



UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA
AMBIENTAL Y FORESTAL



**“CAPACIDAD DE CAPTURA DE DIÓXIDO DE CARBONO EN
PLANTACIONES DE *Eucalyptus globulus* Labill EN EL CENTRO
POBLADO DE CHOCCO - LAGUNA ARAPA”**

Bach. KEVIN ALBERT MAMANI MAMANI

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO AMBIENTAL Y FORESTAL**

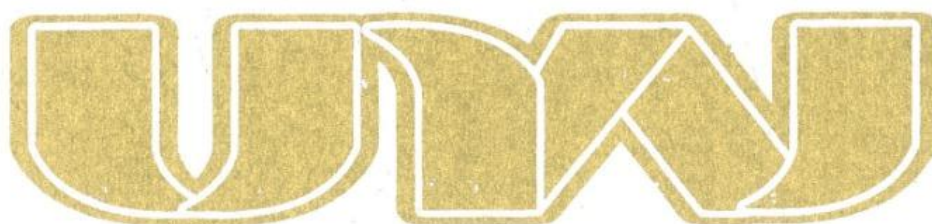
**ASESOR:
M.Sc. JAEL CALLA CALLA**



JULIACA - PERÚ
2025



UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA
AMBIENTAL Y FORESTAL



**“CAPACIDAD DE CAPTURA DE DIÓXIDO DE CARBONO EN
PLANTACIONES DE *Eucalyptus globulus* Labill EN EL CENTRO
POBLADO DE CHOCCO - LAGUNA ARAPA”**

Bach. KEVIN ALBERT MAMANI MAMANI

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO AMBIENTAL Y FORESTAL**

**ASESOR:
M.Sc. JAEL CALLA CALLA**



JULIACA - PERÚ
2025

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERIA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA AMBIENTAL Y
FORESTAL



**“CAPACIDAD DE CAPTURA DE DIÓXIDO DE CARBONO EN
PLANTACIONES DE *Eucalyptus globulus* Labill EN EL CENTRO
POBLADO DE CHOCCO - LAGUNA ARAPA”**

Bach. KEVIN ALBERT MAMANI MAMANI

TESIS PARA OBTENER EL TITULO DE

INGENIERO AMBIENTAL Y FORESTAL

ASESOR:

M.Sc. JAEL CALLA CALLA

JULIACA – 2025

FICHA CATALOGRÁFICA

Mamani, K. (2025). *Capacidad de captura de dióxido de carbono en plantaciones de Eucalyptus Globulus Labill en el centro poblado de Chocco – laguna Arapa* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de Juliaca.

Autor: Kevin Albert Mamani Mamani

Título: Capacidad de captura de dióxido de carbono en plantaciones de *Eucalyptus globulus* Labill en el centro poblado de Chocco - laguna Arapa

Publicación: Juliaca, 2025

Descripción: Cantidad de páginas (117 páginas)

Nota: Tesis - Escuela profesional de Ingeniería Ambiental y Forestal - Universidad Nacional de Juliaca

Código: 01-000066-01/M21

Nota: Incluye bibliografía

Asesor: M.Sc. Jael Calla Calla

Palabras clave: Biomasa, captura de CO₂, cambio climático, carbono orgánico en el suelo, *Eucalyptus globulus* Labill.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA
FACULTAD CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y
FORESTAL

**"CAPACIDAD DE CAPTURA DE DIÓXIDO DE CARBONO EN PLANTACIONES
DE *Eucalyptus globulus* Labill EN EL CENTRO POBLADO DE CHOCCO - LAGUNA
ARAPA"**

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO AMBIENTAL Y FORESTAL

Presentado por:

Bach. KEVIN ALBERT MAMANI MAMANI

Sustentado y aprobada ante el siguiente jurado:

Dr. Alejandro Félix Taquire Arroyo : -----
PRESIDENTE JURADO

Dra. Eliana Mullisaca Contreras : -----
JURADO (secretaria)

2° MIEMBRO

Mg. Cesar Enrique Yupanqui Bendita: -----
JURADO (Vocal)

3° MIEMBRO

M.Sc. JAEL CALLA CALLA

ASESOR

KEVIN ALBERT MAMANI MAMANI

**CAPACIDAD DE CAPTURA DE DIÓXIDO DE CARBONO EN
PLANTACIONES DE Eucalyptus globulus Labill EN EL CENTRO...**

 Universidad Nacional de Juliaca

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn.oid:3117.539468625

117 páginas

Fecha de entrega

11 dic 2025, 11:16 a.m. GMT-5

22.754 palabras

Fecha de descarga

11 dic 2025, 11:18 a.m. GMT-5

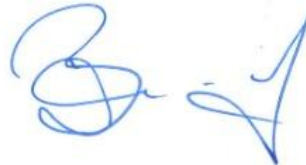
132.498 caracteres

Nombre del archivo

PROYECTO DE TESIS 36.pdf

Tamaño del archivo

4.2 MB






9% Similitud general

El total combinado de todos los coincidentes, incluidas las fuentes superpuestas, para la

Filtrado desde el informe

- ▶ Bibliografía
- ▶ Texto citado
- ▶ Texto mencionado
- ▶ Coincidencias menores (menos de 10 palabras)

Fuentes principales

- 8%  Fuentes de Internet
- 2%  Publicaciones
- 7%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

No se han detectado manipulaciones de texto sospechosas.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitan distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.



DEDICATORIA

A mi padre, Julio Raymundo Mamani Chahuara, por su compromiso y ejemplo de perseverancia, pilares fundamentales que me impulsaron a alcanzar mis metas académicas y profesionales.

En memoria de mi madre, Benigna Julia Mamani Chua, quien descansa en paz y, desde el cielo, me guía e ilumina para seguir el camino correcto con firmeza y convicción.

Con especial gratitud a mis hermanos, Elias, Javier y Yuri, por estar siempre pendientes de mí, por acompañarme con su apoyo y motivación en cada paso que doy.

En reconocimiento a mis docentes, compañeros y amigos que han sido parte fundamental de este proceso formativo. Agradezco sus consejos, su respaldo y las experiencias compartidas, que han contribuido significativamente a mi crecimiento personal y profesional.

AGRADECIMIENTO

A mi familia, por haber sido la base fundamental en mi formación personal y profesional. Gracias a sus enseñanzas, valores, ética y principios, hoy soy la persona que soy.

Extiendo mi reconocimiento al Ing. Jael Calla Calla por su orientación, apoyo constante y compromiso durante la elaboración de esta tesis.

Expreso mi profundo agradecimiento a los miembros del jurado de tesis: Dr. Alejandro Félix Taquire Arroyo, Dra. Eliana Mullisaca Contreras y M.Sc. Cesar Enrique Yupanqui Bendita, por el tiempo y la dedicación que brindaron a la revisión de este trabajo. Sus observaciones y aportes fueron fundamentales para enriquecer y mejorar esta investigación.

Mi agradecimiento a la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental y Forestal, por proporcionarme las bases académicas y prácticas que fortalecieron mis conocimientos y habilidades durante mi proceso de desarrollo profesional.

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTO	iii
INDICE GENERAL	iv
INDICE DE TABLAS	vii
INDICE DE FIGURAS.....	viii
INDICE DE ANEXOS	x
RESUMEN	11
ABSTRACT.....	12
INTRODUCCION	13

CAPITULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. El problema de investigación.....	14
1.2. La pregunta de investigación	16
1.2.1.Problema general	16
1.2.2.Problemas específicos	16
1.3. OBJETIVOS	16
1.3.1.Objetivo Principal.....	16
1.3.2.Objetivos Específicos	16
1.4. JUSTIFICACION	16
1.5. HIPÓTESIS.....	18
1.5.1.Hipótesis General	18
1.5.2.Hipótesis Específica	18

CAPITULO II

REVISION LITERARIA

2.1.	ANTECEDENTES	19
2.1.1.	A nivel Internacional	19
2.1.2.	A nivel nacional.....	21
2.1.3.	A nivel regional	22
2.2.	MARCO TEORICO.....	24
2.2.1.	El cambio climático.....	24
2.2.2.	Cambio climático en el Perú	25
2.2.3.	Los Gases de efecto invernadero	25
2.2.4.	Dióxido de carbono	26
2.2.5.	Ciclo del carbono.....	27
2.2.6.	Captura de carbono.....	29
2.2.7.	Carbono en el suelo	29
2.2.8.	Carbono en la biomasa aérea.....	29
2.2.9.	Fijación de carbono y almacenamiento de dióxido de carbono (CO ₂)	30
2.2.10.	Métodos de medición de carbono	30
2.2.11.	Medición del diámetro de árboles.....	31
2.2.12.	Factor de expansión de la Biomasa (FEB).....	32
2.2.13.	Biomasa.....	33
2.2.14.	Biomasa forestal.....	33
2.2.15.	Rodales forestales	33
2.2.16.	Plantaciones forestales	34
2.2.17.	Rol de las plantaciones forestales y el cambio climático.....	34
2.2.18.	Inventario forestal	34
2.2.19.	Método de Walkley & Black	35
2.2.20.	Eucalipto (<i>Eucalyptus globulus</i> Labill).	35

2.2.21. Taxonomía	36
2.2.22. Densidad de la madera	36
2.2.23. Peso específico de la madera	36

CAPITULO III

MATERIALES Y METODOS

3.1. Ámbito de estudio	38
3.2. Tipo y nivel de investigación	39
3.3. Población y muestra	39
3.3.1. Población	39
3.3.2. Muestra	39
3.4. Identificación de Variables	41
3.5. Materiales y equipos	41
3.5.1. Materiales	41
3.5.2. Equipos	42
3.5.3. Otros	42
3.6. Proceso para la recolección de datos:	42
3.7. Procedimiento metodológico	42
3.7.1. Determinar la capacidad de captura de carbono en la biomasa aérea de las plantaciones de <i>Eucalyptus globulus</i> Labill en el centro poblado de Chocco.....	42
3.7.2. Determinar la capacidad de captura de carbono almacenado en el suelo de las plantaciones de <i>Eucalyptus globulus</i> Labill en el centro poblado de Chocco.....	48
3.7.3. Estimar la cantidad total de carbono capturado en las plantaciones de <i>Eucalyptus globulus</i> Labill en el centro poblado de Chocco.	51
3.8. Análisis estadístico.....	51

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSION

4.1. Determinación de la capacidad de captura de carbono en la biomasa aérea de las plantaciones de <i>Eucalyptus globulus</i> en el centro poblado de Chocco.....	52
4.1.1.Peso específico básico de la madera de <i>Eucalyptus globulus</i>	52
4.1.2.Cantidad de biomasa aérea de los rodales de <i>Eucalyptus globulus</i>	53
4.1.3.Cantidad de carbono almacenado en la biomasa aérea de los rodales de <i>Eucalyptus globulus</i>	55
4.2. Determinación de la capacidad de captura de carbono almacenado en el suelo de las plantaciones de <i>Eucalyptus globulus</i> en el centro poblado de Chocco.....	58
4.2.1.Densidad aparente del suelo	58
4.2.2.Cantidad de carbono almacenado en el suelo de los rodales de <i>Eucalyptus globulus</i>	59
4.3. Estimación de la cantidad total de carbono almacenado en el suelo y en la biomasa aérea de las plantaciones de <i>Eucalyptus globulus</i> en el centro poblado de Chocco.....	61
4.4. Análisis descriptivo de los datos dasométricos y volumétricos	64
4.5. Análisis estadístico.....	66
4.5.1.Análisis T student para una muestra.....	66
4.5.2.Análisis de varianza (ANOVA/ Kruskal-Wallis).....	68
4.5.3.Gráfico de dispersión y análisis de correlación.....	69

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones	71
5.2. Recomendaciones	71
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	72
ANEXOS	87

INDICE DE TABLAS

	Pag.
Tabla 1 Principales gases responsables del efecto invernadero y sus respectivas fuentes de emisión.....	26
Tabla 2 <i>Descripcion taxonomia del Eucalyptus globulus Labill.</i>	36
Tabla 3 <i>Ubicación de los rodales seleccionados para el presente estudio</i>	40
Tabla 4 <i>Identificación de variables</i>	41
Tabla 5 <i>Peso especifico basico de la madera de Eucalyptus globulus evaluada por rodal</i> ...52	
Tabla 6 <i>Cantidad de biomasa.</i>	53
Tabla 7 <i>Cantidad de carbono almacenado en la biomasa aerea.</i>	56
Tabla 8 <i>Densidad aparente del suelo de Eucalyptus globulus por rodal</i>	58
Tabla 9 <i>Contenido de carbono almacenado en el suelo.</i>	59
Tabla 10 <i>Total de carbono alamacenado en la biomasa aerea y en el suelo</i>	62
Tabla 11 <i>Analisis descriptivo de los datos dasometricos.</i>	64
Tabla 12 <i>Prueba de normalidad</i>	66
Tabla 13 <i>Prueba T de una muestra aplicada ala biomasa aerea</i>	67
Tabla 14 <i>Prueba T de una muestra aplicada al carbono en el suelo</i>	67
Tabla 15 <i>Prueba T de una muestra aplicada al carbono total</i>	68
Tabla 16 <i>Resultados de las pruebas de Kruskal-Wallis</i>	69

INDICE DE FIGURAS

	Pag.
Figura 1. <i>Efecto invernadero.</i>	24
Figura 2. <i>Tendencia global de la emisiones de dióxido de carbono (CO₂) entre los años 1995 - 2024.</i>	27
Figura 3. <i>Ciclo del carbono</i>	28
Figura 4. <i>Instrumento de medición para estimar el diámetro normal:</i>	31
Figura 5. <i>Medicion de diametro normal en diferentes condiciones del árbol</i>	32
Figura 6. <i>Mapa de ubicación del lugar de estudio</i>	38
Figura 7. <i>Proceso de recoleccion de datos de la investigacion.</i>	42
Figura 8. <i>Medicion directa de la altura del árbol</i>	44
Figura 9. <i>Cantidad de biomasa aerea por parcela en (t)</i>	55
Figura 10. <i>Cantidad de carbono almacenado por parcela en (tC/ha)</i>	57
Figura 11. <i>Cantidad de carbono almacenado en el suelo por parcela en (tC/ha)</i>	61
Figura 12. <i>Cantidad de carbono almacenado en la biomasa aerea y el suelo en (tC/ha)</i>	64
Figura 13. <i>Grafico de dispersion entre biomasa aerea y carbono total</i>	70
Figura 14. <i>Rodales de Eucalyptus globulus Labill en el centro poblado de Chocco</i>	106
Figura 15. <i>Ubicación de los rodales</i>	106
Figura 16. <i>Delimitacion de las parcelas</i>	106
Figura 17. <i>Uso del hipsómetro</i>	107
Figura 18. <i>Medicion de la altura del arbol</i>	107
Figura 19. <i>Medida de altura para el DN (1.30m)</i>	107
Figura 20. <i>Medidad de altura para el DN</i>	107

Figura 21. <i>Uso de la forcipula</i>	108
Figura 22. <i>Medicion del DN</i>	108
Figura 23. <i>Medicion del diamentro normal</i>	108
Figura 24. <i>Uso del barreno de pressler</i>	108
Figura 25. <i>Extracción de muestras de madera</i>	109
Figura 26. <i>Cavado de suelo para recoleccion de muestras</i>	109
Figura 27. <i>Calicata de 20-30 cm de profundidad</i>	109
Figura 28. <i>Recoleccion de muestra de suelo</i>	109
Figura 29. <i>Embolsado de las muestras de suelo</i>	110
Figura 30. <i>Muestras de suelo para analisis en laboratorio</i>	110
Figura 31. <i>Pesado del cilindro vacio para calculo de densidad del suelo</i>	110
Figura 32. <i>Peso del cilindro mas la muestra de suelo</i>	110
Figura 33. <i>Muestras de suelo de las 5 plantaciones para la determinacion de densidad aparente del suelo</i>	111
Figura 34. <i>Muestras de suelo para calculo de densidad</i>	111
Figura 35. <i>Secado de las muestras en la estufa</i>	111
Figura 36. <i>Peso de los virutas de madera</i>	112
Figura 37. <i>Medicion del diametro de las virutas de madera</i>	112
Figura 38. <i>Secado de las muestras de madera en la estufa para el calculo del peso especifico basico de la madera</i>	112
Figura 39. <i>Pesado de las muestras de madera secado al horno para la determinacion del peso especifico basico de la madera</i>	113

INDICE DE ANEXOS

	Pag.
ANEXO 1. <i>Ubicación georrefenciada de las parcelas en el rodal 1 en el centro poblado de Chocco.</i>	88
ANEXO 2. <i>Ubicación georrefenciada de las parcelas en el rodal 2 del centro poblado de Chocco</i>	89
ANEXO 3. <i>Ubicación georreferenciada de las parcelas en el rodal 3 del centro poblado de Chocco</i>	90
ANEXO 4. <i>Ubicación georreferenciada de las parcelas en el rodal 4 del centro poblado de Chocco</i>	91
ANEXO 5. <i>Ubicación georreferenciada de las parcelas en el rodal 5 del centro poblado de Chocco</i>	92
ANEXO 6. <i>Informe de análisis del cálculo de carbono almacenado en el suelo emitido por el laboratorio de INIA - ILLPA.</i>	93
ANEXO 7. <i>Constancia de identificación de la especie en estudio.</i>	96
ANEXO 8. <i>Fichas de datos de campo</i>	97
ANEXO 9. <i>Datos dasométricos y volumen de la madera en los rodales evaluados.</i>	98
ANEXO 10. <i>Análisis descriptivo de los datos dasométricos en los rodales evaluados</i>	99
ANEXO 11. <i>Peso específico básico de la madera en los rodales evaluados.</i>	100
ANEXO 12. <i>Densidad aparente del suelo de Eucalyptus globulus Labill por rodal.</i>	104
ANEXO 13. <i>Contenido de materia orgánica, carbono orgánico total y carbono fijado en el suelo de los rodales evaluados</i>	105
ANEXO 14. <i>Panel fotográfico</i>	106

RESUMEN

El constante ascenso de las concentraciones de dióxido de carbono en la atmósfera se ha consolidado como uno de los principales factores que impulsan el cambio climático, motivo por el cual resulta fundamental evaluar los sumideros de carbono con el fin de determinar su eficacia en la retención y fijación de este gas. Bajo este contexto, el presente estudio se desarrolló en plantaciones de *Eucalyptus globulus* Labill de 40 años, ubicadas en el centro poblado de Chocco – laguna Arapa, estableciendo como objetivo en determinar su capacidad de captura de dióxido de carbono en dichas plantaciones. Se aplicó el método no destructivo (indirecto), conforme a los lineamientos establecidos por el Centro Internacional de Investigación Agroforestal. En función a ello, se realizó un inventario forestal e incorporando criterios metodológicos reportados en investigaciones previas. Por ende, se estableció 16 parcelas de 1000 m² (50 × 20 m). La población estuvo integrada por todos los individuos con un diámetro normal ≥ 10 cm, distribuidos en una superficie total de 16.46 ha. Asimismo, para estimar el carbono orgánico presente en el suelo se efectuó mediante la colecta de muestras a una profundidad de 30 cm, bajo los lineamientos de muestreo de suelos del Ministerio del Ambiente y aplicando la metodología de Walkley Black. Los resultados del estudio indican que la biomasa aérea almacenó 296.584 tC/ha, mientras que el suelo aportó 27.744 tC/ha, alcanzando un total de 324.328 tC/ha. En relación con la superficie total evaluada, resultó un total de 5318.98 tC, equivalente a 19520.65 tCO₂. En síntesis, la especie estudiada en el centro poblado de Chocco - laguna Arapa, aporta significativamente a contrarrestar los impactos del cambio climático.

Palabras clave: Biomasa, captura de CO₂, cambio climático, carbono orgánico en el suelo, *Eucalyptus globulus* Labill,

ABSTRACT

The steady rise in atmospheric carbon dioxide concentrations has become a major driver of climate change, making it crucial to assess carbon sinks to determine their effectiveness in retaining and sequestering this gas. In this context, the present study was conducted in 40-year-old *Eucalyptus globulus* Labill plantations located in the Chocco-Laguna Arapa area, aiming to determine their carbon dioxide sequestration capacity. A non-destructive (indirect) method was applied, following the guidelines established by the International Agroforestry Research Center (IARC). A forest inventory was carried out, incorporating methodological criteria reported in previous research. Sixteen 1000 m² (50 × 20 m) plots were established. The population consisted of all individuals with a diameter at breast height (DBH) ≥10 cm, distributed across a total area of 16.46 ha. Soil organic carbon was estimated by collecting samples at a depth of 30 cm, following the soil sampling guidelines of the Ministry of the Environment and applying the Walkley-Black methodology. The results of the study indicate that the aboveground biomass stored 296.584 tC/ha, while the soil contributed 27.744 tC/ha, for a total of 324.328 tC/ha. In relation to the total area evaluated, this resulted in a total of 5318.98 tC, equivalent to 19520.65 tCO₂. In summary, the species studied in the Chocco-Laguna Arapa area significantly contributes to mitigating the impacts of climate change.

Keywords: Biomass, CO₂ capture, climate change, soil organic carbon, *Eucalyptus globulus* Labill,

INTRODUCCION

Uno de los principales desafíos ambientales que enfrenta actualmente el planeta es el cambio climático, fenómeno estrechamente vinculado a las emisiones excesiva de dióxido de carbono (CO₂) generadas por las actividades humanas (Caja & Yalta, 2024). En este contexto global, diversas naciones, incluido el Perú, han adoptado políticas, normas y estrategias orientadas a la reducción de los efectos del cambio climático (Aguilar et al., 2020). Frente a esta situación, el secuestro de carbono se presenta como una alternativa de geoingeniería efectiva, capaz de almacenar dióxido de carbono (CO₂) a largo plazo, contribuyendo significativamente a mitigar el cambio climático (Silva, 2024). En consecuencia, las plantaciones forestales en particular adquieren un papel clave para hacerle frente al cambio climático, al desempeñar una función esencial en la captura y almacenamiento de dióxido de carbono (CO₂) (Requejo, 2024).

