utilizará el programa de oficce Excel

de versión 2011 para luego procesar los datos al software IBM SPSS Statistics versión 29.0.

Este último programa facilitará realizar el análisis mediante tablas, figuras y gráficos, partiendo de una hipótesis planteada que, mediante diferentes pruebas estadísticas básicas como el ANOVA de un factor, Shapiro-Wilk, T de student, evaluaremos el comportamiento de los datos y llegaremos a una conclusión.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS

4.1. PROCESAMIENTO DE DATOS

4.1.1. RESULTADOS DE EVALUACIONES FISICOQUÍMICAS RELACIONADAS CON EL ALMACENAMIENTO DE CARBONO ORGÁNICO

Tabla 7

Estadísticos descriptivos de las propiedades fisicoquímicas de la biomasa radicular asociadas al almacenamiento de carbono orgánico

Variable	n	Media	Mínimo	Máximo	Rango	Desv. Est.
Humedad (%)	3	55.08	45.736	63.713	17.977	9.03
Materia seca (%)	3	44.93	36.287	54.264	17.977	9.03
Materia orgánica (%)	3	39.21	32.642	48.125	15.483	7.83
N (%)	3	0.224	0.168	0.280	0.112	0.056
C/N	3	90.13	65.827	107.422	41.595	20.75

Nota. La Tabla 7 presenta los estadísticos descriptivos de la biomasa radicular, evidenciando una humedad media de 55.08 % y un contenido de materia orgánica promedio de 39.21 %, lo que indica una fracción orgánica moderada en las raíces. La relación C/N promedio (90.13) sugiere un material con descomposición relativamente lenta, contribuyendo a la retención de carbono en el sistema suelo planta. La variabilidad observada, especialmente en la humedad y la materia orgánica, refleja la heterogeneidad natural de las raíces en función de la profundidad y las condiciones edáficas, lo cual es consistente con estudios forestales en sistemas reforestados.

Tabla 8

Estadísticos descriptivos de las propiedades fisicoquímicas del tronco relacionadas con el almacenamiento de carbono orgánico

Variable	n	Media	Mínimo	Máximo	Rango	Desv. Est.
Humedad (%)	2	44.86	44.532	45.188	0.656	0.46
Materia seca (%)	2	55.14	54.812	55.468	0.656	0.46
Materia orgánica (%)	2	52.43	51.695	53.157	1.462	1.03
N (%)	2	0.274	0.268	0.280	0.012	0.008
C/N	2	124.389	94.924	153.854	58.93	41.77

Nota. En la Tabla 8 se observa que el tronco presenta un contenido medio de materia orgánica de 52.43 %, superior al de las raíces, lo que confirma su función como principal reservorio estructural de carbono en la biomasa aérea. La baja variabilidad de la humedad y la materia seca evidencia homogeneidad en la composición del tejido leñoso. Asimismo, la relación C/N elevada (124.39) indica una baja tasa de descomposición, favoreciendo el almacenamiento prolongado de carbono en el tronco, característica típica de especies forestales de crecimiento rápido como *Eucalyptus Globulus*.

Tabla 9

Estadísticos descriptivos de las propiedades fisicoquímicas de la hojarasca (hojas) vinculadas al almacenamiento de carbono orgánico

Variable	n	Media	Mínimo	Máximo	Rango	Desv. Est.
Humedad (%)	3	8.417	8.143	8.783	0.640	0.32
Materia seca (%)	3	91.583	91.217	91.857	0.640	0.32
Materia orgánica (%)	3	84.79	82.218	86.742	4.524	2.26
N (%)	3	0.149	0.112	0.168	0.056	0.029
C/N	3	294.05	244.695	381.299	136.604	70.87

Nota. La Tabla 9 muestra que la hojarasca presenta el mayor contenido de materia orgánica (84.79 %) y la menor humedad promedio (8.42 %), lo que evidencia una alta concentración de compuestos orgánicos carbonados. La elevada relación C/N (294.05) sugiere una descomposición lenta, favoreciendo la acumulación superficial de carbono antes de su incorporación al suelo. Estos resultados confirman el rol clave de la hojarasca como un reservorio transitorio pero significativo de carbono dentro del ciclo biogeoquímico del ecosistema forestal.

Tabla 10

Comparación de los valores medios de propiedades fisicoquímicas asociadas al carbono orgánico entre raíces, tronco y hojarasca

Variable	Raíces (Media)	Tronco (Media)	Hojas (Media)
Humedad (%)	55.08	44.86	8.42
Materia seca (%)	44.93	55.14	91.58
Materia orgánica (%)	39.21	52.43	84.79
N (%)	0.224	0.274	0.149
C/N	90.13	124.39	294.05

Nota. La Tabla 10 permite comparar los principales parámetros asociados al carbono orgánico entre los tres componentes evaluados. Se evidencia un gradiente claro, donde la materia orgánica y la relación C/N aumentan desde las raíces hacia la hojarasca, mientras que la humedad disminuye progresivamente. Este patrón confirma la diferenciación funcional de cada componente: las raíces como carbono activo, el tronco como carbono estructural y la hojarasca como un reservorio superficial de alta concentración orgánica, coherente con la dinámica de sistemas forestales reforestados.

4.1.2. PARA LA ESTIMACIÓN DE CARBONO SE REALIZÓ EL SIGUIENTE PROCEDIMIENTO DE ACUERDO A LAS DIRECTRICES DEL IPCC (INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE)

El contenido de carbono orgánico en las muestras de tronco, raíces y hojas estimó indirectamente a partir del contenido de materia orgánica determinado en laboratorio. Para ello, se asumió que la materia orgánica contiene, en promedio, un 50 % de carbono, valor por defecto recomendado para biomasa vegetal en las Directrices del IPCC. En consecuencia, el porcentaje de carbono (%C) se obtuvo dividiendo el porcentaje de materia orgánica (%MO) entre dos.

Posteriormente, el carbono almacenado se expresó como gramos de carbono por cada 100 g de muestra, considerando la fracción de materia seca (%MS) de cada muestra. El cálculo se realizó multiplicando el porcentaje de carbono por la fracción de materia seca presente en 100 g de muestra, obteniéndose así una estimación de la cantidad de carbono orgánico almacenado por unidad de masa.

Tabla 11

Contenido de humedad, materia seca y materia orgánica del tronco para la estimación del carbono orgánico

Muestra	% Humedad	% Materia seca	% MO	N %
Tronco 1	44.532	55.468	53.157	0.280
Tronco 2	45.188	54.812	51.695	0.268

Nota. La Tabla 11 presenta los valores primarios utilizados para la estimación del carbono orgánico en el tronco. Los resultados muestran porcentajes consistentes de humedad y materia seca entre las muestras, así como un alto contenido de materia orgánica (>51 %), lo que respalda la idoneidad del tronco como componente clave para el almacenamiento de carbono. Estos valores constituyen la base para los cálculos posteriores de carbono almacenado por unidad de masa.

Tabla 12

Conversión de materia orgánica a carbono orgánico en el tronco

Muestra	%MO	%C = MO/2	% Materia seca
Tronco 1	53.157	26.58	55.468
Tronco 2	51.695	25.85	54.812

Nota. En la Tabla 12 se presenta la conversión de materia orgánica a carbono orgánico, asumiendo la fracción estándar de carbono (50 % de la MO). Los valores obtenidos (%C ≈ 26 %) reflejan una elevada proporción de carbono en el tejido leñoso, lo que reafirma la función del tronco como reservorio de carbono de larga duración dentro del sistema forestal.

Tabla 13

Carbono orgánico almacenado en el tronco expresado en gramos por cada 100 g de muestra seca

Muestra	%C	%MS	Carbono almacenado (g)
Tronco 1	26.58	55.468	14.74 g
Tronco 2	25.85	54.812	14.17 g
PROMEDIO	—	—	14.45 g

Nota. La Tabla 13 muestra que el tronco almacena en promedio 14.45 g de carbono por cada 100 g de muestra, con una variabilidad mínima entre muestras. Este resultado evidencia una alta estabilidad del carbono en el tejido leñoso, reforzando su importancia en la mitigación del carbono atmosférico a través de su fijación en biomasa estructural.

Tabla 14*Contenido de humedad, materia seca y materia orgánica de la biomasa radicular*

Muestra	% Humedad	% Materia seca	% MO	N %
Raíz 1	45.736	54.264	48.125	0.224
Raíz 2	63.713	36.287	32.642	0.168
Raíz 3	55.806	44.194	36.863	0.280

Nota. La Tabla 14 presenta los valores primarios de las raíces, mostrando mayor variabilidad en comparación con el tronco, especialmente en la humedad y la materia seca. Esta variabilidad responde a diferencias en profundidad y condiciones del suelo. A pesar de ello, los valores de materia orgánica indican una contribución relevante de las raíces al almacenamiento de carbono subterráneo.