Con base a esta necesidad, diversas especies forestales han sido objeto de evaluación debido a su capacidad de capturar dióxido de carbono (CO₂). Entre ellas, el *Eucalyptus globulus* Labill sobresale por su rápido crecimiento y su capacidad de almacenar cantidades considerables de dióxido de carbono (CO₂) durante su desarrollo biológico. Vidal (2023), menciona que esta especie tiene un elevado potencial como sumidero, alcanzando valores de hasta 685.47 tCO₂/ha correspondiente a plantaciones maduras. Sin embargo, dicha capacidad varía en función a factores dasométricos y ambientales, tales como la edad del rodal, el manejo silvícola, la densidad de árboles, las condiciones climáticas y las características del sitio. Cabe señalar que su implementación puede conllevar a efectos adversos, entre ellos el alto consumo de agua y el deterioro de las propiedades físicas del suelo, lo que podría propiciar la erosión (Bernachea, 2019).

En consecuencia, se hace indispensable promover investigaciones que analicen las plantaciones de *Eucalyptus globulus* Labill como sumideros de carbono, a fin de evaluar su verdadera eficacia como mecanismo de mitigación frente al cambio climático (Alarcon & Apaza, 2023). Bajo esta premisa, la presente investigación se justifica porque aporta información cuantitativa y técnica. Por ello, la investigación tiene como objetivo determinar la capacidad de captura de dióxido de carbono en las plantaciones de *Eucalyptus globulus* Labill en el centro poblado de Chocco – laguna Arapa. En consecuencia, los resultados de esta investigación proporcionarán información útil para fortalecer las estrategias de manejo forestal en la región, asimismo de aportar evidencia empírica sobre el papel de las plantaciones de eucalipto como sumideros efectivos de carbono

CAPITULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. El problema de investigación

El cambio climático se origina como consecuencia directa del incremento en la concentración de gases de efecto invernadero (GEI), especialmente de dióxido de carbono (CO₂) (Forero et al., 2018). Generalmente causado por la actividad humana y resultando en efectos perjudiciales en el clima global (Gómez, 2018). Asimismo, la contaminación derivada por estos gases constituye una de las amenazas más preocupantes para el medio ambiente global, por su efecto adverso sobre la salud humana (Ruiz & Vichot, 2014). De acuerdo con Huaco (2020), la exposición prolongada a al aire contaminado, tanto en zonas urbanas como rurales, incrementan el riesgo de padecer múltiples enfermedades, como infecciones respiratorias agudas, como la neumonía, enfermedades crónicas y problemas cardiovasculares. Por lo tanto, la situación ambiental global actual, exige la implementación de estrategias efectivas para la reducción de gases de efecto invernadero (Yana, 2020). Bajo este enfoque, la captura de carbono mediante los ecosistemas forestales desempeñan un rol esencial en la captura y almacenamiento de carbono, gracias a la diversidad de especies que los componen, convirtiéndose en una de las acciones más efectivas para luchar contra el cambio climático (Yajahuanca, 2023).

De acuerdo con Najera & Soldevilla (2023), el Perú contribuyó al calentamiento global en 2020 con 44,479 Mt de emisiones de dióxido de carbono (CO₂). Sin embargo, a pesar de no ser un país emisor relevante, es uno de los más vulnerables frente a los efectos del cambio climático (Talenas & Helen, 2018). En este sentido, la captura y almacenamiento de carbono se plantea como una estrategia primordial para mitigar el cambio climático, siendo los ecosistemas forestales determinantes para este propósito, debido a su capacidad natural para absorber y almacenar carbono atmosférico (Padilla, 2019). En particular, dicha eficiencia se refleja en la biomasa aérea y suelo, de las cuales actúan como sumideros fundamentales de carbono (Chaparro, 2019). Bajo este contexto, a nivel nacional diversas instituciones han iniciado a cuantificar el carbono en diversas regiones. Sin embargo, estos intentos han sido inconsistentes, impidiendo hasta el momento la creación de un Inventario Nacional Forestal (INF) (Bravo, 2022). A pesar de ello, se han reportado que regiones como Madre de Dios, San Martín y Cusco

realizaron actividades coordinadas para recolectar datos de carbono local y registros forestal, evidenciando la eficacia de estos ecosistemas como sumideros naturales (Tello & Vargas, 2019). Por lo tanto, resulta prioritario extender estos esfuerzos a otras áreas menos estudiadas, como el altiplano puneño.

Según, el Gobierno Regional de Puno (2016), las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) alcanzaron 15.81 MtCO₂e, siendo la agricultura, el sector forestal y la energía las principales fuentes de emisión; con una tendencia creciente (Condori & Herrera, 2019). Sin embargo, en el caso particular del sector forestal, a pesar de ocupar el segundo lugar como emisor debido al uso inadecuado de este recurso, la región enfrenta una limitada cobertura de bosques altoandinos, lo que reduce los servicios ecosistémicos y disminuye la capacidad de captura de dióxido de carbono (CO₂) (Mollocondo, 2019). Este panorama, limita la posibilidad de establecer compromisos para disminuir dichas emisiones y complica un análisis adecuado de su función climática; por lo tanto, resulta indispensable llevar a cabo investigaciones que aporten información científica específica para la región (Maquera, 2017). En este contexto, las plantaciones de *Eucalyptus globulus* Labill han sido ampliamente utilizados por su rápido crecimiento y su capacidad de adaptación en zonas altoandinas (Vidal, 2023). Asimismo, estudios previos realizados en nuestra región, como el realizado en el Centro de Producción San Juan de Potojani, indican que las plantaciones de *Eucalyptus globulus* Labill son capaces de capturar hasta 430.04 tCO₂/ha (Mollocondo, 2019), lo que confirma su alta capacidad de captura de dióxido de carbono (CO₂).

No obstante, en el centro poblado de Chocco en las plantaciones de *Eucalyptus globulus* Labill, carecen de información local sobre su capacidad total de captura de dióxido de carbono (CO₂), lo que dificulta cuantificar su contribución real en la mitigación del cambio climático, lo que constituye un brecha técnica y científica significativa, que restringe a una adecuada planificación ambiental. Esta falta de información limita en establecer estrategias de gestión ambiental, programas de reforestación y políticas de mitigación climática adaptadas a la realidad regional.

1.2. La pregunta de investigación

1.2.1. Problema general

¿Cuál es la capacidad de captura de dióxido de carbono en plantaciones de *Eucalyptus globulus* Labill en el centro poblado de Chocco – laguna Arapa?

1.2.2. Problemas específicos

- ¿Cuál es la capacidad de captura de carbono en la biomasa aérea de las plantaciones de *Eucalyptus globulus* Labill en el centro poblado de Chocco?
- ¿Cuál es la capacidad de captura de carbono almacenado en el suelo de las plantaciones de *Eucalyptus globulus* Labill en el centro poblado de Chocco?
- ¿Cuánto será la cantidad total de carbono y dióxido de carbono capturado en las plantaciones de *Eucalyptus globulus* Labill en el centro poblado de Chocco?

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. Objetivo Principal

Determinar la capacidad de captura de dióxido de carbono en plantaciones de *Eucalyptus globulus* Labill en el centro poblado de Chocco - laguna Arapa.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Determinar la capacidad de captura de carbono en la biomasa aérea de las plantaciones de *Eucalyptus globulus* Labill en el centro poblado de Chocco.
- Determinar la capacidad de captura de carbono almacenado en el suelo de las plantaciones de *Eucalyptus globulus* Labill en el centro poblado de Chocco.
- Estimar la cantidad total de carbono y dióxido de carbono capturado en las plantaciones de *Eucalyptus globulus* Labill en el centro poblado de Chocco.

1.4. JUSTIFICACION

El incremento progresivo de dióxido de carbono (CO₂), representa uno de los desafíos ambientales más relevantes en la actualidad, dado su impacto directo frente al

calentamiento global. En este contexto, diversos estudios científicos mencionan que los ecosistemas forestales funcionan como depósitos naturales de carbono al almacenarlo en la biomasa aérea y el suelo, contribuyendo de manera significativa a los efectos del cambio climático (Bravo, 2022). Sin embargo, en zonas altoandinas, persiste una carencia de estudios específicos sobre la capacidad de captura de carbono en especies forestales, lo cual limita la formulación de estrategias basadas en evidencia científica (Tello & Vargas, 2019).

Desde el punto de vista ambiental, esta investigación resulta imprescindible, ya que permitirá cuantificar el secuestro de dióxido de carbono (CO₂) en plantaciones de *Eucalyptus globulus* Labill localizadas dentro del área de estudio, generando información científica clave para entender su función como sumidero de carbono. Según Yana (2020), menciona que esta especie desempeña un papel ecológico fundamental, al participar activamente en la captura y almacenamiento de dióxido de carbono (CO₂) atmosférico, lo que fortalece su importancia como elemento esencial en iniciativas de restauración y mitigación climática. En este sentido, el estudio no solo ofrece evidencia local para respaldar estrategias de adaptación frente al cambio climático, sino que también contribuye a la conservación ambiental.

En el aspecto tecnológico, se han desarrollado diversas alternativas, entre ellas la captura directa de aire (DAC). Sin embargo, presenta un elevado costo operativo y aun no se cuenta con una escala necesaria para lograr una captura significativa de dióxido de carbono (CO₂) (García, 2022). Asimismo, se han propuesto estrategias innovadoras, como la implementación de granjas flotantes de algas de gran extensión, que al aumentar su peso debido a la absorción de dióxido de carbono (CO₂), se hundirían en el fondo marino; asimismo, esta alternativa también resulta costosa y de efectos inciertos (Flores, 2017). En este contexto, la utilización de especies forestales surge como una opción más viable, con un alto potencial para contribuir a la mitigación del cambio climático (Yantas, 2022).

En el ámbito económico, los elevados costos y la complejidad operativa de las tecnologías de captura de carbono han conducido a buscar alternativas más accesibles y fáciles de implementar. En este sentido, las plantaciones forestales se presentan como una opción rentable, viable y óptima para la captura de dióxido de carbono (CO₂). Paralelamente, la implementación de incentivos económicos o mecanismos financieros

ambientales orientados a la protección de la biodiversidad ecosistémica constituye un mecanismo esencial para asegurar la preservación y sostenibilidad de estos sumideros (Aragón & Martínez, 2022).

Finalmente, en el aspecto social los principales beneficiarios de esta investigación serán tanto entidades públicas y privadas responsables de la administración ambiental y forestal, así como los profesionales del sector y a las comunidades locales, quienes dispondrán con criterios técnicos para el aprovechamiento sostenible de estas plantaciones. A nivel científico, el estudio servirá como referencia para futuras investigaciones enmarcadas a cuantificar la captura de dióxido de carbono (CO₂) en regiones similares. Asimismo, esta información contribuirá al fortalecimiento de un ambiente equilibrado, generando beneficios directos en la calidad de vida.

1.5. HIPÓTESIS

1.5.1. Hipótesis General

Las plantaciones de *Eucalyptus globulus* Labill en el centro poblado de Chocco – laguna Arapa presentan una capacidad de captura de dióxido de carbono inferior a 25 934 tCO₂.

1.5.2. Hipótesis Específica

- La capacidad de captura de carbono en la biomasa aérea de las plantaciones de *Eucalyptus globulus* Labill en el centro poblado de Chocco, varía entre 75 tC/ha y 150 tC/ha
- La capacidad de captura de carbono en el suelo en las plantaciones de *Eucalyptus globulus* Labill en el centro poblado de Chocco, oscila entre 20 tC/ha y 160 tC/ha.
- La integración de la biomasa aérea y el carbono almacenado en el suelo permite estimar la captura total carbono en las plantaciones de *Eucalyptus globulus* Labill en el centro poblado de Chocco se sitúa entre 250 tC/ha y 400 tC/ha.

CAPITULO II

REVISION DE LITERATURA

2.1. ANTECEDENTES

2.1.1. A nivel Internacional

Orellana & Landi (2023), en su trabajo de investigación realizado en la ribera del río Tarqui-Ecuador, estimaron la capacidad de fijación de carbono; el método que aplicaron fue no destructivo (indirecto) para lograr estimar la biomasa, logrando un resultado de 13.41 tC /árbol cuyo resultado es equivalente a 49.2 tCO₂/árbol correspondiente al *Eucalyptus globulus* Labill. Los investigadores resaltan a esta especie por su elevada capacidad de captura en contraste con otras especies forestales.

Cajilema & Fernández (2023), en su trabajo de investigación estimaron el potencial de la captura de carbono de la flora arbórea de la ribera del río Machangara, Ecuador. Identificándose 4 especies predominantes dentro de ellos se encuentra el *Eucalyptus globulus* Labill. Para el logro de su investigación, aplicaron el método no destructivo (indirecto). Los investigadores obtuvieron como resultados que el *Eucalyptus globulus* Labill con 14.83 tCO₂/individuo.

Olmedo et al. (2020), en su trabajo de investigación realizado en Chile, evaluó el contenido de carbono en plantaciones de *Eucalyptus globulus* Labill. Para ello, estimaron la cantidad de carbono almacenados tanto en la biomasa aérea como en el suelo. Los investigadores aplicaron el método no destructivo (indirecto), obteniendo como resultados que las plantaciones concentraron un total de 254.60 tC/ha, equivalentes a 934.40 tCO₂/ha. Los investigadores mencionan que la especie en estudio presenta una notable capacidad para actuar como sumidero de carbono, debido a su rápido crecimiento.

Mada et al. (2022), en su trabajo de investigación realizado en Etiopía, estimaron el potencial de captura de carbono de *Eucalyptus globulus* Labill. Los investigadores emplearon el método no destructivo (indirecto) estableciendo 32 parcelas distribuidas aleatoriamente, para determinar la biomasa aérea y el carbono almacenado. Los investigadores aplicaron ecuaciones alométricas. Logrando como resultados que el *Eucalyptus globulus* Labill almacenó un promedio de 35.6 tC/ha.

Quintela et al. (2024), en su trabajo de investigación realizado en Portugal, evaluaron la cantidad de carbono almacenado en el suelo en plantaciones de *Eucalyptus globulus* Labill. Los investigadores recolectaron muestras a una profundidad de 0-30 cm. Logrando como resultados un promedio general de 41.2 tC/ha. Los investigadores destacaron la influencia del clima, tipo de suelo y manejo forestal en la acumulación de carbono.

Nazir et al. (2025), en su trabajo de investigación realizado en el instituto forestal de Pakistán, evaluaron el secuestro de carbono en plantaciones mixtas, entre ellas el *Eucalyptus camaldulensis*, empleando el método no destructivo (indirecto) registrando mediciones del diámetro normal (DN) y altura, empleando ecuaciones alométricas para estimar la biomasa aérea. Los investigadores reportaron que *Eucalyptus camaldulensis* presentó el mayor potencial de secuestro de carbono con 1.02 tC/ha en comparación con las demás especies en estudio.

Moreno et al. (2024), en su trabajo de investigación realizado en Argentina, determinaron las propiedades físico – mecánicas de la madera de *Eucalyptus globulus* Labill. Los investigadores muestrearon un total de 23 árboles considerando la altura de cada individuo como indicador de su desarrollo estructural óptimo. Los resultados mostraron que el *Eucalyptus globulus* Labill presentó un peso específico básico con un promedio de 0.699 g/cm³. Asimismo, los investigadores destacaron que la edad y la calidad del sitio influyen positivamente en la proporción de duramen y la estabilidad dimensional de la madera.

Waktole et al. (2024), en su investigación realizada en dos plantaciones de *Eucalyptus globulus* Labill ubicadas en Etiopía. Determinaron el peso específico básico, mediante el método destructivo. Los investigadores talaron un total de 10 árboles por bosque, extrayéndose 12 discos por árbol desde la base hasta la copa, y se obtuvieron bloques de 2×2×3 cm desde la médula hasta la corteza para determinar las propiedades físico-mecánicas. Los resultados obtenidos fueron de 0.560 g/cm³ y 0.540 g/cm³ correspondiente a cada plantación.

Malizia et al. (2020), en su estudio sobre evaluación de carbono en ecosistemas forestales andinos, aplicó una metodología basada en el análisis estadístico descriptivo de variables estructurales del bosque. Aplicando el método no destructivo (indirecto) y

herramientas estadísticas para caracterizar la estructura forestal y estimar la capacidad de captura de carbono en bosques nativos.

Girma et al. (2023), en su estudio realizado en Etiopía, aplicó un diseño de muestreo de suelos a dos profundidades 10–20 cm y 0–10 cm, en zonas ocupadas por plantaciones de *Eucalyptus globulus* Labill y otros usos de la tierra. Los autores mencionan que el carbono orgánico del suelo fue más abundante en la capa superficial y se redujo en las capas más profundas, lo cual corroboró que la acumulación de carbono se concentró más en la capa superficial.

2.1.2. A nivel nacional

Vidal (2023), evaluó el secuestro de dióxido de carbono (CO₂) en plantaciones *Eucalyptus globulus* Labill localizadas en el distrito de Jircán, correspondiente a la provincia de Huamalíes, en la región de Huánuco. El investigador empleó la metodología no destructiva (indirecto) mediante ecuaciones alométricas específicas para estimar la biomasa forestal. El investigador registró valores del diámetro normal (DN) y estimó la biomasa, para así determinar el carbono y finalmente el dióxido de carbono (CO₂). Obteniendo como resultado un total de 685.47 tCO₂/ha.

Yantas (2022), en su investigación, estimó la captura de dióxido de carbono (CO₂) en plantaciones de *Eucalyptus globulus* Labill ubicadas en la provincia de Huariaca, departamento de Pasco, el investigador considero las condiciones topográficas y la presencia de reforestaciones con eucalipto influyen en la dinámica del carbono. Para ello, el investigador aplicó el método no destructivo (indirecto) en parcelas de 2500 m², donde el investigador registro medidas del diámetro y la altura total del árbol. Los resultados mostraron que *Eucalyptus globulus* Labill registró una captura de 526.64 tCO₂/ha.

Cárdenas (2022), en su investigación, estimó el potencial de captura de carbono en una plantación de *Eucalyptus globulus* Labill en el centro poblado de uñas, provincia de Huancayo, departamento de Junín, en una plantación de 51.362 ha. Para ello, el investigador estableció nueve parcelas de 100 m², usando el método no destructivo (indirecto) la población estuvo compuesta por todos los individuos con diámetro normal (DN) ≥10. Registrando como resultados: Biomasa aérea almacenó 151.29 t/ha y capturó en total 277.62 tCO₂/ha, y respecto al suelo almacenó 44.45 tC/ha y retuvo 163.14

tCO₂/ha, alcanzando en conjunto 25933,799 tCO₂. El investigador destacó la notable capacidad de almacenamiento que presenta esta especie.

Ventocilla (2022), determinó la captura de dióxido de carbono (CO₂) en plantaciones de *Eucalyptus globulus* Labill en cinco bosques de la comunidad campesina de Antay, distrito de Cajatambo, siguiendo la Guía del Centro Mundial de Agroforestería ICRAF (2009). En cada bosque el investigador estableció un punto de muestreo de 225 m², evaluando 8 árboles al azar y analizando la biomasa aérea, hojarasca y suelo mediante métodos no destructivos (indirecto). Para el suelo, el investigador recolectó muestras a 20 cm de profundidad. Los resultados mostraron que la biomasa aérea capturó 33490.25 tCO₂ y el suelo 1726.45 tCO₂, sumando un total de 35364.10 tCO₂ capturado en los cinco bosques.

Alzamora (2020), determinó el potencial de la captura de carbono de las plantaciones mixtas ubicadas en Sihuas, departamento de Ancash, plantación mixta conformada por *Eucalyptus globulus* Labill. El investigador aplicó la metodología semi- destructivo, estratificando el terreno según los tipos de plantación con apoyo del análisis de imágenes satelitales procesadas mediante software especializados, obteniendo como resultados que la captura de carbono para el *Eucalyptus glóbulus* Labill fue de 359.75 tC/ha. El investigador evidenció que el *Eucalyptus globulus* Labill tiene un potencial más del doble en comparación con otra especie forestal (*Pinus radiata*).

2.1.3. A nivel regional

Mollocondo (2019), estimó la captura de dióxido de carbono (CO₂) en plantaciones forestales de *Eucalyptus globulus* Labill y otras especies en el Centro de Producción San Juan de Potojani, departamento de Puno. El investigador estableció como muestra un área de 2500 m² por especie, y aplicó el método no destructivo (indirecto), utilizando una forcípula para registrar el diámetro normal (DN) ≥ 10 cm mediante el uso de una forcípula y con un clinómetro la altura total por árbol, posteriormente el investigador sometió los datos a ecuaciones exponenciales para así determinar la captura de dióxido de carbono (CO₂). Los resultados mostraron que el *Eucalyptus globulus* Labill alanzo 430.04 tCO₂/ha y 117.28 tC/ha, el investigador destacó que los árboles de mayor diámetro acumulan más biomasa y por ende una captura más elevada de dióxido de carbono (CO₂). De esta manera, el investigador concluye la especie demostró un

desempeño sobresaliente como sumidero de carbono atmosférico en regiones altoandinas.

Zavala (2022), en su trabajo de investigación determinó la captura de dióxido de carbono (CO₂) en especies forestales establecidas en el boulevard de la avenida Los Próceres y La Cultura de la provincia de Azángaro, Puno. Para ello, realizó un censo forestal y evaluó tanto la biomasa aérea como el carbono orgánico presente en el suelo de estos sistemas forestales. El investigador realizó el recojo de las muestras de suelo en forma de zigzag, y el análisis de carbono fue evaluado siguiendo el método analítico de Walkley y Black. El estudio evidenció que el suelo almacenó un total de 27,395.7 kg equivalente a 27.4 tC/ha de carbono orgánico.

Hanco (2018), estimó la captura de carbono en los suelos reforestados con *Eucalyptus globulus* Labill en comparación de suelos con pasturas, en el distrito de Huancane, el investigador primeramente estratificó el terreno y tomó diez muestras representativas, cinco de cada estrato, la toma de muestras fue de 40 x 40 cm a dos profundidades de 20 cm y 40cm, y con su posterior análisis de laboratorio con los métodos: Walkey y Black; tomando en cuenta los siguientes parámetros: pH, Conductividad eléctrica, Carbono orgánico, Materia orgánica y densidad aparente; el investigador obtuvo como resultados que la cantidad de carbono total en los suelos reforestados con *Eucalyptus globulus* Labill fue de 37.21 tC/ha.