Tabla 15*Conversión de materia orgánica a carbono orgánico en raíces*

Muestra	%MO	%C (MO/2)	%MS
Raíz 1	48.125	24.06	54.264
Raíz 2	32.642	16.32	36.287
Raíz 3	36.863	18.43	44.194

Nota. En la Tabla 15 se observa que el contenido de carbono orgánico en las raíces varía entre 16.32 % y 24.06 %, reflejando diferencias estructurales y funcionales dentro de la biomasa radicular. Estos valores indican que, aunque las raíces contienen menos carbono que el tronco y la hojarasca, representan un componente clave del carbono activo del ecosistema.

Tabla 16*Carbono orgánico almacenado en raíces expresado en gramos por cada 100 g de muestra seca*

Muestra	%C	%MS	Carbono almacenado (g)
Raíz 1	24.06	54.264	13.06 g
Raíz 2	16.32	36.287	5.93 g
Raíz 3	18.43	44.194	8.15 g
PROMEDIO	—	—	9.05 g

Nota. La Tabla 16 muestra que las raíces almacenan en promedio 9.05 g de carbono por cada 100 g de muestra, valor inferior al del tronco y la hojarasca. Sin embargo, este carbono cumple un rol fundamental en la dinámica del suelo, al estar más expuesto a procesos de descomposición y transferencia hacia el carbono edáfico.

Tabla 17*Contenido de humedad, materia seca y materia orgánica de la hojarasca*

Muestra	% Humedad	%MS	%MO
Hojas 1	8.325	91.675	86.742
Hojas 2	8.783	91.217	82.218
Hojas 3	8.143	91.857	85.411

Nota. La Tabla 17 evidencia que la hojarasca presenta valores muy altos de materia seca mayores a 91 % y materia orgánica superiores a 82 %, confirmando su elevada concentración de compuestos carbonados. Estos resultados justifican su inclusión como un componente clave en la evaluación del almacenamiento superficial de carbono.

Tabla 18*Conversión de materia orgánica a carbono orgánico en hojarasca*

Muestra	%MO	%C (MO/2)	%MS
H1	86.742	43.37	91.675
H2	82.218	41.11	91.217
H3	85.411	42.70	91.857

Nota. En la Tabla 18 se observa que la hojarasca presenta los mayores porcentajes de carbono orgánico %C mayor a 41 %, lo que confirma su alto potencial de captura de carbono. Este carbono, aunque susceptible a la descomposición, representa una entrada constante de carbono al suelo forestal.

Tabla 19*Carbono orgánico almacenado en la hojarasca expresado en gramos por cada 100 g de muestra seca*

Muestra	%C	%MS	Carbono almacenado (g)
H1	43.37	91.675	39.75 g
H2	41.11	91.217	37.53 g
H3	42.70	91.857	39.19 g
PROMEDIO	—	—	38.82 g

Nota. La Tabla 19 muestra que la hojarasca almacena en promedio 38.82 g de carbono por cada 100 g de muestra, valor superior al del tronco y las raíces. Este resultado resalta a la hojarasca como el componente con mayor concentración de carbono por unidad de masa, desempeñando un rol clave en la acumulación inicial de carbono en el ecosistema.

Tabla 20

Estimación del carbono acumulado en el tronco de Eucalyptus globulus por hectárea, aplicando el factor de conversión IPCC

Muestra	%C	Carbono almacenado estimado (tC/ha)
Tronco 1	26.58	8.90
Tronco 2	25.85	8.90
TOTAL	—	17.80 tC/ha

Nota. La Tabla 20 muestra la estimación del carbono acumulado en el tronco de *Eucalyptus globulus* expresado en toneladas de carbono por hectárea (tC/ha), calculado a partir del porcentaje de carbono (%C) determinado en laboratorio y empleando el factor de conversión recomendado por el IPCC para biomasa vegetal (CF = 0.5). El porcentaje de carbono se obtuvo previamente a partir del contenido de materia orgánica, asumiendo que esta contiene aproximadamente el 50 % de carbono. Para la estimación por unidad de superficie se aplicó la relación $C(tC/ha) = Biomasa(t/ha) \times CF$, utilizando la biomasa estimada del componente tronco en la plantación evaluada. Los resultados evidencian un valor de 8.90 tC/ha por muestra, alcanzando un total acumulado de 17.80 tC/ha en el componente leñoso analizado.

Tabla 21

Estimación del carbono acumulado en la biomasa radicular de Eucalyptus globulus por hectárea, aplicando la relación raíz/fuste (R/S) del IPCC

Muestra	%C	Carbono almacenado estimado (tC/ha)
Raíz 1	24.06	2.30
Raíz 2	16.32	2.30
Raíz 3	18.43	2.30
TOTAL	—	6.89 tC/ha

Nota. La Tabla 21 presenta la estimación del carbono acumulado en la biomasa radicular de *Eucalyptus globulus*, expresado en toneladas de carbono por hectárea (tC/ha), calculado a partir de la relación raíz/fuste (R/S = 0.24) recomendada por el IPCC para plantaciones forestales. Considerando un carbono total estimado de 35.6 tC/ha en biomasa aérea, la biomasa subterránea fue estimada multiplicando dicho valor por el factor R/S, conforme a la ecuación $C_{raíces} = C_{aéreo} \times R/S$, obteniéndose un total de 6.89 tC/ha para el componente radicular. Aunque el porcentaje de carbono (%C) determinado en laboratorio mostró variabilidad entre muestras (24.06 %, 16.32 % y 18.43 %), la estimación por hectárea se fundamenta en el factor alométrico estándar del IPCC, lo que permite una aproximación consistente y comparable con estudios internacionales.

Tabla 22

Estimación del carbono acumulado en la hojarasca de Eucalyptus globulus por hectárea aplicando la fracción de follaje reportada en la literatura

Muestra	%C	Carbono almacenado estimado (tC/ha)
Hojas 1	43.37	0.43
Hojas 2	41.11	0.43
Hojas 3	42.71	0.43
TOTAL	—	1.29 tC/ha

Nota. La Tabla 22 presenta la estimación del carbono acumulado en la hojarasca de *Eucalyptus globulus*, expresado en toneladas de carbono por hectárea (tC/ha), calculado a partir de la fracción de follaje reportada en la literatura para plantaciones de eucalipto, donde el componente foliar representa aproximadamente entre 4 y 5 % de la biomasa aérea total. Considerando el carbono estimado en la biomasa aérea y aplicando dicha proporción, se determinó el carbono correspondiente al follaje mediante la relación $C_{hojarasca} = C_{aéreo} \times f_{follaje}$, obteniéndose un valor estimado de 0.43 tC/ha por muestra y un total acumulado de 1.29 tC/ha para el componente evaluado. Aunque el porcentaje de carbono (%C) determinado en laboratorio mostró valores elevados (entre 41.11 % y 43.37 %), la estimación por hectárea se fundamenta en la fracción estructural del follaje dentro de la biomasa aérea, lo que permite una aproximación coherente con modelos alométricos utilizados en estudios forestales.

4.2. CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS Y PRUEBA DE HIPÓTESIS

- H0: La reforestación con *Eucalyptus globulus* en el Cerro Pergaypata – Ambo – Huánuco, 2025 no genera una correcta captura y almacenamiento de carbono en la raíz, tronco y hojarasca.
- H1: La reforestación con *Eucalyptus globulus* en el Cerro Pergaypata – Ambo – Huánuco, 2025 genera una correcta captura y almacenamiento de carbono en la raíz, tronco y hojarasca.

Tabla 23

Prueba de normalidad de Shapiro–Wilk aplicada al carbono orgánico almacenado en los diferentes componentes de la biomasa

Componente	n	Estadístico W	gl	Sig. (p-valor)
Tronco	2	0.997	2	0.912
Raíces	3	0.963	3	0.634
Hojarasca	3	0.971	3	0.702

Nota. La Tabla 23 indica que los valores de significancia para tronco, raíces y hojarasca son mayores a 0.05, lo que evidencia que los datos de carbono almacenado siguen una distribución aproximadamente normal. Esto valida el uso de pruebas paramétricas para el análisis inferencial posterior.

Tabla 24

Resultados del ANOVA de un factor para la comparación del carbono orgánico almacenado entre componentes de la biomasa de Eucalyptus globulus

Fuente de variación	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	p-valor
Entre grupos	1452.64	2	726.32a	96.74	< 0.001
Dentro de grupos	37.53	5	7.51		
Total	1490.17	7			

Nota. La Tabla 24 muestra que, el análisis de varianza de un factor (ANOVA) evidenció diferencias estadísticamente significativas en el carbono almacenado (g/100 g de muestra) entre los tres componentes evaluados: tronco, raíces y hojarasca (F = 96.74; p < 0.001). Dado que el valor de significancia es menor que el nivel establecido ($\alpha = 0.05$), se rechaza la hipótesis nula de igualdad de medias, concluyéndose que al menos uno de los componentes presenta un contenido de carbono significativamente diferente.

Tabla 25

Comparaciones múltiples mediante prueba de Tukey del carbono orgánico almacenado entre los componentes de la biomasa de Eucalyptus globulus

Comparación	Diferencia de medias	p-valor	Resultado
Tronco vs Raíces	5.40	0.087	No significativa
Tronco vs Hojarasca	24.37	< 0.001	Significativa
Raíces vs Hojarasca	29.77	< 0.001	Significativa

Nota. La tabla 25. La prueba de comparaciones múltiples de Tukey permitió identificar específicamente entre qué grupos se presentan las diferencias detectadas por el ANOVA. Los resultados mostraron que la hojarasca posee un contenido de carbono significativamente mayor que el tronco y las raíces (p < 0.001 en ambos casos), confirmando que este componente concentra la mayor cantidad de carbono por unidad de masa. En contraste, no se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre el tronco y las raíces (p = 0.087), lo que indica que, aunque el tronco presenta una media superior, la diferencia no es suficientemente grande para considerarse estadísticamente distinta al nivel de significancia establecido.

CAPÍTULO V

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Los resultados del presente estudio evidencian que la reforestación con *Eucalyptus globulus* contribuye de manera significativa a la captura y almacenamiento de carbono orgánico en sus diferentes componentes estructurales, expresados como gramos de carbono por cada 100 g de muestra. La hojarasca presentó la mayor concentración de carbono, seguida del tronco y, en menor proporción, de la biomasa radicular, lo que demuestra una diferenciación funcional clara en el almacenamiento del carbono dentro del sistema forestal. Este patrón concuerda con lo reportado por Ochoa (2023), quien señala que, aunque el tallo concentra la mayor proporción del carbono total a escala de hectárea, las hojas y la hojarasca presentan altas concentraciones de carbono por unidad de masa, desempeñando un rol clave como reservorio transitorio y como vía de incorporación de carbono al suelo. De manera similar, Espejo (2024) destaca que la necro masa y los componentes foliares representan una fracción fundamental en el flujo de carbono hacia el suelo, aun cuando su contribución porcentual a la biomasa total sea menor que la del tronco.

Asimismo, los resultados obtenidos para la biomasa radicular refuerzan lo señalado por Mora y Martínez (2024), quienes demostraron que el carbono asociado a los compartimentos subterráneos presenta mayor variabilidad y depende estrechamente de las condiciones edáficas, la densidad aparente y la profundidad del suelo. En este sentido, aunque las raíces mostraron una menor concentración de carbono por unidad de masa en comparación con la hojarasca y el tronco.

Los resultados también muestran que el tronco de *Eucalyptus globulus* almacena en promedio 14.45 g de carbono por cada 100 g de muestra, evidenciando una elevada concentración de carbono orgánico asociada al tejido leñoso. Este hallazgo es coherente con lo reportado por Ochoa (2023), quien determinó que el tallo constituye el principal reservorio de carbono dentro de la planta, tanto en bosques plantados como nativos de *Caesalpinia*

spinosa, concentrando más del 60 % del carbono total en biomasa aérea. De manera similar, Hurtado (2023) señala que el componente leñoso de los árboles urbanos es el que mayor carbono almacena, debido a su mayor densidad estructural y menor tasa de recambio. Aunque los valores del presente estudio se expresan en gramos por 100 g de muestra y no en toneladas por hectárea, la tendencia observada confirma que el tronco cumple un rol fundamental como reservorio estructural de carbono, concordante con los antecedentes nacionales y locales.

La biomasa radicular presentó un almacenamiento promedio de 9.05 g de carbono por cada 100 g de muestra, valor inferior al del tronco, pero con mayor variabilidad entre muestras, lo que refleja su naturaleza más dinámica y su interacción directa con el suelo. Estos resultados concuerdan con lo reportado por Mora y Martínez (2024), quienes encontraron que el carbono asociado al suelo y a las fracciones subterráneas presenta una mayor variabilidad espacial y depende fuertemente de la densidad aparente y la profundidad de muestreo. Asimismo, Jurado et al. (2020) destacan que el carbono subterráneo, aunque menor en concentración que el aéreo, cumple un rol clave en la estabilidad del carbono del ecosistema, especialmente en sistemas productivos andinos donde las condiciones edáficas influyen significativamente en la retención de carbono. En este contexto, los resultados del presente estudio refuerzan la importancia de las raíces como un compartimento esencial del carbono activo del sistema suelo-planta.

La hojarasca presentó el mayor almacenamiento de carbono orgánico, con un promedio de 38.82 g por cada 100 g de muestra, evidenciando una alta concentración de compuestos carbonados. Este resultado es consistente con lo reportado por Ochoa (2023), quien encontró que, aunque las hojas representan un porcentaje menor del carbono total a escala de hectárea, presentan una elevada concentración de carbono por unidad de masa, actuando como un reservorio transitorio antes de su incorporación al suelo. De manera complementaria, Espejo (2024) señala que la necro masa y la hojarasca contribuyen significativamente al flujo de carbono hacia el suelo, especialmente en ecosistemas forestales y reforestados. La elevada relación

C/N observada en la hojarasca del presente estudio respalda estos antecedentes, indicando una descomposición lenta que favorece la acumulación temporal de carbono superficial

CONCLUSIONES

- En conjunto, los resultados permiten concluir que la reforestación con *Eucalyptus globulus* contribuye de manera significativa a la captura y almacenamiento de carbono orgánico, el cual se distribuye de forma diferenciada entre los componentes evaluados. La hojarasca concentra la mayor cantidad de carbono por unidad de masa, seguida del tronco como reservorio estructural estable y, finalmente, las raíces como compartimento dinámico asociado al suelo. Esta distribución funcional evidencia la capacidad del sistema reforestado para almacenar carbono en distintos niveles del ecosistema, reforzando su importancia como sumidero de carbono orgánico.
- El tronco de *Eucalyptus globulus* presenta una elevada y homogénea concentración de carbono orgánico, con un promedio de 14.45 g por cada 100 g de muestra, lo que confirma su función como principal reservorio estructural de carbono dentro de la biomasa aérea. La baja variabilidad entre muestras evidencia una composición estable del tejido leñoso, favoreciendo el almacenamiento de carbono a mediano y largo plazo en el sistema reforestado.
- La biomasa radicular almacenó en promedio 9.05 g de carbono por cada 100 g de muestra, mostrando una concentración menor que la del tronco y la hojarasca, pero con mayor variabilidad. Esto indica que las raíces constituyen un compartimento de carbono más dinámico, estrechamente influenciado por las condiciones del suelo, y cumplen un rol fundamental en la transferencia y estabilización del carbono orgánico dentro del sistema suelo.
- La hojarasca presentó la mayor concentración de carbono orgánico, con un promedio de 38.82 g por cada 100 g de muestra, evidenciando una alta acumulación de compuestos carbonados por unidad de masa. Este resultado confirma que la hojarasca actúa como un reservorio superficial clave de carbono, con un rol determinante en la incorporación progresiva del carbono orgánico al suelo forestal.