2.2. MARCO TEORICO

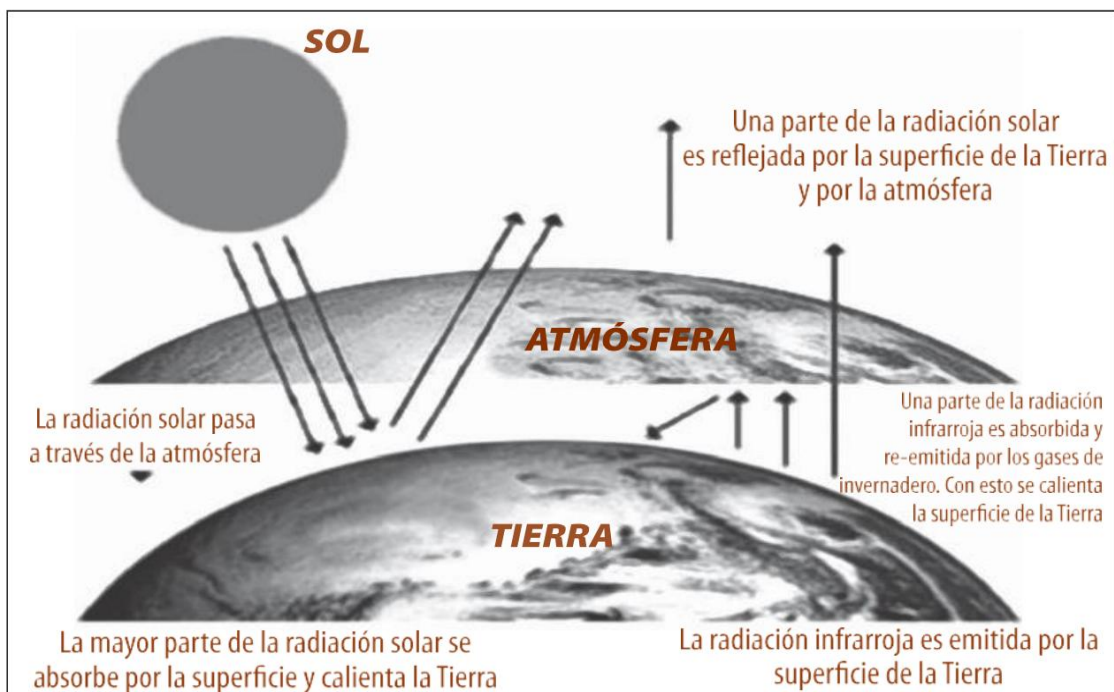
2.2.1. El cambio climático

La definición de cambio climático según Yana (2020) es resultado de desequilibrios en los indicadores climáticos como la temperatura, originados por la interacción entre océanos, continentes y actividades humanas que inciden directa o indirectamente en el medio ambiente. Asimismo Fawzy et al. (2020), menciona que las actividades humanas vinculadas con la producción energética, la industria, la silvicultura y los cambios en el uso de la tierra, han incrementado aproximadamente de 1.0 °C en la temperatura global y se estima que este incremento podría alcanzar los 1.5 °C entre 2030 y 2052.

En este marco, la figura 1 describe el efecto invernadero, en el cual la radiación del sol penetra la atmósfera y eleva la temperatura de la superficie terrestre, una fracción de esta energía retorna al espacio mientras que la mayor proporción es absorbida por la tierra. Posteriormente, la superficie terrestre emite radiación infrarroja, parte de la cual es atrapada por los gases de efecto invernadero, proceso que permite mantener una temperatura adecuada del planeta (Bernachea, 2019).

Figura 1.

El efecto invernadero.



Nota. Representación del efecto invernadero. Adaptado de Bernachea (2019).

2.2.2. Cambio climático en el Perú

El Perú presenta una elevada susceptibilidad frente al cambio climático, derivada de su geografía, amplia diversidad de ecosistemas y su variabilidad climática. Este fenómeno afecta múltiples sectores como energía, industria, transporte y producción, especialmente la pesca y agricultura. Estos dos últimos son las más expuestas a los efectos del cambio climático, afectando directamente a la seguridad alimentaria y resultando en consecuencias adversas para las poblaciones vulnerables que dependen de estas actividades. Los principales impactos del cambio climático en el país incluyen el retroceso de los glaciares, el incremento e intensidad del fenómeno de El Niño y el aumento del nivel del mar (Tafur et al., 2024).

De acuerdo con el MINAM (2015), señala que el cambio climático está produciendo transformaciones evidentes en sistemas naturales del país, así como la reducción de agua disponible para consumo y agricultura. Estos cambios se acompañan de una mayor intensidad y frecuencia de eventos extremos, como lluvias intensas y sequías prolongadas, dichos procesos reflejan una alteración estructural del equilibrio climático ambiental con implicancias directas sobre la biodiversidad y gestión ambiental.

2.2.3. Los Gases de efecto invernadero

Dichos gases contribuyen a mantener estable la temperatura terrestre. Sin embargo cuando sus concentraciones se elevan alteran el equilibrio climático global (Arias, 2020). Entre ellos, el dióxido de carbono (CO_2) representa el principal responsable de este fenómeno, debido a las emisiones derivadas de la quema de combustibles fósiles, la tala de bosques y otras actividades del sector industrial (Soeder, 2021). Asimismo, su permanencia prolongada de este gas en la atmósfera potencia los efectos del cambio climático (Flores, 2017). Del mismo modo, juntos al dióxido de carbono (CO_2) están otros gases relevantes como como: el metano (CH_4), el óxido nitroso (N_2O), los hidrofluorocarbonos (HFC), Perfluorocarbonos (PFC) y el hexafluoruro de azufre (SF_6) (Ore, 2020). La tabla 1 resume las principales fuentes emisoras de cada uno de ellas.

Tabla 1

Principales gases responsables del efecto invernadero y sus respectivas fuentes de emisión.

GEI	Fuente de emisión
Dióxido de carbono (CO ₂)	Es emitido principalmente por la quema de combustibles fósiles, ciertos procesos industriales y alteraciones de la cobertura vegetal.
Metano (CH ₄)	Se emite en actividades como la acumulación de residuos en rellenos sanitarios, la ganadería intensiva y la explotación de gas y petróleo.
Óxido nitroso (N ₂ O)	Se produce en la fabricación de fertilizantes y en la quema de fuentes energéticas de origen fósil.
Hidrofluorocarbonos (HFC)	Se generan en procesos industriales y se utilizan en refrigeración y aire acondicionado.
Perfluorocarbonos (PFC)	Fueron creados como alternativa a gases que dañaban la capa de ozono y hoy se emiten en diversas actividades productivas.

Nota. Información de los gases de efecto invernadero. Adaptado de Soeder (2021) y Flores (2017).

2.2.4. Dióxido de carbono

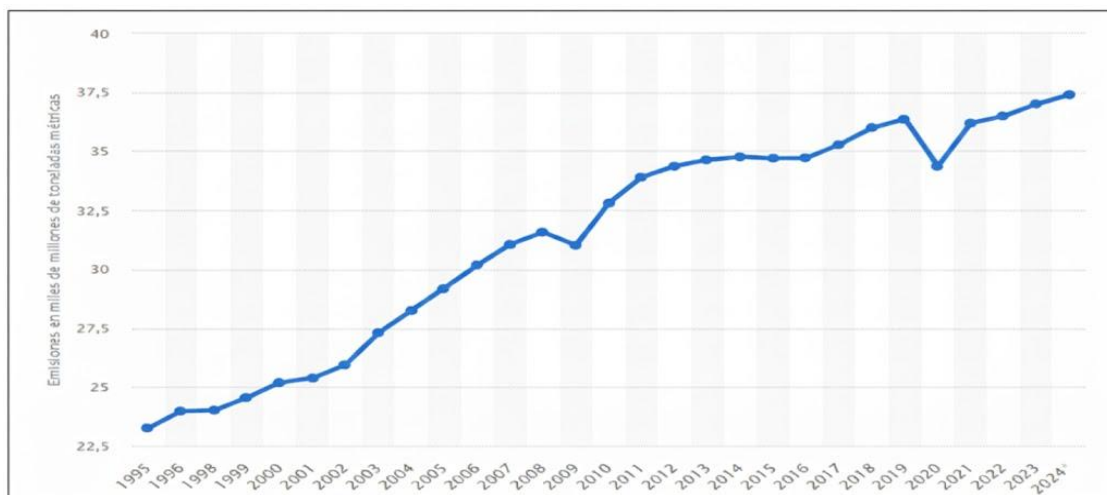
El dióxido de carbono (CO₂) constituye el elemento más relevante de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) generado por actividades antropogénicas, especialmente aquellas vinculadas con la quema de combustibles fósiles y la deforestación (Terán & Uriol, 2020). El dióxido de carbono (CO₂) es un gas sin color ni olor, formado por la unión covalente entre dos átomos de oxígeno (O) y uno de carbono (C). Este compuesto, en realidad es parte de la naturaleza y desempeña un papel fundamental en la biosfera, las plantas no podrían existir sin el dióxido de carbono (CO₂), pues lo requieren para realizar la fotosíntesis (Caja & Yalta, 2024). El dióxido de carbono (CO₂) no se considera un agente tóxico en sí mismo, en el sentido de que

cause daño o envenenamiento por inhalación; los seres vivos lo liberan al respirar y sus concentraciones oscilan entre 300 ppm y 550 ppm, dependiendo del entorno, ya sea en áreas rurales o urbanas (Instituto para la Salud Geoambiental, 2022).

En este contexto, la Figura 2 muestra la evolución global creciente en las emisiones de dióxido de carbono (CO₂). Este incremento fue especialmente notable entre los años 2000 y 2010. Posteriormente, se observa una ligera estabilización entre los años 2013 y 2019, y una reducción temporal en 2020 (Orus,2025). En términos generales, la figura reafirma una tendencia general ascendente en las emisiones globales de dióxido de carbono (CO₂).

Figura 2.

Tendencia global creciente de las emisiones de dióxido de carbono (CO₂) entre los años 1995 - 2024.



Nota: Se visualiza el crecimiento continuo de dióxido de carbono. Adaptado de Orus (2025).

2.2.5. Ciclo del carbono

El carbono es un átomo fundamental en la composición de la materia orgánica, se desplaza entre la atmósfera, los océanos, tierra y subsuelo, que funcionan como depósito de este elemento. Este desplazamiento constante está impulsado por procesos biológicos, químicos y físicos. El proceso es denominado "Ciclo del Carbono" (Erazo & Marlith, 2021).

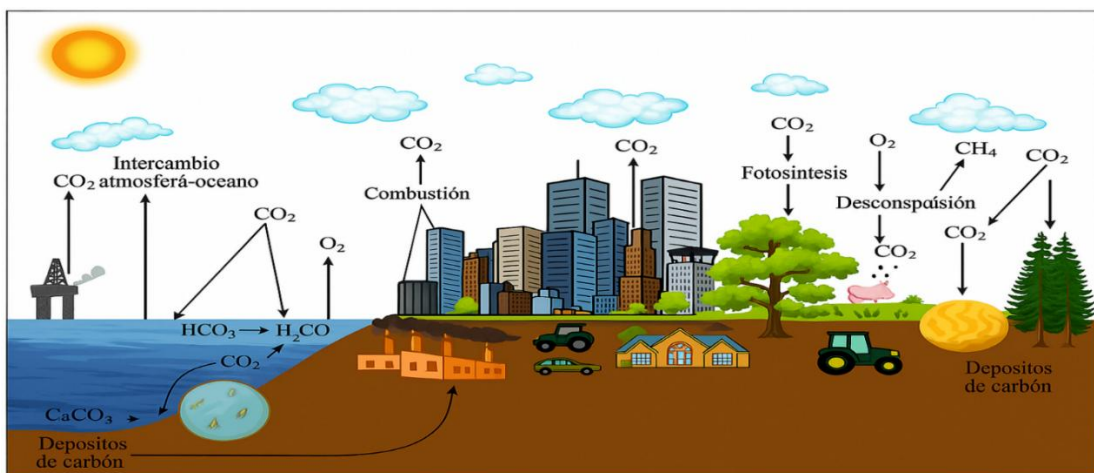
Del mismo modo Mondragón (2021), sostiene que el movimiento de carbono por medio de los diferentes reservorios naturales es a través del dióxido de carbono (CO_2), que actúa como el principal mecanismo de intercambio entre las formas orgánicas e inorgánicas del elemento, favoreciendo la continuidad en la vida y el equilibrio biogeoquímico del planeta.

En concordancia con lo anterior, uno de los procesos esenciales de este ciclo es la fotosíntesis, mediante ella las plantas y ciertos microorganismos capturan el dióxido de carbono (CO_2) atmosférico para producir carbohidratos, liberando simultáneamente oxígeno. Una parte de estos carbohidratos es utilizada por la planta, mientras que otra es consumida por los animales, liberando de nuevo dióxido de carbono (CO_2) por medio de su metabolismo. Por último, cuando plantas y animales mueren, sus restos son descompuestos por microorganismos presentes en el suelo, liberando nuevamente dióxido de carbono (CO_2) a la atmósfera (Avellaneda, 2022).

La figura 3, representa el ciclo del carbono, en el cual el dióxido de carbono (CO_2) se intercambia continuamente entre el suelo, la atmósfera, los océanos y ecosistemas terrestres mediante procesos biológicos y físicos como la fotosíntesis, la respiración, la descomposición y la combustión. Asimismo, evidencia cómo las actividades humanas desequilibran este ciclo, lo que resalta la importancia de regular la cantidad de dióxido de carbono (CO_2) en la atmósfera para mantener el equilibrio climático (Erazo & Marlith, 2021).

Figura 3.

Ciclo del carbono



Nota. Adaptado del trabajo de investigación de Erazo & Marlith (2021).

2.2.6. Captura de carbono

La flora cumple una función esencial al absorber el dióxido de carbono (CO₂) atmosférico, para generar carbohidratos e incrementando su biomasa. Entre los ecosistemas, los bosques sobresalen como los más eficaces en la captura y almacenamiento de carbono, participando en el 90% del intercambio anual de carbono entre la superficie terrestre y la atmósfera (Bravo, 2022).

En este contexto, la captura de carbono se concibe como un fenómeno ininterrumpido que ocurre en diversos tipos de ecosistemas, particularmente en aquellos que han sido influenciados o deteriorados. Este proceso es posible cuantificar en función del uso de la tierra, como plantaciones, áreas quemadas para el cultivo, barbechos, pastizales, bosques primarios y secundarios y otros sistemas productivos (Yantas, 2022).

2.2.7. Carbono en el suelo

De acuerdo con Sela (2022), señala que el carbono presente en el suelo se halla principalmente en la materia orgánica, compuesta aproximadamente por un 60% de carbono, lo que la convierte en un componente fundamental para el almacenamiento de este elemento. No obstante, la capacidad de captura de carbono en el suelo está influenciado por factores ambientales locales, como la infiltración de agua de lluvia, la temperatura, la erosión y la deposición de sedimentos. Estas condiciones varían considerablemente según la heterogeneidad del ecosistema, lo que repercute en las tasas de captura y liberación de carbono en el suelos (Cherlinka, 2025).

2.2.8. Carbono en la biomasa aérea

La biomasa aérea constituye más del 40% de todo el carbono acumulado en los bosques a escala mundial. Factores como la edad de los árboles, la densidad poblacional y la flora de cada estrato en las comunidades vegetales influyen directamente en la capacidad de los ecosistemas forestales para acumular carbono (Hernández et al., 2020). Por su parte, Caja & Yalta (2024) sostiene que la biomasa aérea es un indicador esencial que refleja la productividad de las plantaciones forestales y permite conocer su estado de desarrollo y el potencial de rendimiento en volumen.

2.2.9. Fijación de carbono y almacenamiento de dióxido de carbono (CO₂)

De acuerdo con Lelechenko (2024), indica que los ecosistemas forestales desempeñan una papel fundamental en la mitigación del cambio climático, capturando grandes cantidades de dióxido de carbono (CO₂), estos ecosistemas almacenan cerca del 30% del dióxido de carbono (CO₂) emitido por actividades antropogénicas. No obstante, la deforestación y la fragmentación forestal comprometen esta función reguladora. En este contexto, las acciones humanas que pueden potenciar la captura de carbono consisten en promover la plantación de árboles, tanto en áreas previamente deforestadas (reforestación) como en terrenos no boscosos (forestación), así como la aplicación de una gestión forestal sostenible.

Asimismo, Carranza (2019) explica que el dióxido de carbono (CO₂) almacenado en la biomasa vegetal es producto del balance entre el dióxido de carbono (CO₂) atmosférico capturado en la fotosíntesis y es liberado a la atmósfera durante la respiración. Dicha discrepancia contribuye en la composición final de la biomasa vegetal; en consecuencia, a mayor producción de biomasa, más dióxido de carbono (CO₂) almacenado y carbono fijado.

2.2.10. Métodos de medición de carbono

Con el propósito de determinar la biomasa aérea se pueden utilizar dos procedimientos: por un lado el "método directo o destructivo", y por otro "método indirecto" (Velasco, 2023).

- a) Método directo o destructivo: Este procedimiento implica el derribo de árboles representativos para cuantificar su biomasa total y determinar su peso seco. Se sugiere trabajar con un mínimo de 30 árboles, los cuales deben secarse y pesarse para recolectar la información requerida (Alva, 2020).
- b) Método indirecto: Este enfoque recurre en la utilización de modelos matemáticos o ecuaciones que incorporan datos dasométricos clave, tales como el diámetro normal (DN), la altura, el área basal y el peso específico de la madera. Estos valores se obtienen mediante un instrumento estadístico conocido como análisis de regresión (Velasco, 2023).

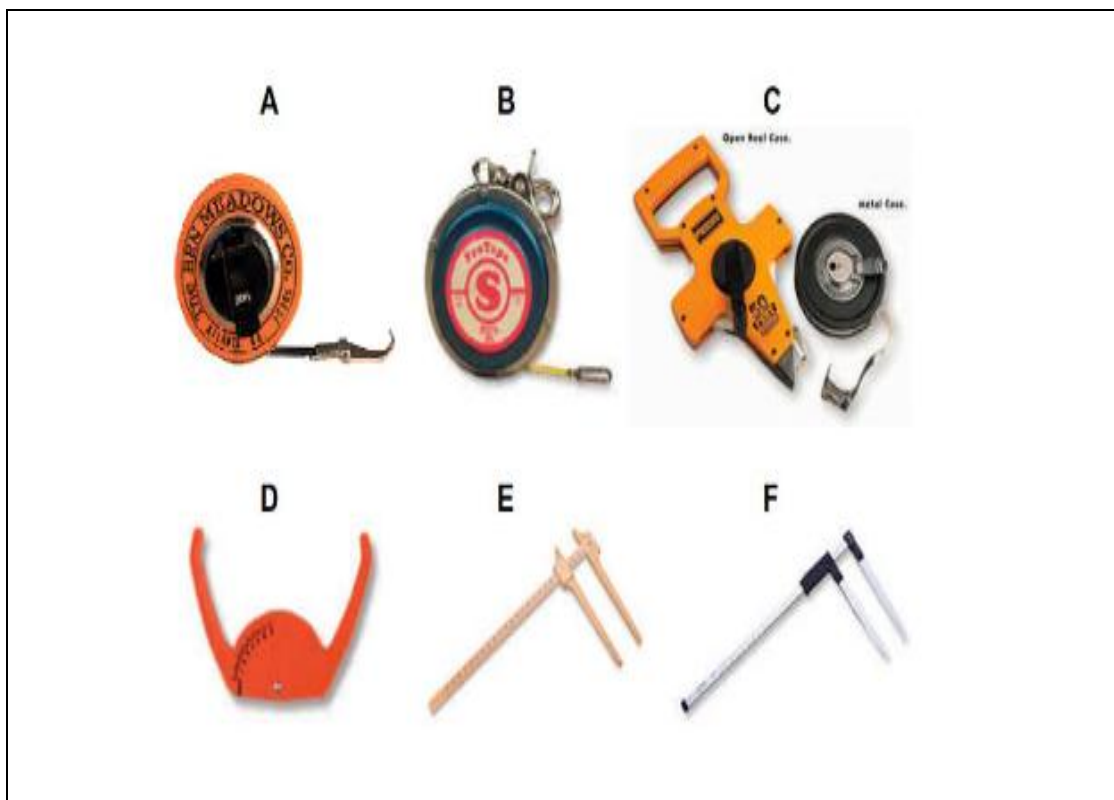
2.2.11. Medición del diámetro de árboles

El diámetro es uno de los datos dasométricos de mayor importancia para cuantificar las dimensiones de árboles, arbustos y otras plantas leñosas perennes, este se mide a 1.30 metros sobre el nivel del suelo y se conoce como diámetro normal (DN), empleando comúnmente la cinta métrica o forcípula (Erazo & Marlith, 2021).

Se puede realizar las mediciones del diámetro normal (DN) mediante los siguientes instrumentos de medición mostrados en la figura 4.

Figura 4.

Instrumentos de medición para determinar el diámetro normal.



Nota. A. cinta diamétrica. B. cinta métrica. C. wincha de fibra. D. forcípula. E. Forcípula de madera. F. forcípula de aluminio. Extraído de Cárdenas (2022).