RECOMENDACIONES

- Se sugiere elaborar estudios en el mismo campo de estudio, pero con otras especies de árboles para identificar las posibles variaciones en la captación y almacenamiento de Carbono, para así identificar que especie arbórea tiene la mayor capacidad de captación y almacenamiento de carbono.
- Considerar el siguiente estudio a nivel local, regional y nacional para reforestar suelos degradados o contaminados con el Eucalipto para así compensar al menos el daño ocasionado con la captura y el almacenamiento de Carbono de la Atmósfera.
- Realizar investigaciones similares de captura y almacenamiento de carbono del Eucalipto, con el propósito de desempeñar un papel importante para el tratamiento de suelos degradados y difundir los datos obtenidos para mejorar así nuestro conocimiento y solucionar problemas futuros.
- Se sugiere realizar más pruebas adicionales a nivel laboratorio sobre la captura y almacenamiento de carbono, con la finalidad de obtener más detalles de estudio, como también datos con mayor exactitud.
- Se recomienda hacer sus propias herramientas de trabajo para sacar el corcho del árbol, ya que el barreno de pressler es muy difícil de conseguir y su precio es tan alto que muchos no podrán adquirirlo. Por ello, la mejor opción de bajo costo y de fácil adquisición, recomiendo utilizar dos tubos de agua de acero, un tubo de $\frac{1}{2}$ y un tubo de $\frac{1}{4}$, soldarlo ambos y afilar la punta y con ello obtendrás una herramienta para sacar el corcho del árbol.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abril-Herrera, D. A.-D.-R. (23 de 03 de 2023). Almacenamiento de carbono en suelos bajo pasturas de sistemas productivos lecheros altoandinos. Obtenido de Revista Scielo de la facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia, 79(3), 0120-2952.: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-29522023000300005
- Arevalo, L., Alegre, J., & Lapeyre, T. (2004). Determinación de las reservas de carbono de la biomasa aérea, en diferentes sistemas de uso de la. Redalyc, 1726-2216. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/341/34130206.pdf>
- Ballón, C. (2023). Estudio de la dinámica y almacenamiento de carbono en los bosques pantanosos en los ríos Ucayali, Marañón y Tigre en la región Loreto. Obtenido de [Tesis de Título, Universidad Nacional Agraria la Molina]: <http://45.231.83.156/bitstream/handle/20.500.12996/6292/ballon-falcon-cecilia-lesly.pdf?sequence=5&isAllowed=y>
- Bashi, B. (2023). Estimación de la captura y almacenamiento de carbono en bosques reforestados de aliso (*Alnus acuminata*) de 6,7 y 8 años de edad en la localidad de Monte Potrero – Pachitea – Huánuco. Obtenido de [Tesis de Título, Universidad de Huánuco]: <https://repositorio.udh.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14257/4641/Bashi%20Espinoza%2c%20Brannndon%20Leonardo.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Benjamín, J., & Maserá, O. (2001). Captura de carbono ante el cambio climático. Obtenido de Redalyc: <https://www.redalyc.org/pdf/617/61770102.pdf>
- Carrasco, R. y. (2021). Plan de reforestación con *Pinus patula* (Pino pátula) para mejorar la calidad de vida poblacional en el caserío de Rodeopampa, Huarmaca, 2021. Obtenido de (Tesis para optar el título

profesional de Ingeniero ambiental) Universidad César Vallejo:
https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/86778/Carrasco_RRY-Gomez_FEY-SD.pdf?sequence=1

Chalco, S., Arroyo, E., & Aquije, O. y. (Mayo de 2024). Impactos Ambientales y Socioeconómicos de la Deforestación: Una Revisión Sistemática. Obtenido de Universidad Tecnológica del Perú.:
https://www.researchgate.net/publication/380356364_Impactos_Ambientales_y_Socioeconomicos_de_la_Deforestacion_Una_Revision_Sistemica

Clemente, E. (Julio de 2021). Captura de carbono en sistemas agroforestales en el Perú. Obtenido de INIA:
https://repositorio.inia.gob.pe/bitstream/20.500.12955/2050/1/Clemente_2021_Carbono_Agroforestal.pdf

Dilas, J., Ortecho, R., & Alvarez, A. (Octubre de 2020). Captura de Carbono: Un enfoque sobre el cambio climático y los servicios ecosistémicos en el Perú . Obtenido de Revista de Investigación Científica y Tecnológica Ipha Centauri:
https://www.researchgate.net/publication/346483474_Captura_de_Carbono_Un_enfoque_sobre_el_cambio_climatico_y_los_servicios_ecosistemicos_en_el_Peru

Espejo, D. (2024). "Captura de carbono de tres especies de bambú nativo en ecosistemas de San Martín y Ucayali". Obtenido de [Tesis de Maestría, Universidad Nacional Agraria la Molina]:
<https://repositorio.lamolina.edu.pe/server/api/core/bitstreams/41201663-681a-46e4-b53f-c0acad29d61f/content>

Espíndola, C., & Valderrama, J. (2012). Huella del Carbono. Parte 1: Conceptos, Métodos de Estimación y Complejidades Metodológicas. Obtenido de Scielo: <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642012000100017>

Europeo, P. (23 de marzo de 2023). Cambio climático: gases de efecto

invernadero que causa el calentamiento global. Obtenido de <https://www.europarl.europa.eu/topics/es/article/20230316STO77629/cambio-climatico-gases-de-efecto-invernadero-que-causan-el-calentamiento-global>

Genaro, G. y Martin, R. (2013). Manual para tomar virutas de madera con el barreno de Pressler en el Inventario Nacional Forestal y de Suelos. Instituto de Biología, Universidad Autónoma de México (UNAM), 15-24.

Global Forest Resources Assessments [FAO]. (12 de ABRIL de 2015). FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. Obtenido de FAO: <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/29b8ae23-99f9-4a05-b796-9a35d02af29d/content>

Gobierno de Mexico. (25 de Agosto de 2022). ¿Habías escuchado del muestreo de suelos? Obtenido de Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural : <https://www.gob.mx/agricultura/articulos/habias-escuchado-del-muestreo-de-suelos>

Gobierno Regional Huánuco [GOREHCO]. (2020). Memorandum de entendimiento. Obtenido de The climate group: <https://www.theclimategroup.org/sites/default/files/2020-10/Huanuco-Appendix-Spanish.pdf>

Hernandez Sampieri, R., Fernandez Collado, C., & Baptista Lucio, M. (2014). Metodología de la investigación. Obtenido de <https://www.esup.edu.pe/wp-content/uploads/2020/12/2.%20Hernandez,%20Fernandez%20y%20Baptista-Metodolog%C3%ADa%20Investigacion%20Cientifica%206ta%20ed.pdf>

Hernández, H. A. (2021). Almacenamiento de carbono en sistemas agroforestales en los Llanos Orientales de Colombia. Obtenido de Revista de Biología Tropical, 69(1)0034-7744:

https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-77442021000100352

Hurtado, A. (s.f.). Almacenamiento de carbono de árboles urbanos y el crecimiento poblacional de la ciudad de Huánuco. Obtenido de [Tesis de Título, Universidad de Huánuco]:
file:///C:/Users/Royer%20Michael/Downloads/TS_AJHP_2023.pdf

Infoagronomo. (2 de Mayo de 2018). Propiedades del suelo: físicas, químicas y biológicas. Obtenido de infoagronomo.net:
<https://infoagronomo.net/propiedades-del-suelo-fisicas-quimicas-biologicas/>

Jurado, M. O. (2020). Evaluación de la captura de carbono en sistemas productivos de café (*Coffea arabica* L.), Consacá, Nariño, Colombia. Obtenido de Revista Laguna Azul, 51(9), 1909-2474:
<https://www.redalyc.org/journal/3217/321770011009/321770011009.pdf>

kioto, p. d. (1997). PROTOCOLO DE KYOTO DE LA CONVENCION MARCO DE LAS NACIONES UNIDAS SOBRE EL CAMBIO CLIMATICO. Obtenido de <https://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpspan.pdf>

Lahoz, E. (22 de Mayo de 2024). ¿Qué son recursos naturales? Definición, tipos y ejemplos. Obtenido de NATURALEZA:
<https://dkv.es/corporativo/blog-360/medioambiente/naturaleza/recursos-naturales#:~:text=Los%20recursos%20naturales%20son%20elementos,sobreconsumo%20puede%20terminar%20por%20agotarlos.>

Ley N. 30754 (2019). Ley Marco Sobre el Cambio Climático y su Reglamento. Obtenido de Decreto Supremo N° 013-2019-MINAM (Ministerio del Ambiente).:
https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/1230066/200812_Ley_Marco_sobre_Cambio_Clim%C3%A1tico.pdf

Lifeder. (s.f.). Eucalyptus globulus. Obtenido de lifeder.com:

<https://www.lifeder.com/eucalyptus-globulus/>

Meteoblue. (s.f.). Datos climáticos y meteorológicos históricos simulados para Ambo. Obtenido de meteoblue.com: https://www.meteoblue.com/es/tiempo/historyclimate/climatemodelled/ambo_per%C3%BA_3947956

Ministerio del Ambiente [MINAM]. (2013). cambio climatico y desarrollo sostenible en el Perú. Obtenido de minam.gob.pe: <https://www.minam.gob.pe/cambioclimatico/wp-content/uploads/sites/11/2013/10/CDAM0000323.pdf>