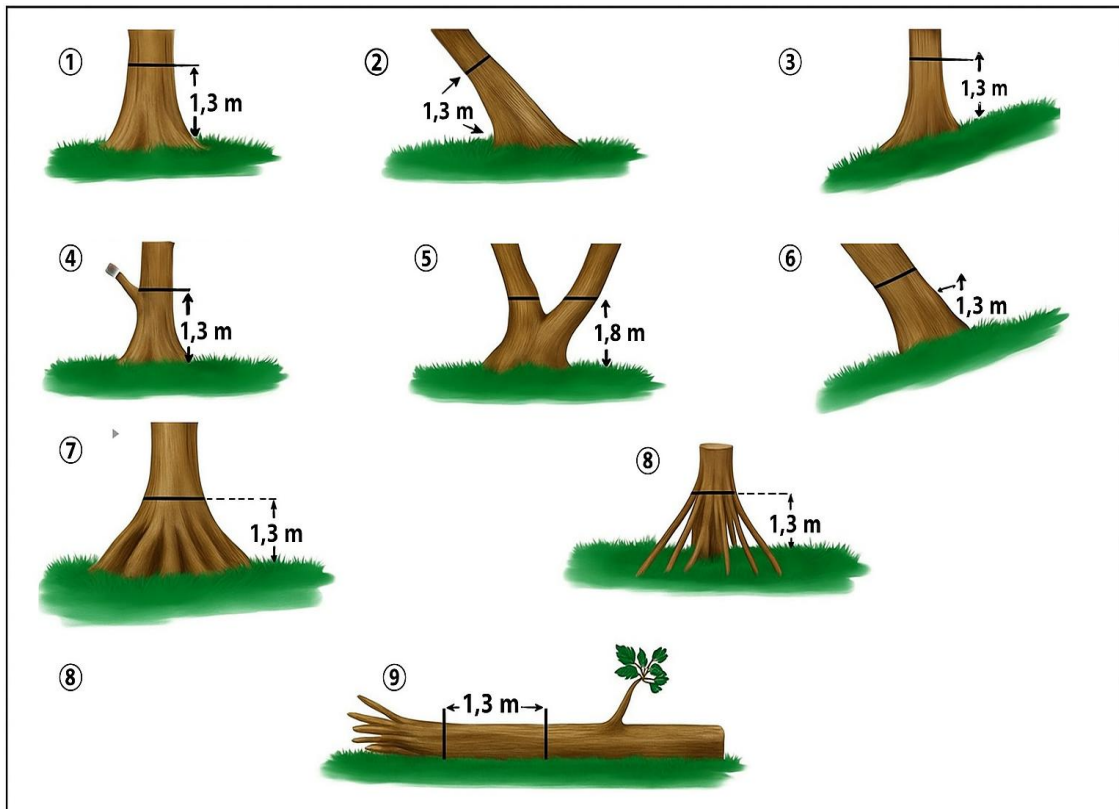
Ventocilla (2022) menciona que el diámetro normal (DN) puede medirse empleando una forcípula, cuando no se dispone de este instrumento, puede utilizarse una cinta métrica de costura, la cual permite medir la circunferencia del tronco, que luego se transforma en diámetro mediante una simple conversión. Asimismo, se recomienda

emplear la cinta diamétrica para obtener datos del diámetro o en su defecto cintas métricas convencionales, debido que son más fáciles de transportar y están hechas de nylon reforzado, un material resistente que no se deforman ni se estiran al entrar en contacto con líquidos o cuando hay un cambio de temperatura (Cárdenas, 2022).

La figura 5 muestra las diferentes maneras de registrar la medida del diámetro a 1.30 m sobre el nivel del suelo, considerando factores estructurales del árbol como inclinación, bifurcaciones, irregularidades en la base y crecimiento en pendiente.

Figura 5.

Medición de diámetro normal en diferentes condiciones del árbol.



Nota. Se muestra nueve situaciones frecuentes en campo y la forma correcta de realizar la medida del diámetro normal. Tomado de Mollocondo (2019).

2.2.12. Factor de expansión de la Biomasa (FEB)

El Factor de Expansión de la Biomasa (FEB) funciona como un coeficiente de ajuste que incorpora las partes del árbol que no se consideran dentro de la biomasa de aprovechamiento, como las ramas y el follaje (Yana, 2020). Este factor se aplica para ajustar la biomasa del tronco obtenida derivada del volumen registrado en los

inventarios forestales, brindando una estimación más integral y precisa de la biomasa aérea total. Es importante destacar que el valor del FEB puede fluctuar significativamente dependiendo de la especie y las condiciones del ecosistema forestal (Zavala, 2022).

2.2.13. Biomasa

Para Campos et al. (2020), la producción de biomasa está condicionada por las características propias del sitio, las cuales influyen directamente en la productividad de la plantación, el desarrollo y acumulación de biomasa están vinculadas con la disponibilidad y absorción de elementos nutritivos del suelo, mientras que la eficiencia en su aprovechamiento y la concentración de nutrientes en los tejidos vegetativos difieren según la edad de la plantación. De acuerdo con Bernachea (2019) señala que el cálculo de la biomasa es esencial para determinar el carbono acumulado en los bosques, información indispensable para valorar su aporte en la reducción del cambio climático en respuesta a las emisiones de dióxido de carbono (CO₂).

2.2.14. Biomasa forestal

La biomasa forestal representa la cantidad total de materia orgánica vegetal existentes en un ecosistema, y se divide en dos componentes principales (Vidal, 2023):

- c) Biomasa aérea: Comprende la biomasa viva que se encuentra sobre el suelo, incluyendo tronco, tocón, corteza, ramas, semillas y hojas.
- d) Biomasa subterránea: Corresponde a la fracción de biomasa contenida en las raíces vivas, es decir, a la materia orgánica vegetal ubicada debajo de la superficie del suelo.

2.2.15. Rodales forestales

Se entiende por rodal a un área que integra una plantación o bosque natural conformada por árboles con características relativamente homogéneas en cuanto a edad, especie, tamaño, densidad y condiciones del sitio (Atias, 2024). El rodal forestal representa la unidad básica del bosque desde el punto de vista geográfico y estructural, distinguiéndose por una cobertura arbórea de características similares en pendiente, estructura, volumen y composición (Yantas, 2022).

2.2.16. Plantaciones forestales

Las plantaciones forestales son ecosistemas planificados por la intervención humana en espacios delimitados, por lo general está compuesto por una sola especie; sin embargo, en ocasiones se introducen diferentes especies con el propósito de diversificar los productos y beneficios. De esta manera, dichas plantaciones aportan importantes beneficios ecológicos, favoreciendo la biodiversidad y contribuyendo activamente en la mitigación del cambio climático (Antonio, et al., 2022).

2.2.17. Rol de las plantaciones forestales y el cambio climático.

Las plantaciones forestales desempeñan una función esencial en la regulación climática global y en la disminución de los gases de efecto invernadero. Sin embargo, son susceptibles a los impactos derivados de las alteraciones ambientales, los cuales pueden comprometer los servicios ecosistémicos que ofrecen. Bajo este contexto, la capacidad adaptativa de las plantas representa un factor clave para lograr resultados sostenibles y verificables. Por ello, gestionar de manera sostenible estas plantaciones implica prevenir la deforestación y la degradación forestal, favoreciendo así la conservación y ampliación de las reservas de carbono (Marca, 2023).

2.2.18. Inventario forestal

Existen diversas definiciones de inventario forestal, algunas de las cuales son más técnicas y complejas. No obstante, para una mejor comprensión, puede entenderse como el conjunto de métodos y procedimientos empleados para conocer el estado actual de un bosque. Este procedimiento es una herramienta clave para la planificación y administración de los recursos forestales, dado que proporciona información cuantitativa y cualitativa que permiten estimar el potencial de este recurso contribuyendo así a su aprovechamiento racional y sostenible (Murillo & Puente, 2022).

En el Perú, durante el año 2016 elaboró el primer informe parcial del Inventario Forestal y de Fauna Silvestre, la recopilación de los datos de campo estuvo a cargo por la Dirección General Forestal y de Fauna Silvestre, dicha responsabilidad fue posteriormente asumida por el Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre (SERFOR, 2016).

En este sentido, el propósito principal de una evaluación forestal radica en la recopilación de información precisa sobre los recursos forestales presentes en un área específica, lo que constituye un elemento clave para su gestión y aprovechamiento sostenible. Este proceso permite conocer la composición, su distribución y densidad poblacional, aspectos fundamentales para una adecuada planificación ambiental. Para ello, se aplican técnicas como el muestreo, que consiste en seleccionar una parte representativa de la población para extrapolar los resultados al total, definiendo previamente los objetivos y el alcance del estudio (Velasco, 2023).

2.2.19. Método de Walkley & Black

De acuerdo con Cruzado & Miranda (2020), se basa en la oxidación del carbono orgánico presente en el suelo mediante una mezcla oxidante de ácido sulfúrico concentrado (H_2SO_4) y dicromato de potasio ($K_2Cr_2O_7$). En este procedimiento, el ambiente muy ácido intensifica la eficacia del dicromato de potasio ($K_2Cr_2O_7$) y posteriormente se determina el exceso de este reactivo mediante titulación con $(NH_4Fe)_2(SO_4)_3$ o $FeSO_4$ (Zavala, 2022). Por último, el porcentaje de carbono se calcula dividiendo el valor obtenido de materia orgánica entre el factor 1.72 (Mamani, 2024).

2.2.20. Eucalipto (*Eucalyptus globulus* Labill).

El *Eucalyptus globulus* Labill, destaca por ser la más empleada en procesos de reforestación en el Perú, principalmente en zonas ubicadas entre los 1000 a 3500 m.s.n.m. Se estima que existen cerca de 1.008.000 hectáreas reforestadas con esta especie, gran parte destinadas a propósitos de carácter social (MINAM, 2016).

Se trata de un árbol perenne alcanza alturas que oscilan entre 30 a 50 metros, presentando un fuste recto y robusto. Gracias a su rápido crecimiento, presenta un incremento anual de aproximadamente $10\ m^3/ha$ en volumen, lo que permite capturar y almacenar cantidades considerables de dióxido de carbono a lo largo de su vida (Vidal, 2023). En relación a la biomasa aérea, esta varía conforme el árbol se desarrolla; en las primeras etapas, la copa, las ramas y las hojas representan una parte importante de la biomasa. Sin embargo, Valverde et al. (2019) destacan que con el tiempo la madera del fuste aumenta en volumen, mientras que de las hojas y ramas disminuye.

2.2.21. Taxonomía

El *Eucalyptus globulus* Labill fue descrito por primera vez en el año 1800 por el botánico francés Jacques Houtou de Labillardiere (Cárdenas, 2022). La clasificación taxonómica completa de esta especie se presenta en la Tabla 2.

Tabla 2

Descripción taxonómica del Eucalyptus globulus Labill.

Categoría Taxonómica	
REINO	Plantae
DIVISION	Magnoliophyta
CLASE	Magnoliopsida
SUB CLASE	Rosidae
ORDEN	Myrtales
FAMILIA	Myrtaceae
GENERO	<i>Eucalyptus</i>
ESPECIE	<i>Eucalyptus globulus</i> Labill

Nota. Elaboración propia. Adaptado de Cárdenas (2022).

2.2.22. Densidad de la madera

Se describe como la relación existente entre su masa en gramos (g) y su volumen en (cm³). Lo cual permite conocer cuanta materia leñosa contiene un determinado volumen. En consecuencia, mientras más unidas se encuentren las capas celulósicas, la densidad de la madera aumenta. Asimismo, la madera húmeda presenta un valor de densidad superior al de la madera seca. En general, su densidad suele ser menor que la del agua, lo que explica su capacidad natural de flotar (Taquire, 2023).

2.2.23. Peso específico de la madera

El peso específico de la madera representa la proporción existente que vincula la cantidad de materia seca con el volumen correspondiente, el cual puede considerarse en

diferentes condiciones (verde, seco al aire o seco al horno o al 12% de humedad). Este parámetro varía en función del contenido de humedad y de la estructura anatómica propia de cada especie (Chicaiza, 2022).

e) Peso específico básico de la madera

El peso específico básico de la madera se obtiene estableciendo la relación entre el peso anhidro de una muestra de madera (madera secada al horno) y su volumen en estado verde (Pinilla et al., 2023). Debido a que la madera es un material higroscópico, su volumen se ve influenciada por el contenido de humedad, por esta razón el peso específico básico también varía en función de dicho contenido de humedad (Sanchez, 2024). De manera complementaria, esta propiedad constituye un parámetro fundamental para estimar las propiedades mecánicas y la biomasa en estudios forestales (Sigala et al., 2023).

No obstante, múltiples autores utilizan de manera equivalente las denominaciones de peso específico básico y densidad básica, pues ambos se determinan a partir de la relación existente entre la masa anhidra de la madera y su volumen. Este valor constituye un indicador representativo del comportamiento estructural del material leñoso (Zavala, 2022).

CAPITULO III

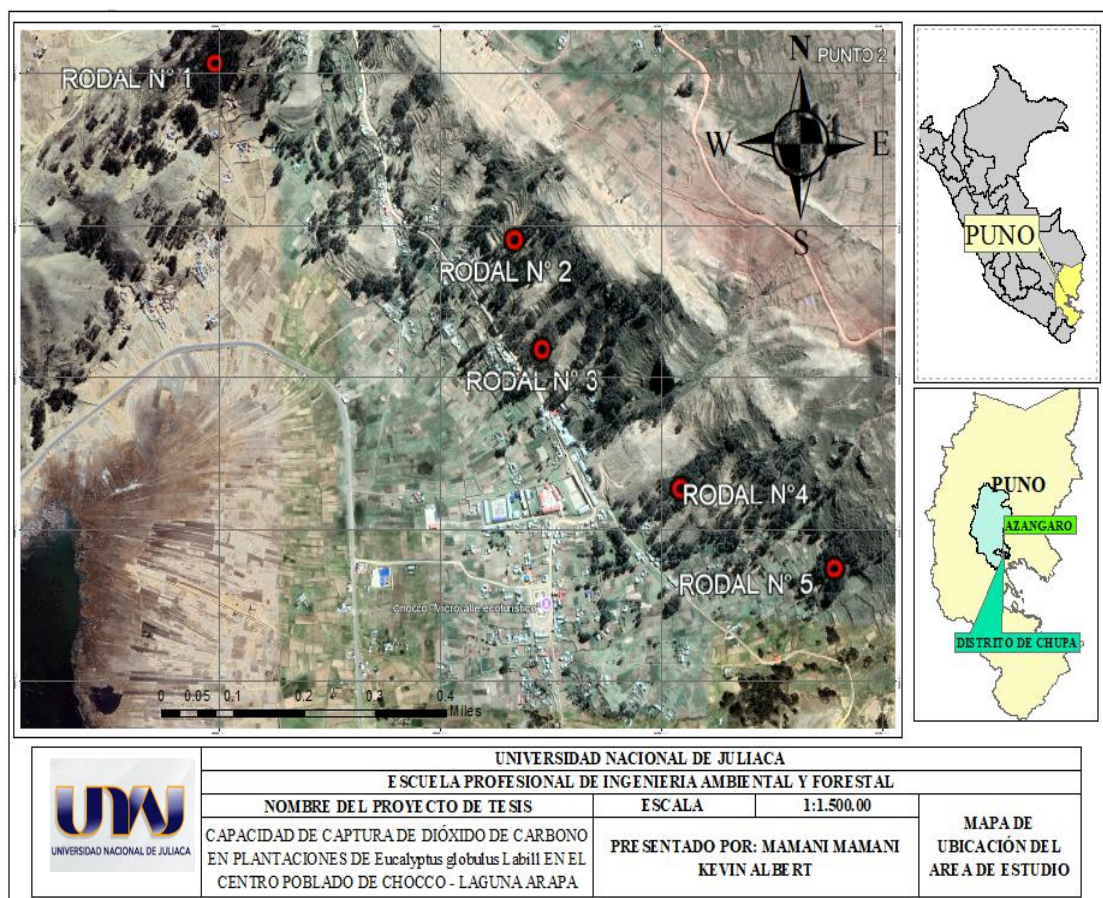
MATERIALES Y METODOS

3.1. Ámbito de estudio

El lugar de estudio se localiza en el Centro poblado de Chocco, situado en el contorno de la laguna Arapa, ubicado a 3850 m.s.n.m. entre las coordenadas UTM Este 3838.45 y Norte 3838.56 (Larico, 2022). El clima del lugar es principalmente frío, la temperatura oscila entre los 0°C hasta los 18°C como temperatura promedio (Flores, 2022). El área se caracteriza por la presencia predominante de *Eucalyptus globulus* Labill, con una edad estimada de 40 años. Respecto a la ubicación geográfica, el centro poblado limita la norte con Escantapi, al sur con el Caminacoya, al este con el San José y el lago Arapa por el oeste. En la figura 6 se presenta la ubicación geográfica del área de estudio correspondiente al centro poblado de Chocco, donde se muestra los rodales evaluados.

Figura 6.

Mapa de ubicación del lugar de estudio



Nota. Elaboración propia mediante Google Earth (2019).

3.2. Tipo y nivel de investigación

La investigación fue de tipo aplicativo y nivel descriptivo, ya que se integró fundamentos científicos en un entorno en el cual no existe estudios previos. De esta manera, a partir de la información generada servirán como referencia para la realización de futuras investigaciones experimentales.

3.3. Población y muestra

3.3.1. Población

La investigación consideró una población constituida por cinco rodales de *Eucalyptus globulus* Labill, localizados en el centro poblado de Chocco. Dichos rodales fueron seleccionados bajo criterios de homogeneidad en cuanto a especie, edad y manejo forestal (Zhang et al., 2025; Besnard et al., 2021) y comprenden una superficie total de 16.46 ha. Para el análisis, se consideraron a todos los individuos con un diámetro mayor o igual a 10 cm (MINAM, 2015).

3.3.2. Muestra

Para la selección de los rodales se realizó mediante una muestra no probabilística por conveniencia. Posteriormente para la ubicación de las parcelas dentro de los rodales seleccionados se aplicó un muestreo aleatorio simple. De acuerdo a Jin & Yang (2020), este tipo de muestreo proporciona estimaciones más consistentes respecto al número total de árboles y la diversidad de especies, por lo que se confirma su idoneidad para inventarios forestales. Bajo este criterio, las parcelas fueron ubicadas al azar dentro de los cinco rodales seleccionadas. Para garantizar una distribución equitativa y técnicamente confiable, se empleó el software ArcGIS 10.5, que permitió generar coordenadas aleatorias y definir la ubicación de cada parcela dentro del rodal (Li et al., 2012). Seguidamente, se establecieron parcelas de 1000 m² (50 x 20 m) cuya eficiencia ha sido destacada en estudios realizados por Zhao et al. (2022) y Haidari et al. (2013). Del mismo modo, este criterio se encuentra respaldado por el Centro Mundial Agroforestal (ICRAF, 2009) en su metodología recomienda parcelas de 1000 m² por su eficiencia y representatividad en estudios forestales. Estas parcelas se destinaron para la estimación de la biomasa aérea y para la obtención de las muestras de suelo, de acuerdo con los procedimientos establecidos por el MINAM (2014). Finalmente, para

determinar el número de parcelas, se procedió primero a estimar el área muestral mediante la ecuación (1). Para ello, se aplicó una intensidad de muestreo de 10% (Ramírez et al., 2019; Klauberg et al., 2016). Cabe destacar que esta ecuación (1) es mencionada en el libro de inventarios forestales para bosques latifoliados y empleada por Carrera et al. (2002):

$$Am = \frac{I}{100} \times At \quad (1)$$

Donde:

Am = Área muestral (hectáreas)

I = Intensidad de muestreo (%)

At = Área total del rodal (hectáreas)

Por consiguiente, en la tabla 3 presenta los rodales seleccionados para el desarrollo del presente estudio.

Tabla 3

Ubicación de los rodales seleccionados para el presente estudio.

Numero de rodal	Extensión (ha)	UTM	N° de parcelas
PM01	2.64	400012.00 E 8325551.00 N	3
PM02	2.47	400706.00 E 8325190.00 N	2
PM03	4.27	400771.00 E 8324971.00 N	4
PM04	5.27	401088.00 E 8324691.00 N	5
PM05	1.81	401433.00 E 8324535.00 N	2

Nota. Elaboración propia a partir de Google Earth (2019).

3.4. Identificación de Variables

Se consideraron como variables el carbono presente tanto en la biomasa aérea como en el suelo, componentes ampliamente reconocidos en investigaciones sobre la estimación de carbono en plantaciones forestales. Estudios como las de Vega et al. (2024), Goñas et al. (2022) y Dantas et al. (2020), respaldan esta elección, al demostrar su función en la captura y almacenamiento de dióxido de carbono (CO₂).

En este sentido, la Tabla 4 se expone la identificación de las variables evaluadas en esta investigación, diferenciando entre las dependientes y las independientes.

Tabla 4

Identificación de variables.

Variable Dependiente	Indicador
Sumidero (<i>Eucalyptus globulus</i> Labill)	tCO ₂
Variable Independiente	Indicador
Carbono aéreo	tC
Carbono del suelo	tC
Carbono total	tC

Nota. Elaboración propia.

3.5. Materiales y equipos

3.5.1. Materiales

Material de campo: Forcípula (Haglof Mantax Black), hipsómetro (Blume-Leiss ALTImeter BL6), barreno de Pressler (Haglof Sweden) Bolsas herméticas, cuadrantes de 0.50 m x 0.50 m, herramientas (Pico, pala, barreno), etiquetas, plumones, mapa base, matriz de campo y wincha métrica (50 m) fichas de campo y formularios (elaboración propia) y papel Craft.

3.5.2. Equipos

Estufa (PRECISION THELCO-TEMP RANGE), balanza analítica (ELECTRONIC SCALE-SARTORIUS BASIC-BA110S), cámara fotográfica (Xiaomi REDMI 9C), calculadora, GPS (Etrex Garmin) y laptop (ASUS TUF F15).

3.5.3. Otros

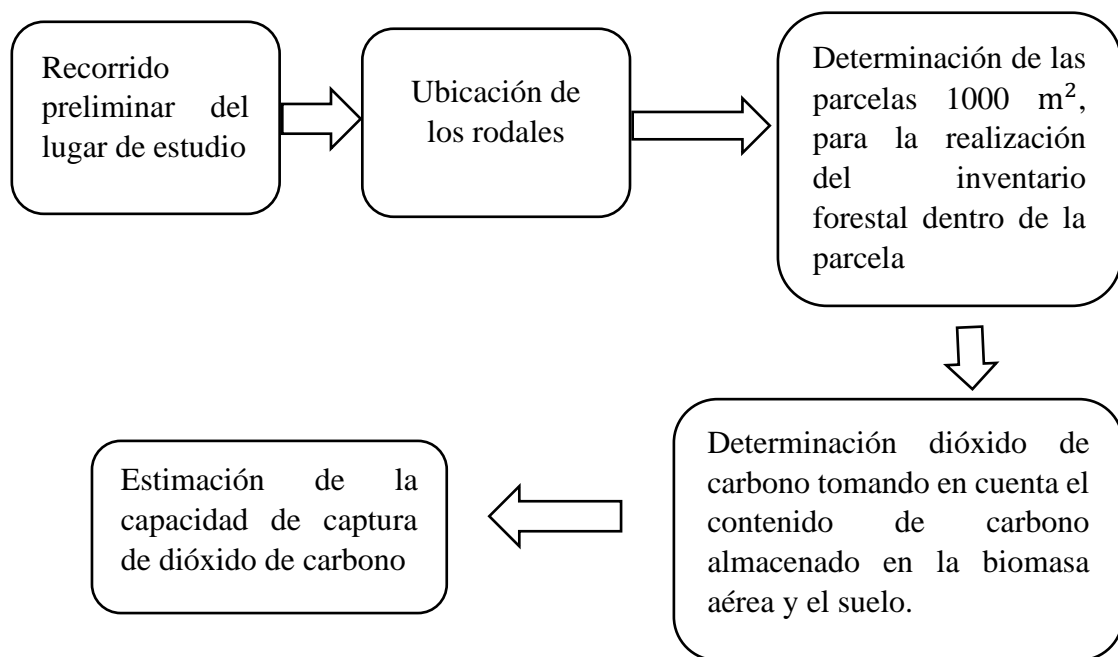
Para actividades en terreno se contó con: Casco, calzado CAT, sombrero; mientras para actividades en laboratorio: lentes de seguridad, bata, guantes, y mascarillas.

3.6. Proceso para la recolección de datos:

El proceso para la obtención de datos se resume en las etapas descritas en la figura 7.

Figura 7.

Proceso de recolección de datos de la investigación.



Nota: Elaboración propia.

3.7. Procedimiento metodológico

3.7.1. Determinar la capacidad de captura de carbono en la biomasa aérea de las plantaciones de *Eucalyptus globulus* Labill en el centro poblado de Chocco.

Se aplicó la metodología establecida por el ICRAF (2009) en base a ello, se establecieron parcelas de 1000 m², en las cuales se realizó un inventario forestal

completo. Las mediciones del diámetro normal (DN) de los árboles se obtuvieron utilizando una forcípula, tomando la altura estandarizada de 1.30 metros desde la base del tronco. Asimismo, se registraron las alturas y los diámetros con ≥ 10 cm (Cárdenas, 2022). Para estimar el carbono capturado correspondiente a la biomasa aérea, se aplicaron las siguientes ecuaciones:

f) **Diámetro normal (DN)**

El diámetro normal (DN) se obtuvo midiendo a 1.30 metros sobre el nivel del suelo, empleando una forcípula como instrumento de medición, registrando los datos en fichas de campo. No obstante, en aquellos árboles de gran tamaño con irregularidades en el tronco, la medición del diámetro normal (DN) se realizó a una altura superior a 1.30 metros (Osorio, 2024). Finalmente, el valor del diámetro normal (DN) se determinó a través de la siguiente ecuación usada por Ventocilla (2022):

$$DN = \frac{C}{\pi} \quad (2)$$

Donde:

DN = Diámetro (m)

C = Circunferencia (m)

$\pi = 3.1415$

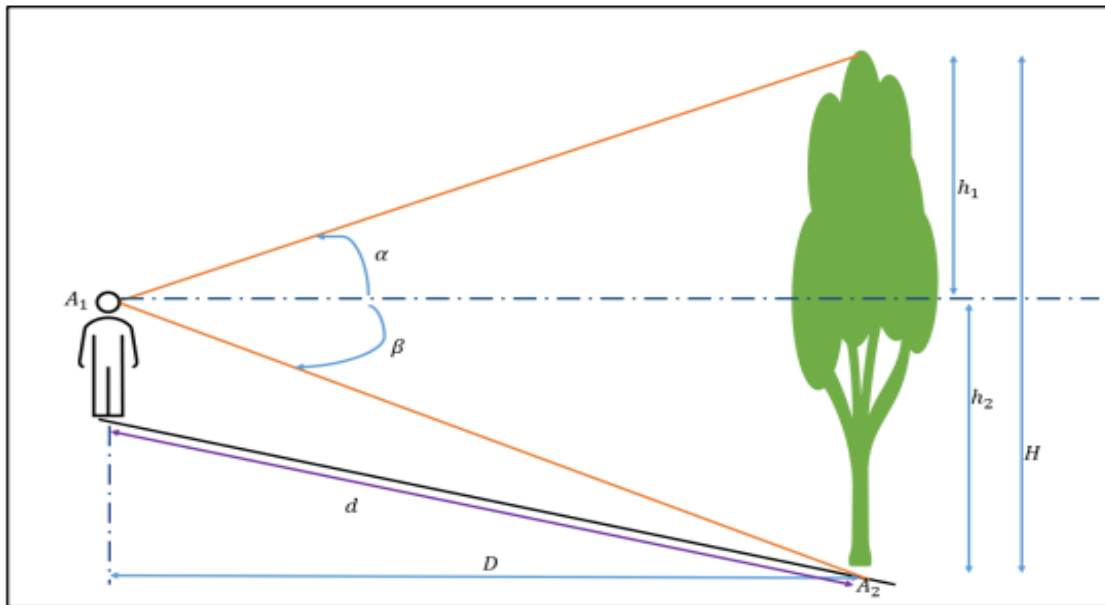
g) **Altura del árbol**

La altura del árbol fue estimada mediante la utilización de un hipsómetro, instrumento que proporcione los ángulos de inclinación hacia el ápice y la base del árbol. Paralelamente, la longitud horizontal entre el observador y el árbol se midió utilizando una cinta métrica. Este procedimiento se desarrolló de acuerdo con el método trigonométrico descrito por Vidal (2023), quien plantea tres posibles casos según la posición del observador respecto al árbol: cuando la línea de visión se encuentra entre el ápice y la base, por encima del ápice, o por debajo de la base. En el presente estudio se consideró el primer caso, considerando la línea de visión entre el ápice y la base, como se visualiza en la figura 8. Los ángulos se consideraron positivos (+) cuando

fueron medidos por encima del plano horizontal y negativos (-) si se registraron por debajo del mismo.

Figura 8.

Medición directa de la altura del árbol.



Nota. Figura que muestra la posición del observador y los ángulos que genera su línea de visión frente al árbol. Extraído de Vidal (2023).

Para estimar la altura total de los árboles se emplearon las ecuaciones sugeridas por Vidal (2023), quien establece que la altura total (h) resulta sumando las alturas parciales superior (h₁) e inferior (h₂), obtenidas a partir de los ángulos medidos con el hipsómetro.

$$h = h_1 + h_2 \quad (3)$$

Con base en la ecuación que se expone a continuación, se determinaron las alturas parciales en función de la distancia horizontal (D) y de los ángulos de inclinación (α y β).

$$h_1 = D * \text{Tang}(\alpha) \quad h_2 = D * \text{Tang}(\beta) \quad (4)$$

Seguidamente, la distancia horizontal “D” se estimó mediante la siguiente ecuación:

$$D = \sqrt{d^2 - (|A1 - A2|)^2} \quad (5)$$

Donde:

h = Altura total del individuo arbóreo (m)

D = Separación horizontal proyectada hasta el árbol (m)

d = La distancia registrada entre el operador y la base del árbol.

α = Angulo dirigido a la punta o ápice del fuste (+).

β = Angulo dirigido hacia la base del tronco (-)

$A1$ = Elevación del operador obtenido mediante GPS expresada en (m).

$A2$ = Elevación del árbol obtenido con GPS expresada en (m).

h) Área basal del árbol

Para la determinación del área basal del árbol se aplicó la ecuación establecida por el MINAM (2015):

$$AB = 3.1415 \left(\frac{DN}{2}\right)^2 \quad (6)$$

Donde:

AB = Área basal (m^2)

DN = Diámetro normal (m)

$\pi = 3.1415$

i) Volumen del árbol

El volumen del árbol fue determinado utilizando el área basal como punto de partida y aplicando la ecuación utilizada en investigaciones previas (Zavala, 2022; Bernachea, 2019; Cabudivo, 2017).

$$V = AB \times h \times Fm \quad (7)$$

Donde:

V = Volumen del árbol (m^3)

AB = Área basal (m^2)

h = Altura total (m)

Fm = Factor de forma (0,7)

En el presente estudio se utilizó el factor de forma de 0.7, valor recomendado por el MINAM (2015) y empleado ampliamente en investigaciones a nivel nacional

j) Determinación del peso específico básico de la madera

El peso específico básico se define como la relación entre la masa seca al horno y el volumen verde (Valdera, 2020). Se empleó el método no destructivo utilizando un barreno de Pressler instrumento que permitió extraer muestras del tronco sin comprometer la integridad del árbol. La recolección de las muestras se efectuó conforme a los lineamientos y metodología usada por Feijoo et al. (2025) y la NTP 251.025 (2008), obteniéndose un total de 80 muestras, correspondientes a 5 árboles por parcela dentro de los rodales seleccionados. La selección de los árboles se realizó durante el inventario forestal, considerando únicamente aquellos individuos con un diámetro normal (DN) ≥ 10 cm. Para estimar el volumen verde de cada muestra se empleó la siguiente ecuación utilizada por Alarcón et al. (2018):

$$Vv = \left(\frac{\pi * D^2}{4} \right) * L \quad (8)$$

Donde:

Vv = Volumen verde (cm^3)

D = Diámetro interior del cilindro del taladro Pressler (cm^2)

L = Largo de la muestra de madera (cm)

El peso anhidro (Po) fue obtenido mediante una balanza analítica (ELECTRONIC SCALE-SARTORIUS BASIC-BA110S), las muestras fueron secadas en estufa (PRECISION THELCO-TEMP RANGE) durante cinco días, con un aumento progresivo de temperatura desde 40 °C hasta 105 °C, asegurando la eliminación

completa de humedad. Posteriormente, con los valores obtenidos del peso anhidro (P_o) y volumen verde (V_v) se utilizaron para estimar el peso específico básico, empleando la ecuación utilizada por Alarcón et al. (2018):

$$PEB = P_o/V_v \quad (9)$$

Donde:

PEB = Peso específico básico de la madera (g/cm^3)

P_o = Peso anhidro (g)

V_v = Volumen verde (cm^3)

k) Biomasa aérea del árbol

Para estimar la biomasa aérea del árbol, se determinó previamente el peso específico básico de la madera. Bajo este contexto, la biomasa aérea fue obtenida mediante la ecuación empleada por Cabudivo (2017) y Cárdenas, (2022):

$$Barb = \frac{V \times Db}{1000} \times fe \quad (10)$$

Donde:

Barb = Biomasa del árbol (t)

V = Volumen (m^3)

PEB = Peso específico básico de la madera (kg/m^3)

fe = Facto de expansión 1.6

l) Carbono almacenado en la biomasa aérea

El contenido de carbono total (CT) de los árboles fue estimado mediante la ecuación empleada por Cabudivo (2017):

$$CT = Barb \times Fc \quad (11)$$

Donde:

CT = Carbono total (t)

Barb = Biomasa del árbol (t)

Fc = 0.5

m) Dióxido de carbono secuestrado

Para determinar el dióxido de carbono capturado por los rodales, se efectuó aplicando la ecuación propuesta por Cabudivo (2017).

$$CO_2 = CT \times Fc \quad (12)$$

Donde:

CO₂ = Dióxido de carbono secuestrado (tC)

CT = Carbono total (tC)

Fc = Coeficiente de ajuste 3.67, resultado del cociente de las masas moleculares del (CO₂/C).

$$Fc = \frac{CO_2}{C} = 3.67$$

3.7.2. Determinar la capacidad de captura de carbono almacenado en el suelo de las plantaciones de *Eucalyptus globulus* Labill en el centro poblado de Chocco.

Muestreo de suelos

El muestreo de suelo se efectuó siguiendo los lineamientos establecidos por el MINAM (2014), considerando una profundidad de muestreo de 0 – 30 cm, las muestras fueron recolectadas en forma de zig-zag en todas las parcelas pertenecientes a los rodales, mezclando las submuestras recolectadas para obtener una muestra compuesta representativa. Posteriormente, las muestras fueron almacenadas en bolsas herméticas debidamente rotuladas (Ventocilla, 2022). Dichas muestras se llevaron a los laboratorios del INIA Illpa – Puno acreditado por INACAL, mediante el cual se determinó el contenido de carbono orgánico empleando la metodología de Walkley Black (Zavala, 2022).

n) Determinación de la materia orgánica del suelo

Para el análisis del carbono almacenado en el suelo, se desarrolló por el método Walkley Black, en los laboratorios del INIA, Illpa – Puno.

La oxidación de la materia orgánica se realizó con una mezcla de $K_2Cr_2O_7$ más H_2SO_4 . Para efectuar la oxidación, la combinación de ambos reactivos generó el calor necesario para la reacción. Posteriormente, la mezcla se dejó reposar, se diluyó y se le adicionó ácido fosfórico para prevenir la interferencia de Fe^{3+} . El porcentaje de materia orgánica es igual al porcentaje de carbono orgánico multiplicado por el factor de 1.724 porque la materia orgánica contiene el 58% de carbono (Hualpa, 2018; Zavala, 2022). Para el procedimiento se empleó 0.5 g de muestra seca, 5 ml de H_2SO_4 y 10 ml de $K_2Cr_2O_7$ 1N, dejando reposar la muestra durante 45 minutos y uso dos gotas de difenilamina como indicador y valorando con sulfato ferroso amoniacal 0.5N. Finalmente, el porcentaje de materia orgánica se determinó considerando la diferencia entre el volumen de $K_2Cr_2O_7$ (10 ml) y el volumen de sulfato ferroso amoniacal utilizado, multiplicado por un factor de 0.67. Para determinar el carbono almacenado en el suelo, se aplicó el factor de 1.724 según la ecuación original de Walkley & Black (1934) citado por Zavala (2022):

$$CCO = \frac{MO}{1.724} \quad (13)$$

Donde:

CCO = Contenido de carbono orgánico (%)

MO = Porcentaje de materia orgánica (%)

o) Densidad aparente del suelo

La densidad aparente se obtuvo mediante el uso de un cilindro de 8.5 cm de diámetro y 3.9 cm de altura, diseñado para medir de manera precisa el volumen y la masa de las muestras (Ventocilla, 2022). Posteriormente, las muestras fueron secadas en una estufa (PRECISION THELCO-TEMP RANGE) a 55°C por tres días. Una vez completado el secado, se registró su peso seco utilizando una balanza analítica (ELECTRONIC SCALE-SARTORIUS BASIC-BA110S) y con la información se estimó la densidad aparente del suelo conforme a la metodología descrita por Zavala (2022).

La densidad aparente de los suelos de los rodales del centro poblado de Chocco se obtuvo mediante la siguiente ecuación usada por Ventocilla (2022):

$$DA = \frac{P1-P2}{VT} \quad (14)$$

Donde:

DA = Densidad aparente (g/cm^3)

P1 = Peso del suelo más el cilindro (g)

P2 = Peso del cilindro (g)

VT = Volumen del cilindro (cm^3)

p) Carbono retenido en el suelo

Según Gutiérrez (2017) para estimar el carbono retenido en el suelo se obtuvo mediante la siguiente ecuación:

$$Cs = DA \times CCO \times Pf \quad (15)$$

Donde:

Cs = Carbono retenido en el suelo (Kg/m^2)

DA = Densidad aparente (Kg/m^3)

CCO = Contenido orgánico de carbono (%)

Pf = Espesos o profundidad del horizonte (m)

q) Dióxido de carbono capturado en el suelo

Se aplicó la ecuación propuesta por Cabudivo (2017):

$$CO_2 = CT \times Fc \quad (16)$$

Donde:

CO_2 = Dióxido de carbono secuestrado en toneladas (tC)

CT = Carbono en toneladas (tC)

Fc_2 = Factor de conversión 3.67

3.7.3. Estimar la cantidad total de carbono capturado en las plantaciones de *Eucalyptus globulus* Labill en el centro poblado de Chocco.

Se integró la información obtenida de la biomasa aérea y del carbono almacenado en el suelo. En consecuencia, la cantidad total de carbono capturado en los rodales de *Eucalyptus globulus* Labill se obtuvo mediante la adición del carbono almacenado en la biomasa aérea y en el suelo, aplicando la siguiente ecuación:

$$C_{Total} = C_{aereo} + C_{suelo} \quad (17)$$

Donde:

C_{aereo} = Cantidad de carbono almacenado en la biomasa aérea (tC)

C_{suelo} = Cantidad de carbono almacenado en el suelo (tC)

3.8. Análisis estadístico

Para el procesamiento de los datos se empleará el software estadístico Jamovi (versión 2.3.21). El análisis incluirá estadística descriptiva, mediante el cálculo de valores de tendencia central y de dispersión (media, valores mínimos y máximos), con el propósito de caracterizar los datos dasométricos y de carbono evaluadas en los rodales. Asimismo, se aplicará la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk para evaluar la distribución de las variables; en función de ello, se utilizarán pruebas t de Student para la contratación de hipótesis y se aplicará un análisis de varianza (ANOVA) cuando se cumpla el supuesto de normalidad, mientras que en caso contrario se hará uso de la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis. De manera complementaria, se aplicará un análisis de correlación para evaluar la relación de las variables del presente estudio.

CAPITULO IV
RESULTADOS Y DISCUSION

4.1. Determinación de la capacidad de captura de carbono en la biomasa aérea de las plantaciones de *Eucalyptus globulus* en el centro poblado de Chocco

La estimación se efectuó mediante la aplicación de métodos directos que integran el volumen y el peso específico básico de la madera, permitiendo determinar con precisión la biomasa aérea y el carbono almacenado, los resultados referentes al carbono almacenado correspondiente a la biomasa aérea de los rodales de *Eucalyptus globulus* se presentan a continuación.

4.1.1. Peso específico básico de la madera de *Eucalyptus globulus*

Tabla 5

Peso específico básico de la madera de Eucalyptus globulus por rodal.

Rodal	Promedio del Volumen verde (cm³)	Peso Anhidro	Peso específico básico
1	1.489	0.925	0.628
2	1.355	0.825	0.609
3	1.440	0.910	0.612
4	1.136	0.710	0.625
5	1.192	0.732	0.610
Promedio del peso específico básico de la madera <i>Eucalyptus globulus</i>			0.617

Nota. Elaboración propia

En la tabla 5 se presentan los valores del peso específico básico con un promedio de 0.617, este valor es ligeramente inferior al reportado por Moreno et al. (2024), quienes investigaron las propiedades físico - mecánicas del *Eucalyptus globulus* registrando un promedio de 0.669; atribuyendo dicha diferencia a factores climáticos locales como la temperatura, altitud y la disponibilidad hídrica influyen en la formación del material leñoso del árbol. Sin embargo Waktole et al. (2024) investigaron la variación de la propiedades físicas del *Eucalyptus globulus*, registrando un promedio de 0.550, mencionando características edáficas del suelo como la fertilidad, textura y variaciones

moderadas de temperatura, inciden en el peso específico básico. En síntesis, los resultados evidencian que las condiciones ambientales propios de cada sitio de estudio influyen directamente en el peso específico básico de la madera.

4.1.2. Cantidad de biomasa aérea de los rodales de *Eucalyptus globulus*

Tabla 6

Cantidad de biomasa aérea.

Rodal	Código de parcela	Biomasa aérea (t)
1	P1-1	42.325
	P1-2	36.410
	P1-3	80.370
2	P2-1	81.508
	P2-2	69.906
3	P3-1	42.835
	P3-2	64.621
	P3-3	72.595
	P3-4	54.704
4	P4-1	41.478
	P4-2	42.266
	P4-3	99.847
	P4-4	37.380
	P4-5	56.284
5	P5-1	52.835
	P5-2	73.704
PROMEDIO		59.316

Nota. Elaboración propia a partir de los datos tomados en campo.

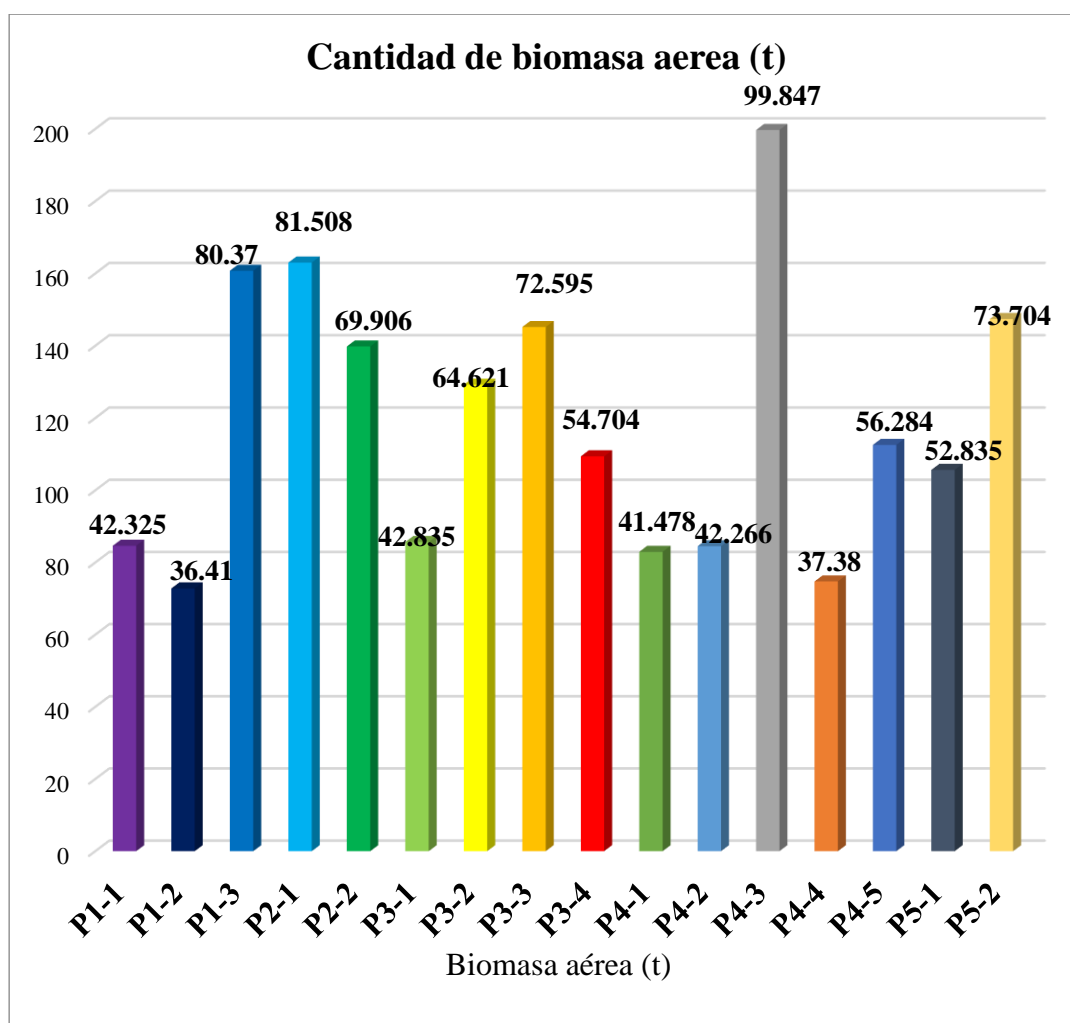
En la tabla 6 se presenta los valores de la biomasa aérea correspondiente a cada rodal de estudio, alcanzándose un promedio de 59.316 t. Este valor es superior al reportado por Cárdenas (2022), donde estimó el potencial de captura de carbono contenido en la biomasa aérea en rodales de *Eucalyptus globulus* en Huancayo, quien reportó un promedio de 1.51 t; el autor atribuye dicha diferencia al número de individuos por

unidad de muestreo y al desarrollo estructural de los árboles, reflejado en el crecimiento diamétrico y la altura. Dichos factores se evidencian igualmente en los resultados del presente estudio. Sin embargo, Ventocilla (2022) en su estudio determinó la cantidad de biomasa aérea presentes en rodales de *Eucalyptus globulus* ubicado en Lima, reportando un promedio de 1.14 t; atribuyendo dicha diferencia a la tala selectiva de los árboles de mayor volumen y a las condiciones climáticas como las precipitaciones y la temperatura del lugar. De manera similar, Yantas (2022), en su estudio realizado en la localidad de Huariaca departamento de Pasco, determinó la cantidad de biomasa arbórea viva de *Eucalyptus globulus*, obteniendo un promedio de 7.33 t, valor inferior al presente estudio; el autor señala que dichas diferencias se encuentran asociadas a las características dasométricas, particularmente el diámetro normal y la altura de los árboles, así como las condiciones topográficas del sitio, donde predominan pendientes pronunciadas y variaciones en la altitud del lugar de estudio, las cuales inciden en la disponibilidad de nutrientes presentes en el suelo y en la distribución de la radiación solar, siendo estas condiciones que favorecen a una acumulación más significativa de biomasa y por lo tanto de carbono. Por consiguiente, tanto Cárdenas (2022) como Yantas (2022) coinciden en que el incremento de la biomasa aérea se relaciona con una mayor densidad de árboles y un crecimiento diamétrico, lo que incrementa el área basal y el volumen, favoreciendo a una mayor captura de carbono. En este mismo sentido, Ventocilla (2022) y Vidal (2023), señalan que la biomasa aérea constituye el principal reservorio de carbono ya que representa más del 75 % de la biomasa total acumulada debido a que contiene la mayor parte de tejidos lignificados, sobre todo en el fuste y las ramas. Esta afirmación se confirma en la investigación actual, corroborándose que la fracción aérea es el mayor reservorio de biomasa en *Eucalyptus globulus* y en otras especies forestales, lo cual refuerza su rol crucial en la acumulación de carbono.