Ministerio del Ambiente [MINAM] (2015). Mapa Nacional de Cobertura Vegetal. Obtenido de Memoria Descriptiva. Primera edición, diciembre de 2015. Lima, Perú.: <https://repositoriodigital.minam.gob.pe/handle/123456789/178>

Ministerio del Ambiente [MINAM]. (1 de abril de 2016). El Perú y el cambio climático – Tercera comunicación nacional del Perú. Obtenido de Ministerio del ambiente: <https://www.gob.pe/institucion/minam/informes-publicaciones/2653-el-peru-y-el-cambio-climatico-tercera-comunicacion-nacional-del-peru>

NATIONAL GEOGRAPHIC. (11 de Agosto de 2024). ¿Cuáles son los principales tipos de contaminación ambiental? Obtenido de Conoce las diferentes fuentes de contaminación, sus causas y consecuencias: <https://www.nationalgeographicla.com/medio-ambiente/2022/08/cuales-son-los-principales-tipos-de-contaminacion-ambiental>

Ochoa, J. (2023). Almacenamiento del carbono de la especie forestal no maderable tara (*Caesalpinia spinosa* (mol) o.k.) en bosques naturales y plantados en la provincia de Ambo – Huánuco. Obtenido de [Tesis de Maestría, Universidad de Huánuco]: <https://repositorio.unas.edu.pe/server/api/core/bitstreams/2dfe876c-2edb-41ec-b2bd-b782e4bd5053/content>

Páez, C. (2014). ESTIMACIÓN DE BIOMASA FORESTAL Y CAPACIDAD DE CAPTURA DE CARBONO DE LAS ESPECIES FORESTALES *Weinmannia tomentosa* y *Myrcianthes* sp. RESERVA FORESTAL PROTECTORA EL MALMO (VEREDA BARÓN GERMANIA - TUNJA - BOYACÁ). Obtenido de Repositorio UNAD: <https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/8636/1049604432.pdf?sequence=3#page=14&zoom=100,109,868>

PennState Extension. (6 de Enero de 2023). Introducción a los Suelos: La Calidad de los Suelos. Obtenido de <https://extension.psu.edu/introduccion-a-los-suelos-la-calidad-de-los-suelos>

Picard, S.-A. U. (2012). Manual de construcción de ecuaciones alométricas para estimar el volumen y la biomasa de los árboles: trabajo de campo a la predicción. Obtenido de Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura y el Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement, Rome, Montpellier. CIRAD y FAO, 2012.: <https://www.fao.org/4/i3058s/i3058s.pdf>

Picard, Saint-André, Henry & UR1138 BEF. (12 de Mayo de 2012). Excavaciones grasa. Obtenido de QuEs La Edafología Y La Importancia De Los Factores Edáficos Del Suelo En La Construcción: <https://excavacionesgrasa.com/>

Portal fruticola. (01 de Diciembre de 2016). Calicatas, toma de muestras, y descripción de suelos. Obtenido de Agrotecnia: <https://www.portalfruticola.com/noticias/2016/12/01/calicatas-toma-de-muestras-y-descripcion-de-suelos/>

Portillo, G. (16 de Junio de 2023). Ecología Verde. Obtenido de Horizontes del suelo: estructura y factores: <https://www.ecologiaverde.com/horizontes-del-suelo-estructura-y-factores-4453.html>

- Quispe, J. C., Rosado Chavez, C. A., Ponce Quispe, L., Guevara Mamani, M., Quispe Mamani, G. R., & Enriquez Tavera, M. T. (2024). Análisis de emisiones de CO₂ en Perú a través de componentes principales y clasificación jerárquica.
- Renobales, G., & Sallés, J. (2001). *Eucalyptus globulus*: morfología y ecología. Obtenido de Plantas de interés farmacéutico.: <https://www.ehu.eus/documents/1686888/3913390/26.+Eucalyptus+globulus.pdf>
- Ricardo, O. (2009). Guía Práctica para la medición de la Captura de Carbono en la Biomasa Forestal. Revista de Forestal, Guácima, Limón, CR – 2009. Obtenido de Universidad EARTH, Unidad de Carbono Neutro.: <https://es.scribd.com/doc/86508392/29369907-Guia-Practica-de-Medicion-de-Carbono-en-La-Biomasa-Forestal>
- Riveros, L. (2023). Efecto de la profundidad y distanciamiento de siembra en el crecimiento inicial y captura de carbono de una plantación de *Calycophyllum spruceanum* (capirona). Obtenido de [Tesis de Título, Universidad Nacional de Ucayali]: <https://repositorio.unu.edu.pe/items/8e3c110e-d4c9-4367-93fa-bc566526be45>
- Romo, M. (Setiembre de 2017). Reforestación y restauración para contribuir a reducir el cambio climático. Obtenido de United States Agency for International Development (USAID): https://www.researchgate.net/publication/335569465_Reforestacion_y_restauracion_para_contribuir_a_reducir_el_cambio_climatico
- Rügnitz, C. y. (2009). Guía para la Determinación de Carbono en pequeñas propiedades rurales. Manual Técnico, Primera Edición. Lima, Perú. Obtenido de Centro Mundial Agroforestal (ICRAF), Consorcio Iniciativa Amazónica (IA).2009.79p.: <https://www.cifor-icraf.org/publications/downloads/Publications/PDFS/B16293.pdf>
- Santelices, R. (Diciembre de 2005). Desarrollo de una plantación de

Eucalyptus globulus establecida en primavera con diferentes tratamientos de riego. Obtenido de Scielo: <http://dx.doi.org/10.4067/S0717-92002005000300012>

Therany, G. O. (2014). Manual de Monitoreo de Carbono. Obtenido de Revista publicada en Mayo de 2014 por WWF (World Wildlife Fund).: https://wwflac.awsassets.panda.org/downloads/guia_de_carbono_final.pdf

Torres, M. (2018). EFECTO DE UN BOSQUE REFORESTADO CON EUCALIPTO-MAESTRIA EN MEDIO AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE. Obtenido de UNIVERSIDAD NACIONAL HERMILIO VALDIZÁN ESCUELA POST GRADO: <https://repositorio.unheval.edu.pe/bitstream/handle/20.500.13080/3837/PGA%2000066%20T75.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

UNLP, E. U. (s.f.). El suelo: Un Universo Invisible. Obtenido de UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PLATA: <https://unlp.edu.ar/wp-content/uploads/98/27598/3f23fc987dbbda82587753c9796000a.pdf>

Vargas, A., & Yáñez, A. (Enero de 2004). La captura de carbono en bosques: ¿una herramienta para la gestión ambiental? Obtenido de Redalyc: <https://www.redalyc.org/pdf/539/53907001.pdf>

Vergara, W. (2013). El desafío climático y de desarrollo en América Latina y el Caribe: Opciones para un desarrollo resiliente al clima y bajo. Obtenido de <https://publications.iadb.org/es/publicacion/16324/el-desafio-climatico-y-de-desarrollo-en-america-latina-y-el-caribe-opciones-para>

Verhulst, N., François, I., & Govaerts, B. (s.f.). Agricultura de conservación y captura de carbono en el suelo: Entre el mito y la realidad del agricultor. Obtenido de MasAgro-Modernización Sustentable de la Agricultura Tradicional: <https://repository.cimmyt.org/server/api/core/bitstreams/3a7817a9-ba9c-4514-ae80-9d9c4b9d8852/content>

Zacarías, H., & Supo, J. (2020). Metodología de la Investigación Científica: Para Las Ciencias de la Salud y Las Ciencias Sociales. Perú: Amazon Digital Services LLC. Obtenido de https://books.google.com.pe/books/about/Metodolog%C3%8Da_de_la_Investigaci%C3%93n_Cient.html?id=WruXzQEACAAJ&redir_esc=y

COMO CITAR ESTE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

Cóndor Shicshi, N. (2026). *Estimación de la captura y almacenamiento de carbono en suelos reforestados con Eucalyptus globulus en el Cerro Pergaypata – Ambo – Huánuco, 2025* [Tesis de pregrado, Universidad de Huánuco]. Repositorio Institucional UDH. <http://...>