De acuerdo con la figura 9, se visualiza de manera gráfica los resultados de biomasa aérea obtenidos en las parcelas evaluadas, lo que permite visualizar con mayor claridad las diferencias entre ellas y complementar la información mostrada en la Tabla 6.

Figura 9.

Cantidad de biomasa por parcela en (t).



Nota. Elaboración propia mediante el software Microsoft Excel.

La figura 9, ilustra las diferencias en la biomasa aérea registradas entre las parcelas evaluadas. Se evidencia que P4-3 y P2-1 sobresalen al registrar valores más altos, en contraste P1-2 muestra una menor acumulación de biomasa aérea, esta variación está directamente relacionada con factores estructurales de cada parcela, especialmente a la densidad de árboles, altura y diámetro normal.

4.1.3. Cantidad de carbono almacenado en la biomasa aérea de los rodales de *Eucalyptus globulus*

La determinación del carbono presente en la biomasa aérea se efectuó a partir de valores obtenidos en cada parcela, con el propósito de identificar diferencias en la acumulación de carbono, los resultados estimados se presentan en la siguiente tabla 7.

Tabla 7

Cantidad de carbono almacenado en la biomasa aérea.

Rodal	Código de parcela	Contenido de carbono (tC/ha)
1	P1-1	211.62
	P1-2	182.05
	P1-3	401.85
2	P2-1	407.54
	P2-2	349.53
3	P3-1	214.18
	P3-2	323.11
	P3-3	362.98
	P3-4	273.52
4	P4-1	207.39
	P4-2	211.33
	P4-3	499.23
	P4-4	186.90
	P4-5	281.42
5	P5-1	264.18
	P5-2	368.52
PROMEDIO		296.584

Nota. Elaboración propia.

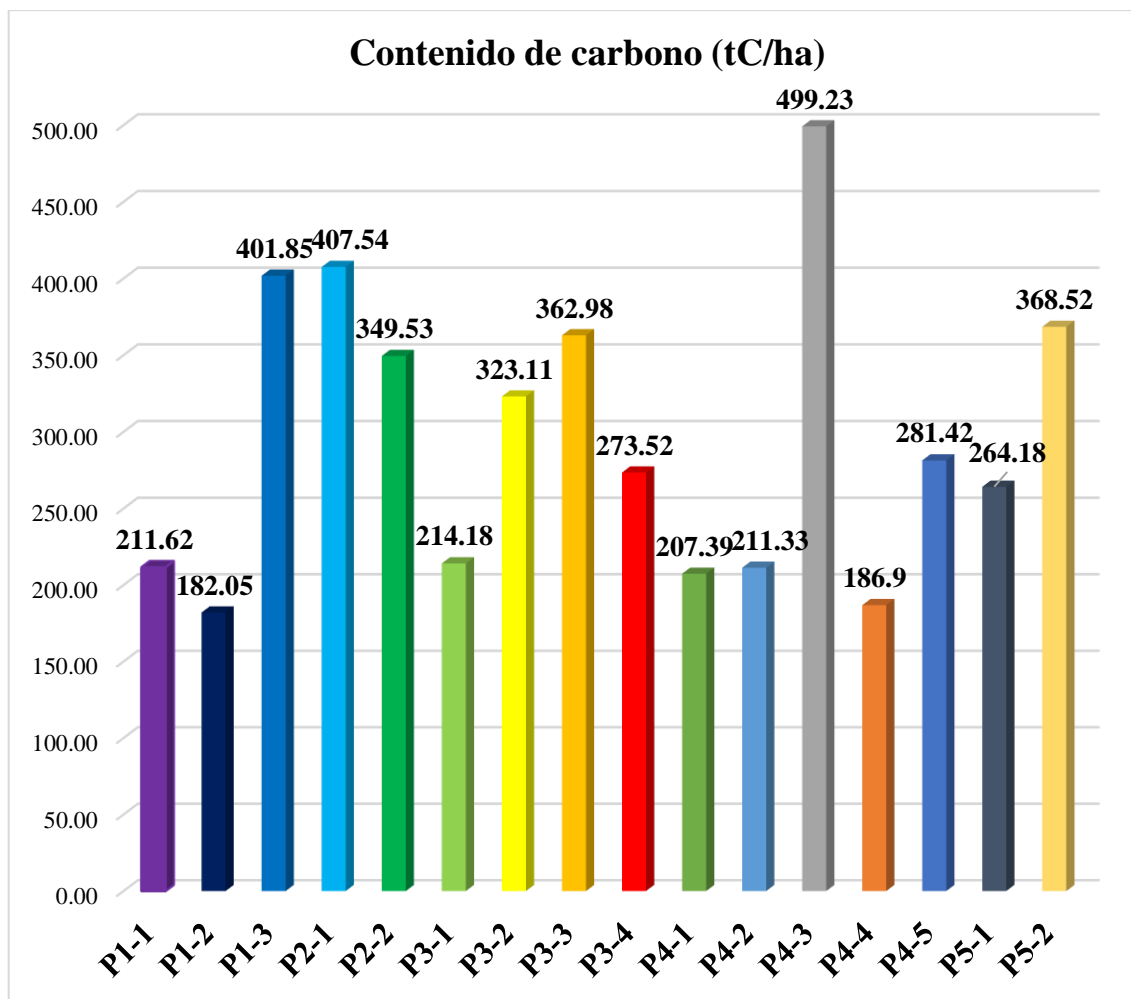
La tabla 7 ilustra los resultados del carbono presente en la biomasa aérea, destacándose una variabilidad significativa entre las parcelas evaluadas, obteniendo un promedio general de 296.58 tC/ha.

Según Olmedo et al. (2020), evaluaron las reservas de carbono en plantaciones de *Eucalyptus globulus* en Chile, donde reportaron un promedio de 254.6 tC/ha, valor casi similar al obtenido en el presente estudio; dichos autores sostienen que el contenido de carbono está condicionado por el diámetro normal, la altura total, el volumen del árbol y a las condiciones edafoclimáticas, entre las que destacan el tipo de suelo, la disponibilidad de nutrientes y la humedad disponible. Lo que respalda la consistencia de los resultados obtenidos en el presente estudio. Sin embargo, Nazir et al. (2025), en su

estudio realizado en Pakistán, evaluaron el secuestro de carbono en *Eucalyptus camaldulensis*, reportando un promedio de 1.02 tC/ha, valor muy distante al presente estudio; los autores atribuyen esta diferencia en relación a la especie en estudio. Asimismo, Mada et al. (2022) estimaron el potencial de captura de carbono en rodales de *Eucalyptus globulus* en Etiopía, reportando un promedio de 35.6 tC/ha; atribuyendo este resultado a la mayor densidad de árboles por hectárea, lo que implica mayor competencia de recursos y a indicadores dasométricos como el área basal. En este mismo sentido, Ventocilla (2022) destaca que la estructura del rodal como la densidad de los árboles influyen en la capacidad de captura de carbono. A continuación, en la figura 10, se muestra gráficamente los resultados del carbono almacenado en la biomasa aérea, lo que permite identificar y comparar la variabilidad existente entre ellas.

Figura 10.

Cantidad de carbono almacenado por parcela en (tC/ha).



Nota. Elaboración propia mediante el software Microsoft Excel.

Según la figura 10, evidencia que el carbono almacenado en la biomasa aérea difiere entre las parcelas. En este contexto, la P4-3 registra mayor acumulación, seguida de la P3-2 con un valor intermedio y por último la P1-2 presenta el menor registro, esta variación se explica debido al desarrollo diamétrico de los árboles, condición que influyen notoriamente en la captura de carbono.

4.2. Determinación de la capacidad de captura de carbono almacenado en el suelo de las plantaciones de *Eucalyptus globulus* en el centro poblado de Chocco

4.2.1. Densidad aparente del suelo

Se estimó la densidad aparente del suelo en los rodales analizados, con el propósito de determinar su capacidad de almacenamiento de carbono orgánico. Los resultados se presentan a continuación en la siguiente tabla.

Tabla 8

Densidad aparente del suelo de Eucalyptus globulus por rodal.

Rodal	Numero de muestras	Profundidad de muestreo (cm)	Volumen del cilindro (cm³)	Densidad aparente (g/cm³)
1	3	0-30	221.306	0.832
2	2	0-30	221.306	0.872
3	4	0-30	221.306	0.932
4	5	0-30	221.306	0.947
5	2	0-30	221.306	0.806
Promedio de la densidad de las muestras				0.878

Nota. Elaboración propia.

La tabla 8 se presenta los valores de la densidad aparente del suelo, con una cifra promedio de 0.878 g/cm. Este valor es inferior al obtenido por Ventocilla (2022), quien determinó una densidad del suelo de 1.35 g/cm³; el autor menciona que esta diferencia se atribuye a la profundidad de muestreo, ya que su estudio evaluó a un perfil más profundo de 20–50 cm, mientras que en el presente estudio se consideró la franja de 0–30 cm. Esta observación coincide con lo expuesto por Girma et al. (2023); quienes sostienen que la densidad aparente del suelo aumenta progresivamente con la

profundidad, debido a la reducción del contenido de materia orgánica y a la mayor compactación del suelo en los horizontes inferiores.

4.2.2. Cantidad de carbono almacenado en el suelo de los rodales de *Eucalyptus globulus*

Se cuantifico el carbono almacenado en los rodales estudiados, con el propósito de evaluar la contribución del suelo al almacenamiento total de carbono. los datos calculados se presentan a continuación en la tabla siguiente.

Tabla 9

Contenido de carbono almacenado en el suelo.

Rodal	Código de parcela	Contenido de carbono (tC/ha)
1	P1-1	33.817
	P1-2	43.091
	P1-3	30.772
2	P2-1	17.986
	P2-2	22.379
3	P3-1	35.863
	P3-2	34.501
	P3-3	14.526
	P3-4	31.972
4	P4-1	22.396
	P4-2	26.756
	P4-3	20.993
	P4-4	32.642
	P4-5	34.487
5	P5-1	22.270
	P5-2	19.445
PROMEDIO		27.744

Nota. Elaboración propia en función de los datos registrados durante el trabajo de campo.

La tabla 9, muestra el contenido de carbono almacenado en el suelo, con un promedio general de 27.744 tC/ha. Este valor concuerda con los resultados obtenidos por Zavala

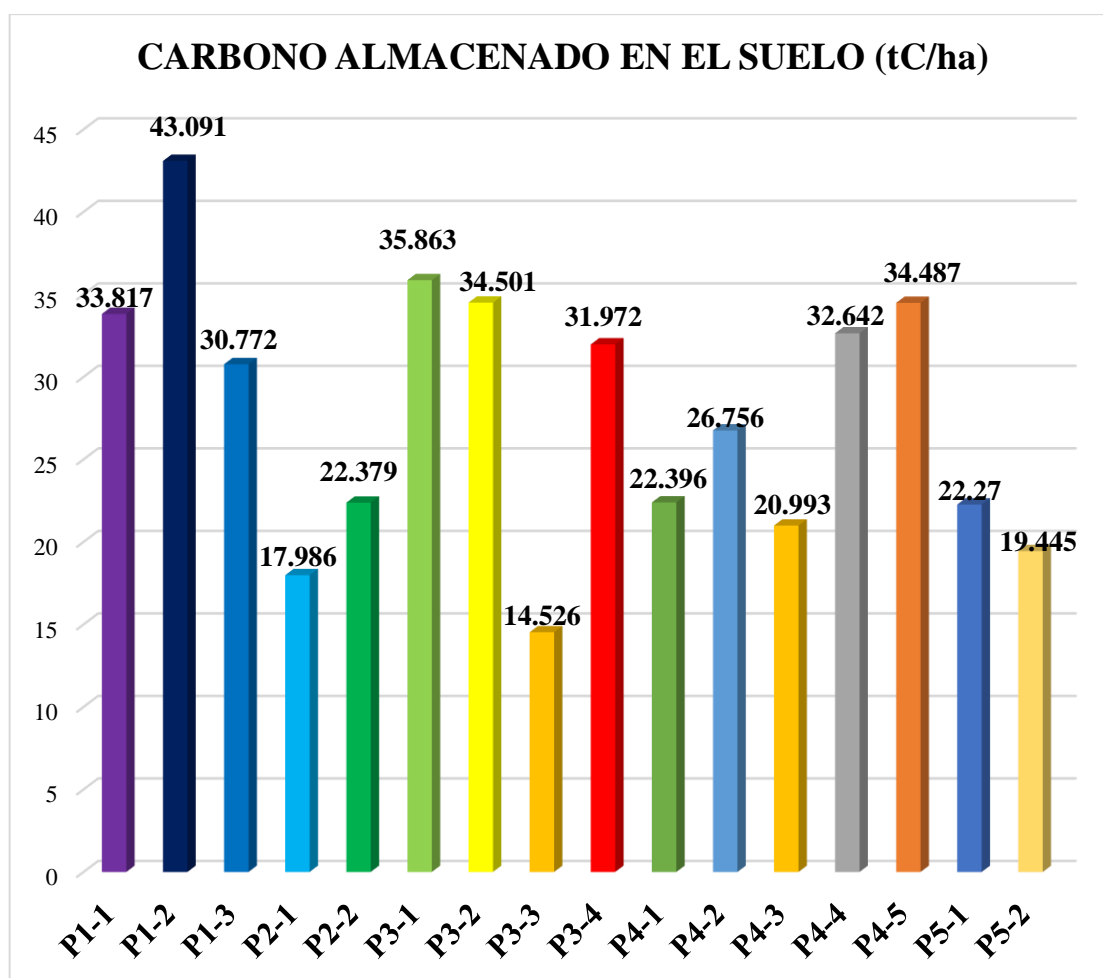
(2022), quien evaluó el carbono orgánico del suelo en la provincia de Azángaro, quien registró un valor de 27.4 tC/ha; atribuyendo que la profundidad de muestreo influye en la captura de carbono en el suelo debido a que en los primeros centímetros se concentra la mayor cantidad de materia orgánica, lo que explica la similitud observada entre ambos estudios. Por su parte Quintela et al. (2024), investigaron las reservas de carbono orgánico en suelos de rodales de *Eucalyptus globulus* en Portugal, reportaron un promedio superior de 41.2 tC/ha; explicando que estas diferencias esta influenciada por el clima, prácticas de manejo silvícola, comprendidas por las podas y la eliminación de malezas. En conjunto, los resultados obtenidos tanto por Zavala (2022) como por Quintela et al. (2024), evidencian que la retención de carbono en el suelo está estrechamente relacionada con las condiciones ambientales, el manejo silvícola y la profundidad de muestreo.

Por su parte, Hanco (2018) estimó la captura de carbono en suelos reforestados con *Eucalyptus globulus*, reportando un valor de 37.21 tC/ha en, a partir de muestras tomadas a dos profundidades de 20 cm y 40 cm. Valor que supera ligeramente al obtenido en esta investigación; el autor atribuye dicha diferencia a la profundidad de muestreo y a las características edáficas del sitio, entre ellas la textura, la fertilidad, compactación del suelo y la cantidad de hojarasca presente. Por ende, coincide con lo mencionado por Zavala (2022), quien señala que el carbono orgánico se almacena más en los primeros 15 cm, debido a la mayor acumulación de materia orgánica reciente. Sin embargo, Cárdenas (2022) determinó el potencial de captura de carbono en el suelo de rodales de *Eucalyptus globulus* en la comunidad campesina de Uñas – Huancayo, obteniendo un valor de 44.45 tC/ha; el autor destaca que estas variaciones responden a factores edafoclimáticos, incluyendo la cercanía de cuerpos de agua, al manejo silvicultural aplicado como las podas y raleos. En este sentido, se resalta que la profundidad de muestreo constituye un factor decisivo para la estimación precisa del carbono almacenado en el suelo.

Seguidamente, en la figura 11 se muestra de forma gráfica los resultados del carbono almacenado en el suelo por parcela, lo que permite visualizar con mayor claridad la variabilidad existente entre ellas y complementar la información presentada en la tabla 9.

Figura 11.

Cantidad de carbono almacenado en el suelo por parcela en (tC/ha).



Nota. Elaboración propia mediante el Microsoft Excel.

En la figura 11 se presenta los valores de carbono almacenado en el suelo (tC/ha). Los resultados reflejan una variabilidad evidente entre parcelas: la P1-2 registra el valor más alto, mientras que la P3-3 presenta el valor más bajo. Esta heterogeneidad se explica por factores edáficos, específicamente con propiedades del suelo, especialmente por la textura y presencia de nutrientes en el suelo influyen en la capacidad de almacenamiento de carbono.

4.3. Estimación de la cantidad total de carbono almacenado en el suelo y en la biomasa aérea de las plantaciones de *Eucalyptus globulus* en el centro poblado de Chocco

En esta sección se presenta la estimación del carbono total almacenado en los rodales evaluados. Por ende, se integraron los valores obtenidos en la biomasa aérea y en el suelo, con el propósito de cuantificar el carbono acumulado por hectárea y en la totalidad del área

de estudio. Los valores consolidados se muestran a continuación en la tabla correspondiente.

Tabla 10

Total, de carbono almacenado en la biomasa aérea y en el suelo.

PARAMETRO	Unidad	Valor
Superficie total	ha	16.4
Biomasa aérea	tC/ha	296.584
Carbono en el suelo	tC/ha	27.744
Total, de carbono almacenado	tC/ha	324.328
Carbono total almacenado	tC	5318.98
Total, CO₂ fijado	tCO ₂	19520.65

Nota. Elaboración propia

En la tabla 10 muestra el total de carbono almacenado en la biomasa aérea y en el suelo, se evidencia que la biomasa aérea constituye el principal reservorio con 296.584 tC/ha, mientras que el suelo aporta 27.744 tC/ha, alcanzando un total de 324.328 tC/ha. Al considerar la superficie total del estudio de 16.4 ha, el carbono almacenado asciende a 5318.98 tC, equivalente a 19520.65 tCO₂.

Al contrastar con la investigación realizada por Cárdenas (2022), quien determinó el contenido de dióxido de carbono en rodales de *Eucalyptus globulus* en Huancayo, registró una captura total de 25933.80 tCO₂ en una superficie total de 51.36 ha, superando ampliamente a lo reportado en presente estudio; el autor menciona que dicha diferencia se explica por la superficie total evaluada. Sin embargo Ventocilla (2022) en su investigación realizada en rodales de *Eucalyptus globulus* en Lima, reportó una captura total de 35364.10 tCO₂; atribuyendo dicha diferencia a condiciones ambientales tales como la temperatura, precipitación, tipo de suelo y a la edad del rodal, puesto que en su estudio evaluó rodales de aproximadamente 40 años. Bajo esta premisa, se evidencia que la extensión territorial, las condiciones ambientales y la edad son factores determinantes en el almacenamiento de dióxido de carbono. Asimismo, se corrobora que la biomasa aérea es el componente dominante en la captura de carbono, aunque el suelo también representa un depósito complementario, coincidiendo con lo reportado por Zavala (2022) quien señala que la biomasa aérea supera ampliamente en la capacidad de captura en comparación con los

demás depósitos. Esto concuerda con los datos registrados en la presente investigación, se constató una mayor acumulación de carbono en la biomasa aérea.

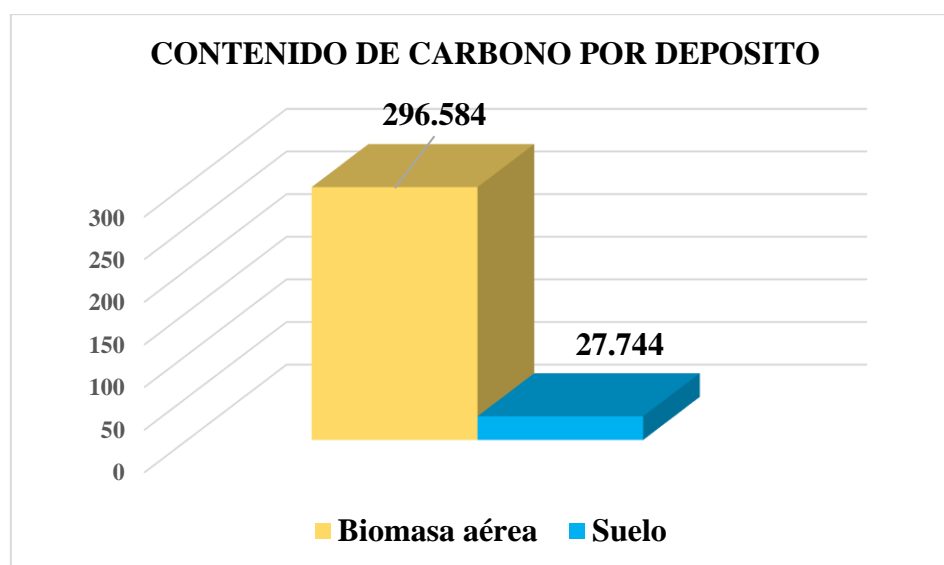
De acuerdo con Mollocondo (2019), en su investigación estimó la captura de carbono en una plantación mixta en el Centro de Producción San Juan de Potojani – Puno, donde el *Eucalyptus globulus* alcanzó un total de 117.28 tC/ha, cifra menor a la registrada en la tabla 10 del presente estudio; el autor explica que dicha diferencia se debe a la heterogeneidad de especies presentes en la parcela y por el manejo silvícola aplicado, así como el uso de ecuaciones exponenciales las cuales generan variaciones en la estimación. No obstante, Orellana & Landi (2023), estudiaron la flora arbórea de la rivera del río Tarqui en Ecuador, concluyen que el eucalipto presenta una alta capacidad de captura de carbono en comparación con otras especies forestales, observación que coincide con el comportamiento evidenciado en la presente investigación.

Por su parte, Alzamora (2020) investigó el potencial de captura de carbono en rodales de *Eucalyptus globulus*, reportando una captura de 359.75 tC/ha valor que supera ligeramente al registrado en el presente estudio; atribuyendo dicha diferencia a factores como la homogeneidad de especies dentro del rodal y al método aplicado, puesto que el autor aplicó un método semi destructivo. Asimismo, el mismo autor evidenció que el eucalipto presenta una mayor eficiencia en la acumulación de biomasa y fijación de carbono en comparación con otras especies evaluadas. Sin embargo, Cajilema & Fernández (2023), menciona que *Eucalyptus globulus* se distingue por su rápido crecimiento y al notorio desarrollo en diámetro y altura, consolidándolo como una especie clave en ecosistemas forestales. Bajo este contexto Mada et al. (2022), quienes también estudiaron al *Eucalyptus globulus* concuerda con lo mencionado por Cajilema & Fernández (2023) enfatizando que la eficiencia de acumulación de carbono depende en gran medida del crecimiento dasométrico particularmente del diámetro normal y la altura total. En síntesis, lo señalado por estos autores confirma los valores obtenidos en la Tabla 10, en el cual la biomasa aérea emerge como el principal reservorio de carbono, consolidando el rol del eucalipto como una especie estratégica para la mitigación del cambio climático.

Por otro lado, la figura 12 ilustra la distribución del carbono acumulado en los depósitos evaluados, expresada en toneladas de carbono por hectárea (tC/ha), esta representación permite apreciar con mayor claridad la diferencia existente entre ambos reservorios, destacando la predominancia del almacenamiento en la biomasa aérea.

Figura 12.

Cantidad de carbono almacenado en la biomasa aérea y el suelo en (tC/ha).



Nota. Grafica elaborada mediante Microsoft Excel.

Según la figura 12, se observa el contenido de carbono por depósito, se observa que la biomasa aérea registra un mayor valor con un promedio, almacenando 293.584 tC/ha, mientras que el suelo refleja la menor acumulación, con 27.744 tC/ha.

4.4. Análisis descriptivo de los datos dasométricos y volumétricos

Con la finalidad de caracterizar de manera integral la estructura y el desarrollo de los rodales de *Eucalyptus globulus*, se efectuó el análisis descriptivo de los datos dasométricos y volumétricos registradas en el inventario forestal. Los valores obtenidos se detallan en la tabla siguiente.

Tabla 11

Análisis descriptivo de los datos dasométricos.

	N° de arboles	DN promedio (cm)	Altura prom. (m)	Área basal total (m²)	Volumen Total
Media	54.7	29.1	22.6	3.90	60.2
Mínimo	24	26.0	17.4	2.06	35.7
Máximo	105	32.0	27.4	6.85	104

Nota. Elaboración propia mediante el software estadístico Jamovi.

En la tabla 11, muestra los valores del análisis descriptivo de los datos dasométricos, considerando los valores promedio, mínimos y máximos de los principales indicadores estructurales registrados en los rodales estudiados.

Los valores promedio obtenidos para el número de árboles, diámetro normal y altura total, fueron de 54.7 árboles, 29.1 cm y 22.6 m, respectivamente. Este resultado refleja una estructura forestal de densidad intermedia. En comparación con el estudio realizado por Orellana & Landi (2023), quienes evaluaron la flora arbórea en la ribera del río Tarqui; los autores reportaron una alta densidad de individuos de *Eucalyptus globulus*, atribuyendo que la distribución poblacional varía según las condiciones locales de manejo particularmente por la intensidad y frecuencia de las podas. Por su parte Cárdenas (2022), señala que el crecimiento diamétrico de esta especie depende principalmente por la edad del rodal, aspecto que se refleja en su estudio realizado en plantaciones de aproximadamente 20 años. Respecto a la altura promedio el resultados mostrado en la tabla 11 coinciden con los reportados Cajilema & Fernández (2023), estudiaron especies predominantes en la ribera del río Machángara en Ecuador, en el cual el *Eucalyptus globulus* alcanzó una altura promedio de 27.54 m y un máximo de 45.49 m, los autores sostienen que la especie en estudio presenta un patrón de crecimiento vertical, dicho crecimiento puede estar condicionado por factores como edad, acceso a luz, densidad de siembra y manejo silvícola.

En cuanto al área basal registro un promedio de 3.90 m², mientras que el volumen total alcanzó un promedio de 60.2 m³, evidenciándose una estrecha relación con la biomasa aérea acumulada. Según Malizia et al. (2020), quienes evaluaron el carbono en ecosistemas forestales andinos; mencionan que valores bajos de área basal suelen corresponder a bosques jóvenes con indicios de intervención silvícola parcial, condiciones que limitan el desarrollo estructural de los árboles. Respecto al volumen, Yantas (2022) menciona que la variabilidad depende de la densidad de árboles y área basal de cada parcela, observación que concuerda con los hallazgos registrados la presente investigación, lo cual confirma la validez y consistencia de los resultados registrados.

4.5. Análisis estadístico

Para garantizar la rigurosidad del análisis, se aplicó la prueba de Shapiro-Wilk para comprobar si se cumplía la normalidad. De acuerdo con los hallazgos, se emplearon pruebas t de Student para evaluar la hipótesis establecida en el estudio.

4.5.1. Análisis T student para una muestra.

r) Prueba de normalidad

Se aplicó la prueba estadística de Shapiro–Wilk, mediante el software Jamovi, con el objetivo de verificar la normalidad de los datos asociados a la biomasa aérea, al carbono del suelo y al carbono total. La información resultante se presenta en la siguiente tabla.

Tabla 12

Prueba de normalidad.

	W	P
Biomasa aérea	0.925	0.199
Suelo	0.950	0.485
Carbono total	0.922	0.179

Nota. Se presenta los valores obtenidos derivados de la prueba de Shapiro-Wilk

Como se aprecia en la tabla 12 se evidencia los valores de significancia de la prueba de normalidad ($p = 0.199$, $p = 0.485$ y $p = 0.179$, respectivamente) son superiores al nivel de 0.05, confirmando que los valores poseen una distribución normal, lo cual habilita la aplicación de análisis estadísticos paramétricos con más fiabilidad, como la prueba t de Student.

De manera similar, Vidal (2023) analizó la normalidad de la biomasa arbórea en plantaciones de eucalipto, obtuvo valores de p mayores a 0.05, esta coincidencia refuerza la validez del presente análisis. No obstante, resaltar que dicho autor limitó su evaluación únicamente en la biomasa aérea. En contraste, el presente estudio incorporo tanto el carbono del suelo y el carbono total, ampliando el alcance de la verificación estadística en los rodales de *Eucalyptus globulus* del presente estudio.

s) Prueba T de una muestra para la prueba de hipótesis

H1. La capacidad de captura de carbono en la biomasa aérea de las plantaciones de *Eucalyptus globulus* en el centro poblado de Chocco, varía entre 75 tC/ha y 150 tC/ha.

Tabla 13

Prueba T de una muestra aplicada a la biomasa aérea.

		Estadístico	gl	p
$H_a \mu > 75$	T de Student	9.39	15.0	<.001
$H_a \mu < 150$	T de Student	6.21	15.0	1.000

Nota. La tabla muestra los valores de gl y p mediante el software estadístico Jamovi.

En la tabla 13 se presenta la prueba T de una muestra aplicada a la biomasa aérea, evidenciándose que la media obtenida es significativamente mayor al límite inferior de 75 tC/ha ($t(p < 0.001)$). Del mismo modo, se observa que la media también supera el límite superior de 150 tC/ha ($p = 1.000$), lo que demuestra que la capacidad de captura de carbono en la biomasa aérea supera con claridad el valor mínimo como el máximo esperado. En consecuencia, se concluye que la hipótesis planteada no se cumple.

H2. La capacidad de captura de carbono en el suelo en las plantaciones de *Eucalyptus globulus* en el centro poblado de Chocco, oscila entre 20 tC/ha y 160 tC/ha.

Tabla 14

Prueba T de una muestra aplicada al carbono en el suelo.

		Estadístico	gl	p
$H_a \mu > 20$	T de Student	3.89	15.0	<.001
$H_a \mu < 160$	T de Student	-66.4	15.0	<.001

Nota. Resultados de la prueba T mediante el software estadístico Jamovi.

En la tabla 14 se presenta la prueba T de una muestra aplicada al carbono en el suelo, a partir del cual se observa que la media del carbono del suelo fue significativamente superior al límite inferior de referencia de 20 tC/ha ($p < 0.001$) y al mismo tiempo significativamente menor al límite superior de 160 tC/ha ($p < 0.001$). Estos resultados

evidencian que los valores de captura de carbono en el suelo se mantienen dentro del rango esperado, por lo que se acepta la hipótesis planteada.

H3. La integración de la biomasa aérea y el carbono almacenado en el suelo permite estimar la captura total carbono en las plantaciones de *Eucalyptus globulus* en el centro poblado de Chocco se sitúa entre 250 tC/ha y 400 tC/ha.

Tabla 15

Prueba T de una muestra aplicada al carbono total.

		Estadístico	gl	p
$H_a \mu > 250$	T de Student	3.30	15.0	0.002
$H_a \mu < 400$	T de Student	-3.36	15.0	0.002

Nota. Resultados de la prueba T mediante el software estadístico Jamovi.

La tabla 15 se muestra los valores obtenidos de la prueba T de una muestra aplicada al carbono total, en la que se observa que la media fue significativamente superior al límite inferior de 250 tC/ha ($p = 0.002$) y a su vez, significativamente inferior al límite superior de 400 tC/ha ($p = 0.002$). Estos hallazgos indican que los valores de captura total de carbono se sitúan dentro del rango esperado de 250 a 400 tC/ha, por lo cual se acepta la hipótesis planteada.

4.5.2. Análisis de varianza (ANOVA/ Kruskal-Wallis)

Se aplicó la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis, debido a que las variables analizadas no presentaron una distribución normal según la prueba de Shapiro-Wilk realizada previamente. En ese contexto, se evaluaron las diferencias en la biomasa aérea, suelo y el carbono total entre los diversos rodales de *Eucalyptus globulus*, cuyos hallazgos obtenidos se presentan en la tabla 16.

Tabla 16

Resultados de la prueba de Kruskal-Wallis.

	χ^2	gl	p	ϵ^2
Carbono total	2.63	4	0.621	0.175
Biomasa aérea	3.11	4	0.539	0.207
Suelo	5.92	4	0.205	0.395

Nota. Extraído del software estadístico Jamovi.

En la tabla 16 muestra valores obtenidos de la prueba de Kruskal-Wallis, a través del cual se observa que para el carbono total registra un nivel de significancia $p = 0,621$; para biomasa aérea, con $p = 0,539$; y para suelo, con $p = 0,205$. En todos los casos, los valores de p fueron superiores a 0.05, evidenciándose que no hay diferencias significativas entre los rodales evaluados. Esto sugiere que, si bien pueden existir variaciones naturales entre ellos, estas no alcanzan un nivel de significancia suficiente como para ser consideradas estadísticamente distintas.

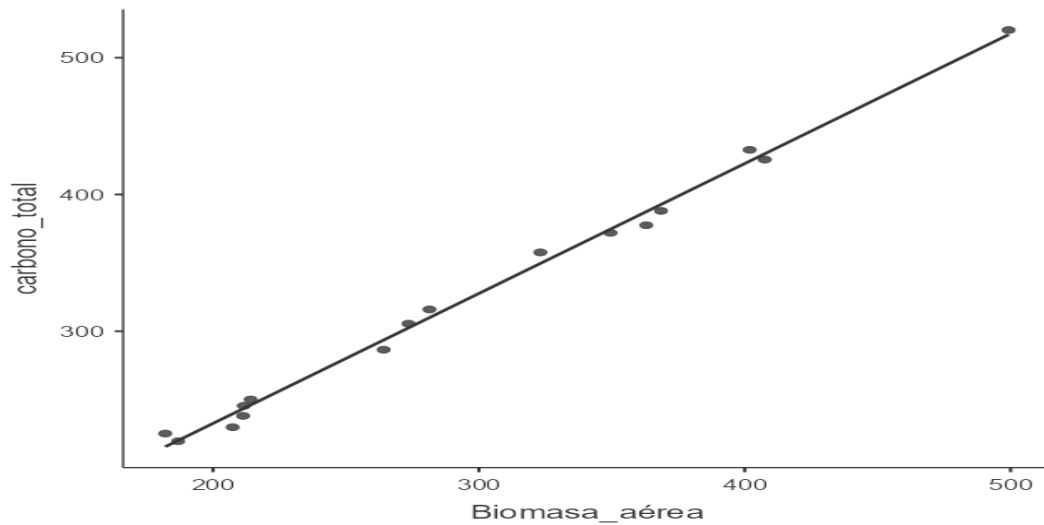
Los resultados del análisis de Kruskal-Wallis muestran que no existe diferencias significativas en la capacidad de captura de carbono entre los rodales de *Eucalyptus globulus*. En contraste, Yantas (2022) aplicó el mismo análisis y obtuvo diferentes resultados, el autor menciona que estas diferencias se justifican debido a la comparación del eucalipto con otras especies que presenta diferente potencial de captura de carbono. En nuestro caso, solo se evaluó una especie. En síntesis, estos resultados evidencian un comportamiento estable y uniforme de la especie en el área de estudio.

4.5.3. Gráfico de dispersión y análisis de correlación

Se elaboró un gráfico de dispersión, complementando con el análisis de correlación de Spearman, con el propósito de determinar la relación existente entre la biomasa aérea y carbono total en los rodales de *Eucalyptus globulus*.

Figura 13.

Gráfico de dispersión entre biomasa aérea y carbono total.



Nota. Gráfica realizada mediante el software estadístico Jamovi.

En la Figura 13 muestra la relación entre biomasa aérea y carbono total. Evidenciando una correlación positiva muy alta ($\rho = 0.994$; $p < 0.001$). Este resultado demuestra que la biomasa aérea constituye el principal reservorio de carbono total almacenado en los rodales de *Eucalyptus globulus*.

Sin embargo Cárdenas (2022), menciona que la biomasa aérea es el compartimento que almacena más carbono, porque concentra la mayor proporción de tejido leñoso del árbol, cuyo crecimiento rápido permite retener grandes cantidades de carbono durante largos periodos, superando al suelo y otros reservorios. Coincidiendo con los resultados del presente estudio, reafirmando así la importancia de la biomasa aérea como el sumidero de carbono más importante en esta especie.

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

La capacidad de captura de carbono en la biomasa aérea de las plantaciones de *Eucalyptus globulus* de 40 años en el centro poblado de Chocco fue de 296.584 tC/ha.

El carbono almacenado en el suelo en las plantaciones de *Eucalyptus globulus* evaluadas, alcanzó un valor de 27.744 tC/ha.

La cantidad total de carbono en el área de estudio fue de 324.328 tC/ha, considerando la superficie total del estudio de 16.4 ha, resulta un total de 5318.98 tC, equivalente a 19520.65 tCO₂ almacenados.

5.2. Recomendaciones

Para investigaciones futuras, se recomienda incluir la evaluación de la biomasa subterránea, necromasa y la hojarasca. Asimismo, integrar el análisis de factores edáficos, asimismo considerar la extensión territorial de las plantaciones y el número de parcelas establecidas a fin de que los datos no presenten grandes diferencias.

Es pertinente que futuras investigaciones empleen el método destructivo y así elaborar ecuaciones alométricas locales, considerando parámetros como el factor de forma, para mejorar la precisión de las estimaciones indirectas de la biomasa aérea.

Las entidades públicas y privadas deben considerar estos resultados como línea base para diseñar programas de reforestación, compensación de huella de carbono y políticas regionales de adaptación al cambio climático.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Aguilar, S. A. V., Ceferino, C. C. M., & Copo, H. F. B. (2020). Evidencias del cambio climático en Ecuador. *Revista Científica Agroecosistemas*, 8(1), 72–76.
- Alarcón, P. C., Basanta Fernandez, M. E., Pathauer, P., Harrand, L., Oberschelp, G. P. J., Monteoliva, S. E., & Martínez Meier, A. (2018). *Comparación de metodologías para la estimación de la densidad de la madera y sus implicancias en la estimación de parámetros genéticos en tres especies del género Eucalyptus*. Recuperado de <https://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/98297>
- Alarcon Paucar, F. L. N., & Apaza Turpo, P. G. (2023). Almacenamiento de carbono aéreo en plantaciones forestales de *Eucalyptus globulus* Labill y *Pinus radiata* en el Distrito de Ccatca, Quispicanchi, Cusco-2023. *Repositorio Institucional - UCV*. Recuperado de <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/117249>
- Alva Abanto, H. (2020). *Estimación de la biomasa aérea de cuatro especies forestales en Manchay, Pachacamac—Lima, a partir de un método no destructivo*. Recuperado de <https://hdl.handle.net/20.500.12996/4501>
- Alzamora Paucar, J. M. (2020). Determinación del potencial de captura de carbono en plantaciones de eucalipto (*Eucalyptus globulos*) y pino (*Pinus radiata*) Sihuas-Ancash, 2019.
- Antonio, R. T., Pérez, J. J., Rodríguez, E. A., Calderón, O. A. A., & Garza, E. J. T. (2022). Crecimiento y rendimiento de plantaciones forestales: Un análisis del estado actual de las tendencias mundiales. *Agricultura, sociedad y desarrollo*, 19(2), 126–140. <https://doi.org/10.22231/asyd.v19i2.987>
- Aragón Guillen, C. I., & Martínez Canal, B. D. (2022). Valoración económica en la captura de carbono de las especies *Escallonia resinosa* y *Polylepis incana*, en el Parque

- Arqueológico de Sacsayhuamán—Cusco, 2022. *Repositorio Institucional - UCV*. Recuperado de <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/91590>
- Arias Lorenzo, D. M. (2020). Determinación de la huella de carbono en las actividades administrativas correspondiente a la Municipalidad Distrital de Carhuamayo – Provincia de Junín, para controlar la emisión de gases de efecto invernadero—2018. *Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión*. Recuperado de <http://repositorio.undac.edu.pe/handle/undac/1806>
- Atias Vasquez, G. S. (2024). *Manejo ecológico de “camu camu” Myrciaria dubia (Kunth) McVaugh en rodales naturales de la cuenca media del río Nanay, Loreto—Perú—2021*. Recuperado de <https://hdl.handle.net/20.500.12737/10705>
- Avellaneda Alarcón, S. M. (2022). Captura de carbono de un bosque de neblina del parquenacional de Cutervo—Cajamarca, como mitigación frente al cambio climático. *Universidad Nacional de Cajamarca*. Recuperado de <http://repositorio.unc.edu.pe/handle/20.500.14074/5243>
- Bernachea Jesus, N. (2019). Valoración económica y secuestro de co2 en bosques plantados de eucalipto (*eucalyptus globulus labil*) y pino (*pinus radiata*) de 11 años de edad en Cochatama, distrito Huacar, provincia Ambo departamento Huánuco – setiembre, 2018 – febrero, 2019.
- Besnard, S., Koirala, S., Santoro, M., Weber, U., Nelson, J., Gütter, J., ... Carvalhais, N. (2021). Mapping global forest age from forest inventories, biomass and climate data. *Earth System Science Data*, 13(10), 4881–4896. <https://doi.org/10.5194/essd-13-4881-2021>
- Cabudivo Coquinche, K. (2017). Secuestro de CO2 y producción de oxígeno en árboles urbanos de la Av. Abelardo Quiñones—Distrito San Juan Bautista, Loreto—Perú, 2016.