ANEXOS

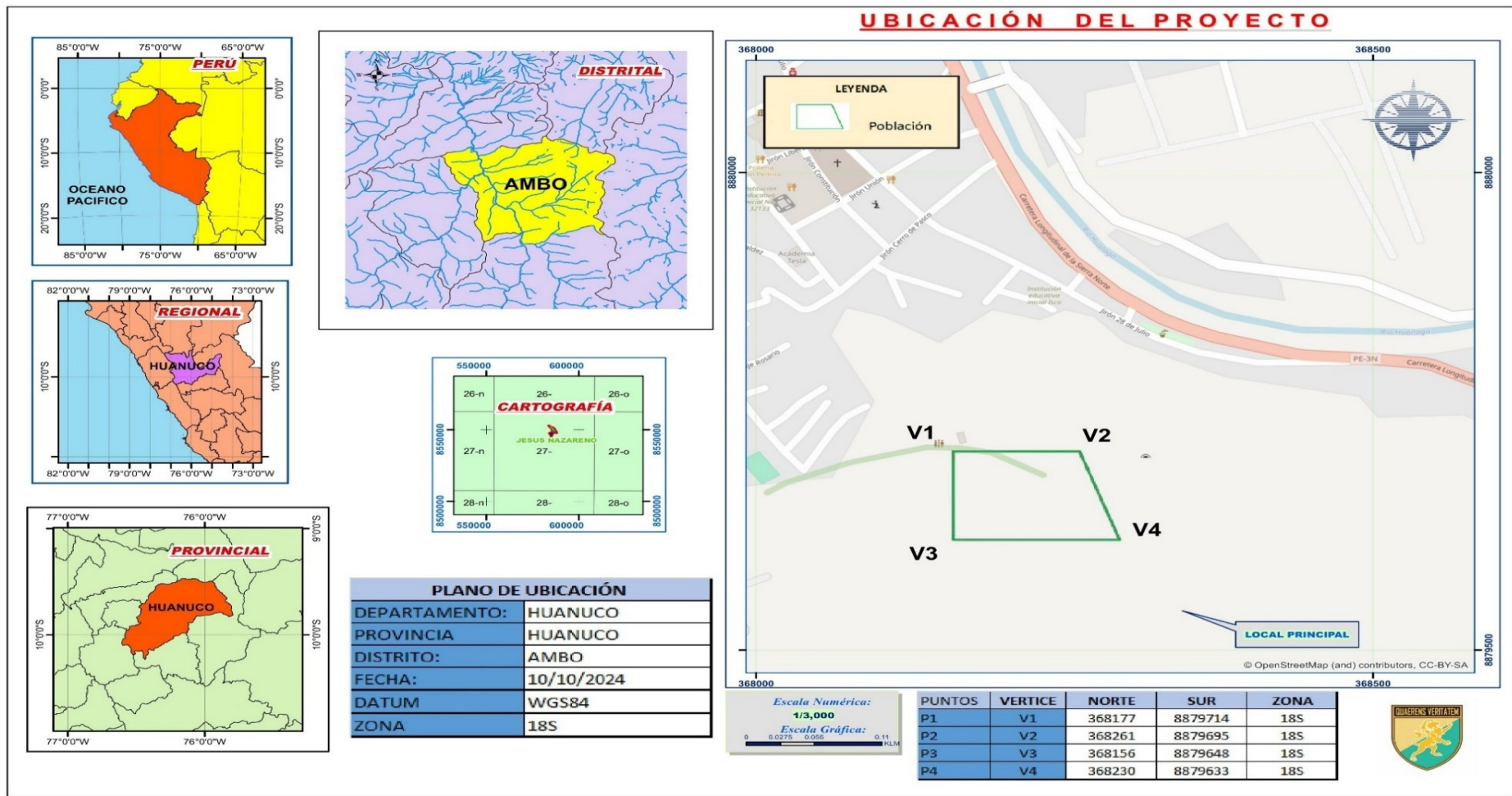
ANEXO 1

MATRIZ DE CONSISTENCIA

Problema General	Objetivo General	Hipótesis	Variable/ indicadores	Metodología
¿Cuál es la cantidad de carbono en la captura y almacenamiento de suelos reforestados con <i>Eucalyptus globulus</i> en el Cerro Pergaypata – Ambo – Huánuco, 2025?	Estimar la captura y almacenamiento de carbono en suelos reforestados con <i>Eucalyptus globulus</i> en el Cerro Pergaypata – Ambo – Huánuco, 2025.	Hipótesis	VARIABLE DE ESTUDIO: Captura y almacenamiento de carbono orgánico en suelos reforestados con <i>Eucalyptus globulus</i> .	Tipo Según la planificación de las mediciones. Prospectivo Según el número de variables analíticas. Descriptiva Según el número de mediciones de la variable de estudio. Transversal Según la intervención del investigador. Sin intervención
Problema Específico	Objetivo Específico			
Problema Específico ¿Cuál es la cantidad de carbono orgánico en la captura y almacenamiento del tronco a gradientes radiales en plantaciones de <i>Eucalyptus globulus</i> en el Cerro Pergaypata – Ambo – Huánuco, 2025?	Determinar la cantidad de captura y almacenamiento de carbono orgánico en el tronco a gradientes radiales en plantaciones de <i>Eucalyptus globulus</i> en el Cerro Pergaypata – Ambo – Huánuco, 2025.	H1: La reforestación con <i>Eucalyptus globulus</i> en el Cerro Pergaypata – Ambo – Huánuco, 2025 genera una correcta captura y almacenamiento de carbono en la raíz, tronco y hojarasca.	Dimensión: Captura y almacenamiento de carbono orgánico en el Tallo principal. Indicador: Materia orgánica Densidad aparente Dimensión: Captura y almacenamiento de carbono orgánico en la biomasa radicular. Indicador: Fresco Seco Dimensión: Captura y almacenamiento de carbono orgánico en la biomasa de la hojarasca. Indicador Fresco Seco	Enfoque: Cuantitativo Nivel Descriptivo Diseño Observacional prospectivo X ₁ :----- O ₁ X ₂ :----- O ₁ X ₃ :----- O ₁ Población: La población de este trabajo será toda
¿Cuál es la cantidad de carbono orgánico en la captura y almacenamiento de la biomasa radicular a diferentes profundidades en plantaciones <i>Eucalyptus globulus</i> en el Cerro	Determinar la cantidad de captura y almacenamiento de carbono orgánico en la biomasa radicular a diferentes profundidades en plantaciones de <i>Eucalyptus globulus</i> en el Cerro	H0: La reforestación con <i>Eucalyptus globulus</i> en el Cerro Pergaypata – Ambo – Huánuco, 2025 no genera una correcta captura y almacenamiento de carbono en la raíz, tronco y hojarasca.		

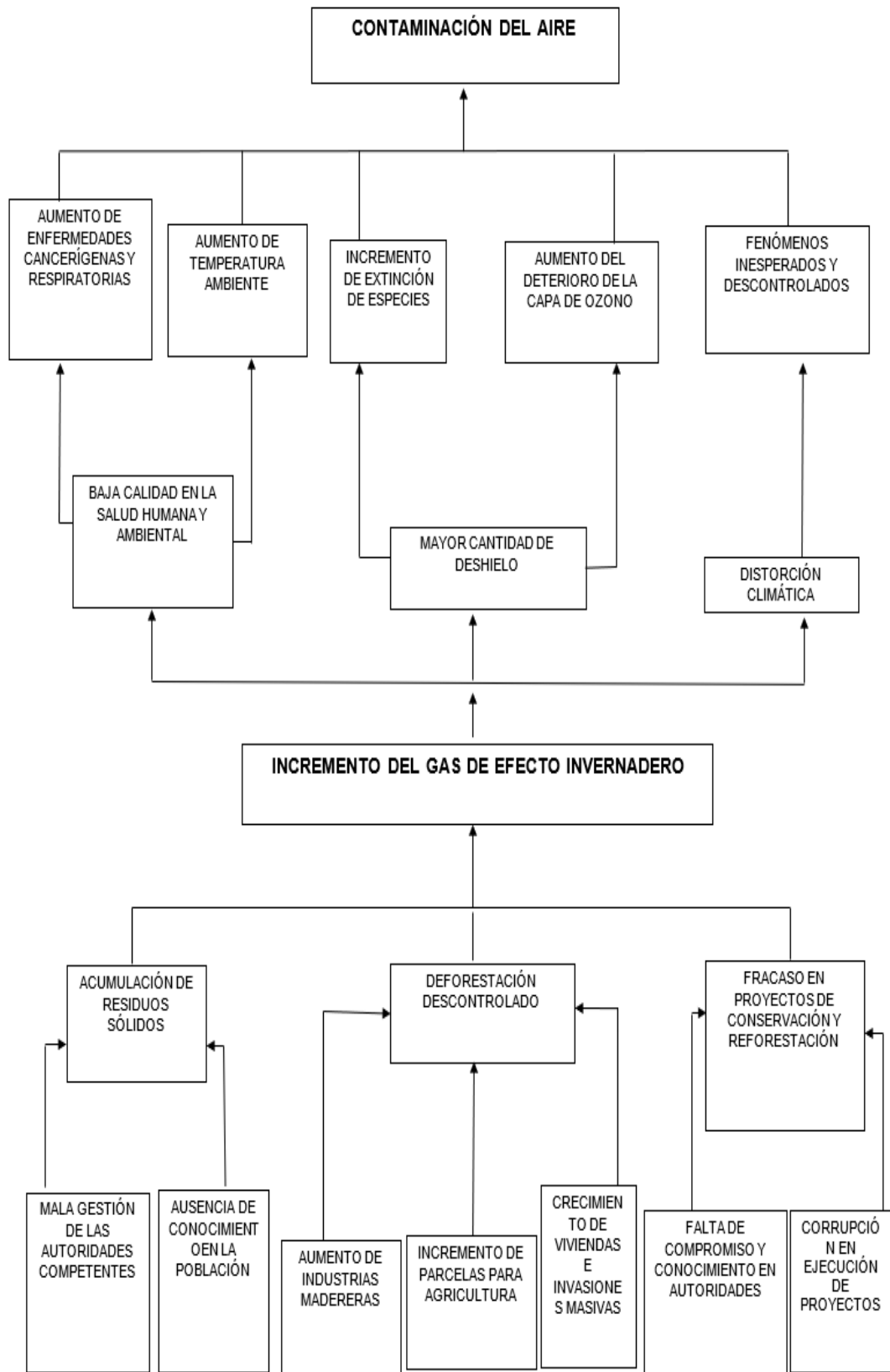
<p>Pergaypata – Ambo – Huánuco, 2025?</p> <p>¿Cuál es la cantidad de carbono en la captura y almacenamiento de la biomasa de la hojarasca en plantaciones de <i>Eucalyptus globulus</i> en el Cerro Pergaypata – Ambo – Huánuco, 2025?</p>	<p>Pergaypata – Ambo – Huánuco, 2025.</p> <p>Determinar la cantidad de captura y almacenamiento de carbono orgánico en la biomasa de la hojarasca en plantaciones de <i>Eucalyptus globulus</i> en el Cerro Pergaypata – Ambo – Huánuco, 2025.</p>	<p>VARIABLE CARACTERIZACIÓN: reforestados con <i>Eucalyptus globulus</i>.</p> <p>Dimensión: Factores climáticos</p> <p>Indicador: Temperatura Precipitación</p> <p>Dimensión: Condiciones edáficas</p> <p>Indicador: p H Humedad Textura</p> <p>Dimensión: Extensión de terreno</p> <p>Indicador: Mapa del área</p>	<p>DE Suelos <i>Eucalyptus</i></p>	<p>el área reforestada con <i>Eucalyptus globulus</i> en el cerro Pergaypata con un total de 1Ha.</p> <p>Muestra: En esta investigación no se hará uso de fórmulas de probabilidad y siguiendo la muestra de tipo no probabilística nuestra muestra será por conveniencia en parcelas reforestadas de 400 m²</p>
--	--	--	--	--

ANEXO 2 PLANO DE UBICACIÓN



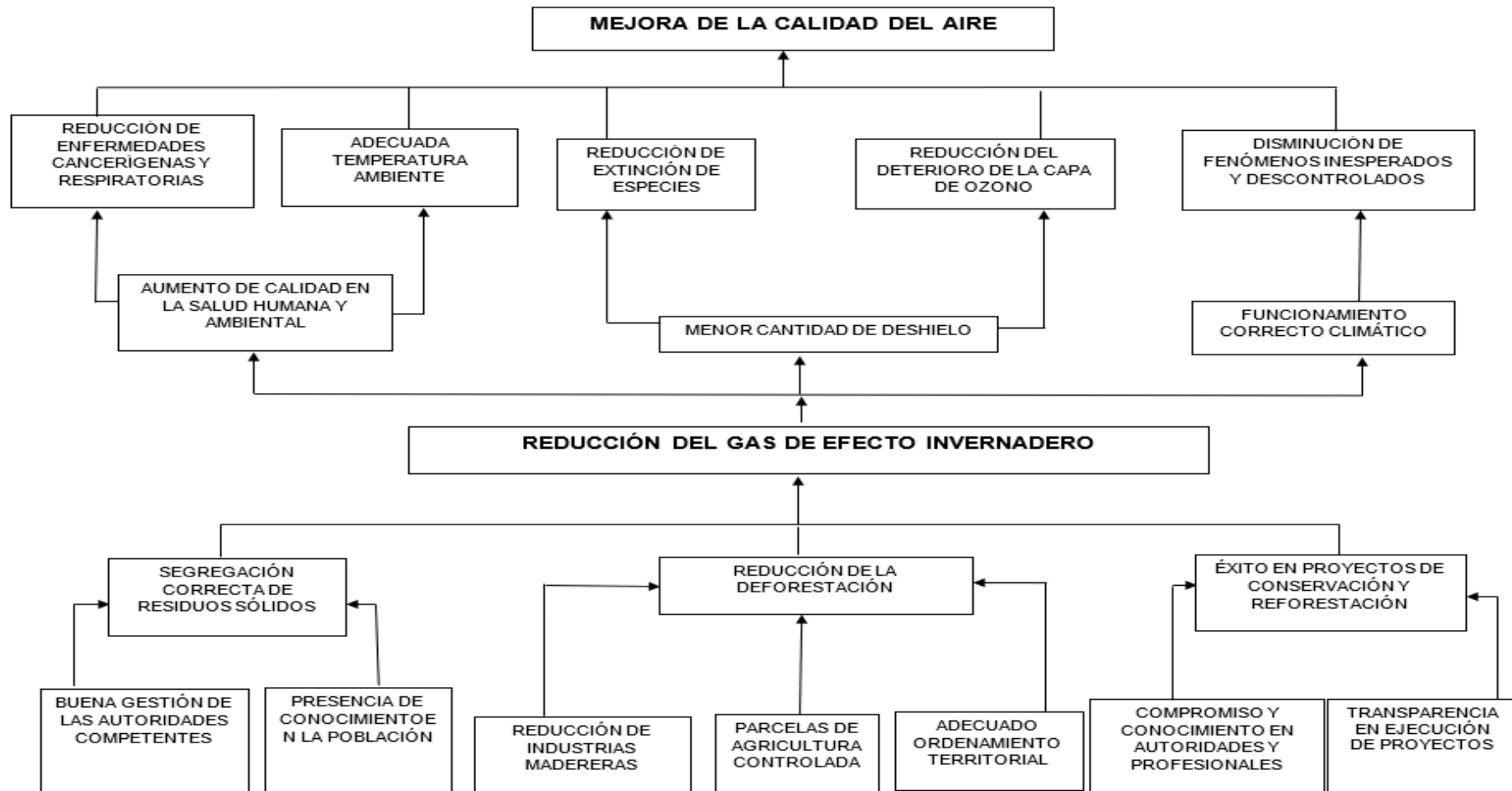
ANEXO 3

DIAGRAMA DE CAUSA Y EFECTO



ANEXO 4

DIAGRAMA DE MEDIOS Y FINES



ANEXO 5 RESULTADOS



ANÁLISIS ESPECIAL




1. DATOS

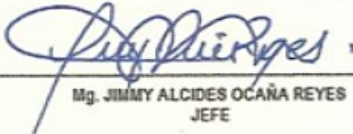
SOLICITANTE:	CONDOR SHICSHI NELSON JOSE	MUESTREADO POR:	EL SOLICITANTE
DEPARTAMENTO:	HUANUCO	FECHA DE REPORTE:	12/11/2025
PROVINCIA:	AMBO	RECIBO:	84585
DISTRITO:	AMBO	MUESTRA:	RAIZ DE EUCALIPTO
LOCALIDAD:	AMBO	REFERENCIA:	AMBO

2. RESULTADOS DEL ANÁLISIS SOLICITADO

DATOS DE LA MUESTRA		RESULTADOS EN BASE HUMEDA						RESULTADOS EN BASE SECA								
Código	Dato	Humedad Hd (%)	Materia Seca (%)	Materia Organica (%)	Cenizas (%)	N (%)	C/N	P ₂ O ₅ (%)	Ca (%)	Mg (%)	Na (%)	K (%)	Zn ppm	Fe ppm	Cu ppm	Mn ppm
E25-363	RAIZ 1	45.736	54.264	48.125	6.138	0.224	107.422	0.544	2.049	0.154	0.021	0.535	108.60	13.57	1.95	115.84
E25-364	RAIZ 2	63.713	36.287	32.642	3.645	0.168	97.149	0.225	1.663	0.178	0.024	0.398	123.47	362.47	1.74	172.60
E25-365	RAIZ 3	55.806	44.194	36.863	7.331	0.280	65.827	0.056	1.259	0.198	0.028	0.655	74.36	790.05	5.64	242.65

Los Resultados presentados son válidos únicamente para las muestras ensayadas. Queda prohibida la reproducción total o parcial de este informe sin la autorización escrita del LASAE.
Los Resultados no pueden ser usados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.


 UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
 TINGO MARÍA
 LABORATORIO DE ANÁLISIS DE SUELOS, AGUA Y ECOTOXICOLOGÍA


 Mg. JIMMY ALCIDES OCAÑA REYES
 JEFE





ANALISIS ESPECIAL



1. DATOS

SOLICITANTE:	CONDOR SHICSHI NELSON JOSE	MUESTREADO POR:	EL SOLICITANTE
DEPARTAMENTO:	HUANUCO	FECHA DE REPORTE:	12/11/2025
PROVINCIA:	AMBO	RECIBO:	84585
DISTRITO:	AMBO	MUESTRA:	HOJAS DE EUCALIPTO
LOCALIDAD:	AMBO	REFERENCIA:	AMBO


2. RESULTADOS DEL ANÁLISIS SOLICITADO

DATOS DE LA MUESTRA		RESULTADOS EN BASE HUMEDA						RESULTADOS EN BASE SECA								
Código	Dato	Humedad Hd (%)	Materia Seca (%)	Materia Organica (%)	Cenizas (%)	N (%)	C/N	P ₂ O ₅ (%)	Ca (%)	Mg (%)	Na (%)	K (%)	Zn ppm	Fe ppm	Cu ppm	Mn ppm
E25-366	HOJAS 1	8.325	91.675	86.742	4.933	0.168	258.160	0.099	1.163	0.157	0.021	0.396	35.65	81.70	1.84	990.13
E25-367	HOJAS 2	8.783	91.217	82.218	8.999	0.168	244.695	0.039	1.422	0.142	0.016	0.101	30.00	0.45	4.71	888.34
E25-368	HOJAS 3	8.143	91.857	85.411	6.446	0.112	381.299	0.088	1.394	0.138	0.025	0.612	23.90	32.02	2.94	931.14

Los Resultados presentados son válidos unicamente para las muestras ensayadas. Queda prohibida la reproducción total o parcial de este informe sin la autorización escrita del LASAE.

Los Resultados no pueden ser usados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

 UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
TINGO MARIA
LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, AGUA Y ECOTOXICOLOGIA


Mg. JIMMY ALCIDES OCAÑA REYES
JEFE





ANALISIS ESPECIAL



1. DATOS


SOLICITANTE:	CONDOR SHICSHI NELSON JOSE	MUESTREADO POR:	EL SOLICITANTE
DEPARTAMENTO:	HUANUCO	FECHA DE REPORTE:	12/11/2025
PROVINCIA:	AMBO	RECIBO:	84585
DISTRITO:	AMBO	MUESTRA:	TONCO DE EUCALIPTO
LOCALIDAD:	AMBO	REFERENCIA:	AMBO

2. RESULTADOS DEL ANÁLISIS SOLICITADO

DATOS DE LA MUESTRA		RESULTADOS EN BASE HUMEDA						RESULTADOS EN BASE SECA								
Código	Dato	Humedad Hd (%)	Materia Seca (%)	Materia Organica (%)	Cenizas (%)	N (%)	C/N	P ₂ O ₅ (%)	Ca (%)	Mg (%)	Na (%)	K (%)	Zn ppm	Fe ppm	Cu ppm	Mn ppm
E25-361	TRONCO 1	44.532	55.468	53.157	2.311	0.280	94.924	0.060	0.257	0.036	0.009	0.122	19.72	61.08	0.13	149.17
E25-362	TRONCO 2	45.188	54.812	51.695	3.117	0.168	153.854	0.071	0.325	0.043	0.011	0.201	116.45	65.64	2.18	87.20

Los Resultados presentados son válidos únicamente para las muestras ensayadas. Queda prohibida la reproducción total o parcial de este informe sin la autorización escrita del LASAE.

Los Resultados no pueden ser usados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

 UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
TINGO MARIA
LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, AGUA Y ECOTOXICOLOGIA


Mg. JIMMY ALCIDES OCAÑA REYES
JEFE



ANEXO 6

PANEL FOTOGRÁFICO DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

Fotografía:

Cerro Pergaypata – Provincia de Ambo, Huánuco. Área reforestada con Eucalipto donde se llevó a cabo el proyecto de investigación.



Fotografía:

Reconocimiento del área del proyecto y medición de las áreas respectivas para sacar las muestras, con la guía y supervisión del Jurado.



Fotografía:

Medición de las parcelas, para el muestreo del Proyecto con la supervisión del Jurado.



Fotografía:

Calicatas de 0 cm a 10 cm, de 10 cm a 20 cm y de 20 cm a 30 cm, para sacar muestras de Raíz.



Fotografía:

Recolección de las muestras de Raíz



Fotografía:

Recolección de las muestras de Raíz



Fotografía:

Herramienta utilizada para la recolección de muestras de Tronco



Fotografía:

Recolección de muestras de Tronco



Fotografía:

Recolección de muestras de Hojarasca




Fotografía:

Muestras de Raíz, Tronco y Hojarasca para su determinado análisis





ANEXO 7

FICHA DE CAMPO PARA DATOS DE CARBONO EN EL TRONCO Y DENSIDAD APARENTE

		<p>"Estimación de la captura y almacenamiento de carbono en suelos reforestados con Eucalyptus globulus en el Cerro Pergaypata – Ambo – Huánuco, 2025"</p>				
<p>FICHA DE CAMPO PARA DATOS DE CARBONO EN EL TRONCO Y DENSIDAD APARENTE</p>						
<p>INVESTIGADOR:</p>						
<p>FECHA:</p>						
PROFUNDIDADES	MUESTRA	VIRUTA FRESCA (gr)	VIRUTA SECA (gr)	PORCENTAJE DE CARBONO (%C)	CARBONO (tC/ha)	OBSERVACIONES
0 - 5 cm	M1					
	M2					
5 - 10 cm	M1					
	M2					
10 - 15 cm	M1					
	M2					
TOTAL						


ANEXO 8

FICHA DE CAMPO PARA DATOS DE CARBONO EN HOJARASCA


	<p>"Estimación de la captura y almacenamiento de carbono en suelos reforestados con <i>Eucalyptus globulus</i> en el Cerro Pergaypata – Ambo – Huánuco, 2025"</p>					
FICHA DE CAMPO PARA DATOS DE CARBONO EN HOJARASCA						
INVESTIGADOR:						
FECHA:						
PARCELA	MASA FRESCA (Gramos)	MASA SECO (Gramos)	MASA SECO (Kg)	PORCENTAJE DE CARBONO (%C)	CARBONO (tn/ha)	OBSERVACIONES
P1						
P2						
P3						
P4						
P5						
P6						
P7						
P8						
P9						
P10						
P11						
P12						
P13						
P14						
P15						
P16						
P17						
P18						
P19						
P20						
TOTAL						

ANEXO 9

FICHA DE CAMPO PARA DATOS DE CARBONO EN LA BIOMASA RADICULAR

		<p>"Estimación de la captura y almacenamiento de carbono en suelos reforestados con <i>Eucalyptus globulus</i> en el Cerro Pergaypata – Ambo – Huánuco, 2025"</p>				
FICHA DE CAMPO PARA DATOS DE CARBONO EN LA BIOMASA RADICULAR						
INVESTIGADOR:						
FECHA:						
PROFUNDIDADES	CALICATAS	RAÍZ FRESCA (gr)	RAÍZ SECA (gr)	PORCENTAJE DE CARBONO (%C)	CARBONO RADICULAR	OBSERVACIONES
0 - 10 cm	C1					
	C2					
10 - 20 cm	C1					
	C2					
20 - 30 cm	C1					
	C2					
TOTAL						

ANEXO 10
FICHA DE CAMPO

	<p>"Estimación de la captura y almacenamiento de carbono en suelos reforestados con Eucalyptus globulus en el Cerro Pergaypata – Ambo – Huánuco, 2025"</p>						
FICHA DE CAMPO							
INVESTIGADOR:							
FECHA:							
PUNTOS	FACTORES CLIMÁTICOS			CONDICIONES EDÁFICAS			OBSERVACIONES
	HUMEDAD (%)	TEMPERATURA (°C)	PRECIPITACIÓN (mm)	pH	HUMEDAD (%)	TEXTURA	
1							
2							
3							
4							
5							