- Caja Mayta, J. Z., & Yalta Melendez, E. (2024). Evaluación del secuestro de dióxido de carbono (CO₂) y su almacenamiento en plantaciones de eucalipto (*Eucaliptus grancam*) en tres edades diferentes. Ucayali, Perú 2023. *Universidad Nacional de Ucayali*. Recuperado de <https://renati.sunedu.gob.pe/handle/renati/1965831>
- Cajilema Yuquilema, D. F., & Fernández Verdugo, D. F. (2023). *Estimación de la capacidad de captura de carbono de cuatro especies arbóreas predominantes de las riberas del río Machángara, Cuenca—Ecuador*. (bachelorThesis). Recuperado de <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/24497>
- Campos, J. V., Monsalve, F. D., Cochán, C. P., & Vasquez, K. I. R. (2020). Biomasa y contenido de nutrientes en plantaciones forestales de *E. Urograndis* (Ucayali). *Revista de innovación y transferencia productiva*, *1*(1), e001–e001. <https://doi.org/10.54353/ritp.v1i1.e001>
- Cárdenas Pimentel, H. E. (2022). *Potencial de captura de carbono en una plantación de *Eucalyptus globulus* Labill en la CC. de Uñas, Huancayo*. Recuperado de <http://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/8466>
- Carlos Bravo, B. S. (2022). Estimación de la captura de CO₂ en el bosque forestal de quinal (*Polylepis* sp), para mitigar el cambio climático en el Centro Poblado de la Quinua, Yanacancha, Pasco—2020. *Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión*. Recuperado de <http://repositorio.undac.edu.pe/handle/undac/2593>
- Carranza, R., & Heidi, A. (2019). *Cuantificación del servicio ambiental de almacenamiento de CO₂ en biomasa aérea de las especies de flora en la Zona de Conservación y Recuperación de Ecosistemas (ZoCRE), Humedal del Alto Mayo, sector Santa Elena—Rioja 2018* (Universidad Nacional de San Martín. Fondo Editorial). Universidad Nacional de San Martín. Fondo Editorial. Recuperado de <https://repositorio.unsm.edu.pe/item/cf3a9d41-a02e-4772-8a16-ad680fd0ba8a>

- Carrera Gambeta, F., Kanninen, M., Kleinn, C., Louman, B., Mejía, A., Morales Hidalgo, D., ... Villalobos Soto, R. (2002). *Inventarios forestales para bosques latifoliados en América Central*. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). Recuperado de <https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/2600>
- Chaparro Aguilar, E. (2019). Evaluación de secuestro de carbono en las plantaciones forestales de Eucalyptus Globulus de la Provincia de Tarata, 2019. *Universidad Latinoamericana CIMA*. Recuperado de <http://repositorio.ulc.edu.pe/handle/ULC/149>
- Cherlinka, V. (2025). Secuestro De Carbono En El Suelo: Descubriendo Su Potencial. Recuperado el 23 de octubre de 2025, de <https://eos.com/es/blog/secuestro-de-carbono-en-suelo/>
- Chicaiza Aucancela, M. R. (2022). *Comparación de las propiedades físicas y mecánicas entre las especies arbóreas estudiadas: Platuquero, Pino Caribe y Pino Patula*. (bachelorThesis, Riobamba, Universidad Nacional de Chimborazo). Riobamba, Universidad Nacional de Chimborazo. Recuperado de <http://dspace.unach.edu.ec/handle/51000/8879>
- Condori Roque, M. A., & Herrera Roque, V. S. (2019). *Evaluación de los niveles de dióxido de carbono, compuestos orgánicos volátiles y la densidad total del polvo con sensores de calidad de aire en la ciudad de Juliaca, Puno, 2018*. Recuperado de <http://repositorio.upeu.edu.pe/handle/20.500.12840/2713>
- Cruzado Ruiz, I. F., & Miranda Terán, A. J. (2020). Determinación de la captura de carbono en pastos naturales altoandinos *Stipa ichu* y *Alchemilla vulgaris* Tantachual Bajo, Cajamarca. *Universidad Privada del Norte*. Recuperado de <https://renati.sunedu.gob.pe/handle/renati/2432947>

- Dantas, D., Terra, M., Pinto, L. R. M., Calegário, N., & Maciel, S. M. (2020). Above and belowground carbon stock in a tropical forest in Brazil. *Acta Scientiarum-agronomy*, 43. <https://doi.org/10.4025/ACTASCIAGRON.V43I1.48276>
- Erazo, P., & Marlith, G. (2021). *Niveles de captura de carbono de las especies forestales maderables y no maderables de los parques—Jardines de la ciudad de Moyobamba* (Universidad Nacional de San Martín. Fondo Editorial). Universidad Nacional de San Martín. Fondo Editorial. Recuperado de <https://repositorio.unsm.edu.pe/item/6cffb437-ce77-44b2-8b01-312805132b12>
- Fawzy, S., Osman, A. I., Doran, J., & Rooney, D. W. (2020). Strategies for mitigation of climate change: A review. *Environmental Chemistry Letters*, 18(6), 2069–2094. <https://doi.org/10.1007/s10311-020-01059-w>
- Feijoo, C. E. F., Peralta, K. M. C., Cofrep, D. A. P., Ami, F. E., Jimenez, W. A. Z., & Homeier, J. (2025). Densidad de la madera en 22 especies del bosque seco del sur de Ecuador a lo largo de dos gradientes altitudinales. *Bosques Latitud Cero*, 15(1), 44–56. (2005-). <https://doi.org/10.54753/blc.v15i1.2324>
- Flores Aroni, M. (2017). Captura de dióxido de carbono (co2) en la “Chillihua” (*Festuca dolichophylla* presl) de los pastizales del CIP Illpa-Puno. *Universidad Nacional del Altiplano*. Recuperado de <https://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/3900>
- Flores Ramos, V. A. (2022). La valoración del agua, mediante el método de valoración contingente, por los pobladores del medio rural de la comunidad de Collpani—Chupa—Azangaro. *Universidad Nacional del Altiplano*. Recuperado de <https://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/18332>
- Forero, S. P., Santos, L. N. S., Castañeda, H. J. A., & Madrigal, M. A. S. (2018). Captura de carbono en biomasa en plantaciones forestales y sistemas agroforestales en Armero-

- Guayabal, Tolima, Colombia. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 9(2), 121–134. <https://doi.org/10.22490/21456453.2312>
- García Cabal, D. (2022). *Diseño de un equipo escala laboratorio para la captura de CO2 atmosférico mediante materiales adsorbentes*. <https://doi.org/10.58011/z48w-p495>
- Girma, K., Yimer, F., Tamirat, T., & Abdelkadir, A. (2023). Effect of Land Use Change on Soil Physico-Chemical Properties under Different Land Use System in Arsi Zone, Oromia Region, Ethiopia. *Journal of Biology and Nature*. <https://doi.org/10.56557/joban/2023/v15i18076>
- Gobierno Regional de Puno. (2016). Estrategia Regional de Cambio Climático—Puno 2016-2021 | SINIA. Recuperado el 29 de septiembre de 2025, de <https://sinia.minam.gob.pe/documentos/estrategia-regional-cambio-climatico-puno-2016-2021>
- Gómez Reyes, D. A. (2018). *Estimación de biomasa y carbono aéreo en plantaciones forestales de tectona grandis l. en los estados de jalisco y nayarit, utilizando un método destructivo*. Recuperado de <https://riudg.udg.mx//handle/20.500.12104/72940>
- Goñas, M., Rojas-Briceño, N. B., Culqui-Gaslac, C., Arce-Inga, M., Marlo, G., Pariente-Mondragón, E., & Oliva-Cruz, M. (2022). Carbon Sequestration in Fine Aroma Cocoa Agroforestry Systems in Amazonas, Peru. *Sustainability*. <https://doi.org/10.3390/su14159739>
- Gutierrez Rosas, C. L. (2017). Estimación de la captura de CO2 en el juncal del área de conservación regional La Albufera de Medio Mundo (ACRAMM)- Huaura, Lima-Perú.
- Haidari, M., Namirianian, M., Zobeiri, M., & Ghahramany, L. (2013). Evaluation of different sampling method to study of tree density (tree/hectare) in the Zagros forest. *International Journal of Advanced Biological and Biomedical Research*, 1(1), 11–17.

- Hanco Chalco, E. P. (2018). *Determinación de la captura de carbono en suelos con eucalipto (Eucalyptus globulus Labill) en el distrito de Huancané-Puno, 2018*. Recuperado de <http://repositorio.upeu.edu.pe/handle/20.500.12840/1785>
- Hernández-Moreno, J. A., Velázquez-Martínez, A., Fierros-González, A. M., Gómez-Guerrero, A., Reyes-Hernández, V. J., Vera-Castillo, J. A. G., ... Vera-Castillo, J. A. G. (2020). Estimación de biomasa aérea y carbono, en rodales con y sin manejo forestal en la Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca. *Madera y bosques*, 26(1). <https://doi.org/10.21829/myb.2020.2611802>
- Huaco León, M. J. (2020). *Estimación de la captura de CO2 de las especies forestales en la Alameda de las Tradiciones, centro poblado de Congata, Arequipa—2019*. Recuperado de <http://hdl.handle.net/20.500.12773/11817>
- Hualpa Lima, M. (2018). Captura de carbono (CO2) en dos especies de “Tola” (*Parastrephia lepidophylla* Wedd) y (*Baccharis incarum* Wedd) en el sector Llusta distrito de Mazocruz – Puno. *Universidad Nacional del Altiplano*. Recuperado de <https://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/10691>
- ICRAF. (2009). Guía para la determinación de carbono en pequeñas propiedades rurales | FAO. Recuperado el 10 de septiembre de 2025, de <https://www.fao.org/family-farming/detail/es/c/1733277/>
- Instituto para la Salud Geoambiental. (2022). Dióxido de carbono CO2. Recuperado el 16 de agosto de 2025, de Instituto para la Salud Geoambiental website: <https://www.saludgeoambiental.org/dioxido-carbono-co2/>
- Jin, J., & Yang, J. (2020). Effects of sampling approaches on quantifying urban forest structure. *Landscape and Urban Planning*, 195, 103722. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2019.103722>

- Klauberg, C., Vidal, E., Silva, C. A., de M. Bentes, M., & Hudak, A. T. (2016). Sampling methods for titica vine (*Heteropsis* spp.) inventory in a tropical forest. *Annals of Forest Science*, 73(3), 757–764. <https://doi.org/10.1007/s13595-016-0565-2>
- Larico Uturnco, A. (2022). Evaluación sísmica aplicando métodos convencionales en la I.E.S Agropecuaria del C.P. de Chocco, distrito de Chupa, Puno-2022.
- Lelechenko, L. (2024). Secuestro De Carbono: Rol E Impacto Medioambiental. Recuperado el 23 de octubre de 2025, de <https://eos.com/es/blog/secuestro-de-carbono/>
- Li, M., Xu, T., & Zhou, Q. (2012, noviembre). *Development of Python-based ArcGIS Tools for Spatially Balanced Forest Sampling Design*. 419–422. Atlantis Press. <https://doi.org/10.2991/citcs.2012.109>
- Mada, G., Anjulo, A., & Gelaw, A. (2022). Estimation of biomass and carbon sequestration capacity of the Surra mountain plantation forest in Gamo Highlands, Southern Ethiopia. *Food and Energy Security*, 11(4), n/a-n/a. <https://doi.org/10.1002/fes3.399>
- Malizia, A., Blundo, C., Carilla, J., Acosta, O. O., Cuesta, F., Duque, Á., ... Young, K. (2020). Elevation and latitude drives structure and tree species composition in Andean forests: Results from a large-scale plot network. *PLoS ONE*, 15. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0231553>
- Mamani Mamani, M. (2024). Reserva de carbono y emisión de dióxido de carbono del bofedal en el sector Vizcachani, distrito de Capaso, El Collao—2022. *Universidad Privada San Carlos*. Recuperado de <http://repositorio.upsc.edu.pe:8080/handle/UPSC/945>
- Maquera Maquera, D. (2017). Determinación del contenido de carbono por especie forestal en el bosque del CIP Camacani—UNA- Puno por titulación. *Universidad Nacional del Altiplano*. Recuperado de <https://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/6183>

- Marca Urpe, G. (2023). *Captura de carbono por el método directo en la plantación de pinos (Pinus radiata) en la Comunidad LlañucanCHA del Distrito de Tamburco Provincia de Abancay – Apurímac, 2019*. Recuperado de <https://hdl.handle.net/20.500.14512/970>
- Medina Bellido, J. A. (2014). *Análisis de la estructura anatómica de las maderas latifoliadas, composición química, características físicas, densidad, peso específico, expansión, conductibilidad térmica, eléctrica, absorción del sonido. Usos*. Recuperado de <https://repositorio.une.edu.pe/entities/publication/repositorio.une.edu.pe>
- MINAM. (2014). Guía para Muestreo de Suelos. Recuperado el 26 de agosto de 2025, de <https://www.gob.pe/institucion/minam/informes-publicaciones/2702-guia-para-muestreo-de-suelos>
- MINAM. (2015). Guía de inventario de la flora y vegetación. Recuperado el 16 de agosto de 2025, de <https://www.gob.pe/institucion/minam/informes-publicaciones/2683-guia-de-inventario-de-la-flora-y-vegetacion>
- MINAM. (2016). *La conservación de bosques en el Perú (2011-2016). Conservando los bosques en un contexto de cambio climático como aporte al crecimiento verde*. Recuperado de <http://repositoriodigital.minam.gob.pe/xmlui/handle/123456789/112>
- Mollocondo Turpo, M. N. (2019). Estimación de la captura de CO₂ en plantaciones forestales de *Polylepis* sp, *Cupressus* spp y *Eucaliptus globulus*, para mitigar el cambio climático en el Centro de Producción San Juan de Potojani – Puno, 2018.
- Mondragón, F. (2021). Ciclos del dióxido de carbono en la formación y utilización de combustibles fósiles y su efecto en el cambio climático. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 45(176), 833–849. <https://doi.org/10.18257/raccefyn.1364>
- Moreno, K., Achinelli, F., Stefani, P., Monteoliva, S., Spavento, E., Moreno, K., ... Spavento, E. (2024). Propiedades físico-mecánicas de la madera de *Eucalyptus globulus*

- (Argentina) y su vinculación con la calidad de sitio y edad de plantación. *Bosque (Valdivia)*, 45(3), 427–436. <https://doi.org/10.4067/s0717-92002024000300427>
- Murillo Chavez, R., & Puente Bello, L. E. (2022). Estructura horizontal de un bosque secundario en el Centro de Capacitación e Investigación Forestal, Macuya – Pucallpa, 2018. Recuperado el 27 de octubre de 2025, de <https://repositorio.uncp.edu.pe/items/c3693cb9-8fca-4326-ac08-b630d4142f03>
- Najera Daza, R. A., & Soldevilla Paucar, J. J. (2023). Población necesaria de *Prunus serotina*, para establecer un balance de las emisiones y el secuestro de CO₂ en la provincia de Chupaca, región Junín, en el año 2022. *Universidad Continental*. Recuperado de <https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/13270>
- Nazir, A., Zarif, N., Haider, A., Khan, A., Usama, M., & Khilji, R. S. (2025). Quantifying the Impact of Tree Species Diversity on Carbon Sequestration Insight of Two-Decade Plantation. *Journal of Asian Development Studies*, 14(2), 170–178. <https://doi.org/10.62345/jads.2025.14.2.14>
- NTP 251.025 2008 | PDF | Muestreo (Estadísticas) | Madera. (s/f). Recuperado el 5 de septiembre de 2025, de <https://es.scribd.com/document/445751680/NTP-251-025-2008>
- Olmedo, G., Guevara, M., Gilabert, H., Montes, C., Arellano, E., Barría-Knopf, B., ... Ryan, M. G. (2020). Baseline of Carbon Stocks in *Pinus radiata* and *Eucalyptus* spp. Plantations of Chile. *Forests*. <https://doi.org/10.20944/preprints202009.0102.v1>
- Ore Rodriguez, E. G. (2020). *Estimación de la Captura de Co₂, en el humedal Caucato del área de conservación regional Ica*. Recuperado de <https://hdl.handle.net/20.500.13028/3216>
- Orellana Jiménez, A. M., & Landi Lata, E. A. (2023). *Estimación de la captura de carbono de la flora arbórea de la ribera del río Tarqui en la zona urbana de la ciudad de Cuenca*,

- Ecuador*. (bachelorThesis). Recuperado de <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/24504>
- Orus, A. (2025). Emisiones de dióxido de carbono a nivel mundial 1995-2024. Recuperado el 22 de octubre de 2025, de Statista website: <https://es.statista.com/estadisticas/635894/emisiones-mundiales-de-dioxido-de-carbono/>
- Osorio Medina. (2024). Biomasa área y secuestro de dióxido de carbono por las principales especies arbóreas diversas del casco urbano, Pichanaqui, Perú | Yotantsipanko. Recuperado el 3 de octubre de 2024, de <https://www.revistas.uniscjsa.edu.pe/index.php/Yotantsipanko/article/view/43>
- Padilla Villalobos, M. A. (2019). Captura de Dióxido de Carbono del Fuste de Acacia macracantha “Faique” y Capparis scabrida “Sapote de perro” en el Bosque Seco Distrito de Jaén – Cajamarca. *Universidad Nacional de Jaén*. Recuperado de <http://repositorio.unj.edu.pe/jspui/handle/UNJ/142>
- Pinilla Suárez, J. C., Navarrete, F., Luengo Vergara, K., & Navarrete T., M. (2023). *Modelos de estimación de la densidad básica de la madera de Acacia dealbata y A. mearnsii mediante espectroscopía de infrarrojo cercano (NIR)*. Recuperado de <https://bibliotecadigital.infor.cl/>
- Quintela, A., Ferreira, D., Fabres, S., & Coutinho, J. (2024). A Survey of Organic Carbon Stocks in Mineral Soils of Eucalyptus globulus Labill. Plantations under Mediterranean Climate Conditions. *Forests*, 15(8), 1335. <https://doi.org/10.3390/f15081335>
- Ramírez López, J. L., Chagna Avila, E. J., Ramírez López, J. L., & Chagna Avila, E. J. (2019). Secuestro de carbono en la biomasa aérea de una plantación de Eucalyptus grandis W. Hill. *Revista Cubana de Ciencias Forestales*, 7(1), 86–97.

- Requejo Estela, S. (2024). *Evaluación de la captura de carbono en plantaciones forestales, sector Pabloyacu, Moyobamba, San Martín* (Universidad Católica Sedes Sapientiae). Universidad Católica Sedes Sapientiae. Recuperado de <https://repositorio.ucss.edu.pe/item/e1adf79e-02f9-4496-87cb-91c8e320232a>
- Ruiz, E. P., & Vichot, M. B. (2014). La retención de carbono en plantaciones forestales. estudio de caso: Empresa Forestal Integral “Cienfuegos”. *Revista Cubana de Ciencias Forestales*, 2(2), 203–213.
- Sanchez Herrera, C. P. (2024). *Propiedades físicas y mecánicas de la madera de Alnus acuminata Kunth del departamento de Cajamarca, Perú*. Recuperado de <https://repositorio.unach.edu.pe/handle/20.500.14142/636>
- Sela, G. (2022). Secuestro de carbono del suelo – Un enfoque para mitigar el cambio climático. Recuperado el 23 de octubre de 2025, de <https://cropaia.com/es/blog/secuestro-carbono-suelo/>
- SERFOR. (2016). Primer Informe Parcial del Inventario Nacional Forestal y de Fauna Silvestre—2016. *Ministerio de Agricultura y Riego*. Recuperado de <http://repositorio.midagri.gob.pe:80/jspui/handle/20.500.13036/547>
- Sigala-Cerros, C. L., Suárez-Islas, A., Prieto-Ruíz, J. Á., Carrillo-Parra, A., Domínguez-Calleros, P. A., & Télles, J. R. G. (2023). Propiedades físico-mecánicas de la madera de *Pinus greggii* var. *Australis* de una plantación en Hidalgo, México. *Ciencia & Investigación Forestal*, 51–62. <https://doi.org/10.52904/0718-4646.2023.585>
- Silva Melendez, T. B. (2024). *Estimación de la biomasa y carbono aéreo de plantaciones de Pinus patula de los distritos de Chachapoyas y Huancas mediante teledetección*. Recuperado de <https://repositorio.untrm.edu.pe/handle/20.500.14077/4361>

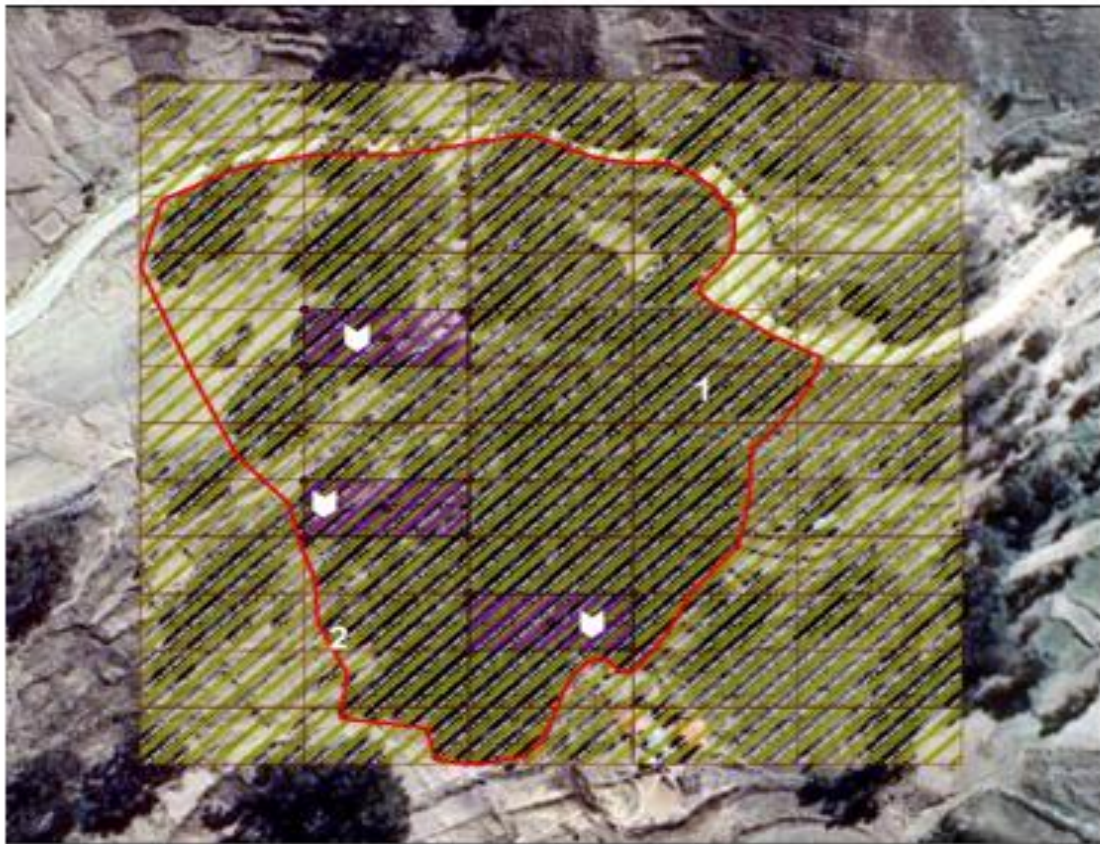
- Soeder, D. J. (2021). Greenhouse gas sources and mitigation strategies from a geosciences perspective. *Advances in Geo-Energy Research*, 5(3), 274–285. <https://doi.org/10.46690/ager.2021.03.04>
- Tafur Anzualdo, V. I., Aguirre Chavez, F., Vega-Guevara, M., Esenarro, D., & Vilchez Cairo, J. (2024). Causes and Effects of Climate Change 2001 to 2021, Peru. *Sustainability*, 16(7), 2863. <https://doi.org/10.3390/su16072863>
- Talenas, D. C., & Helen, S. (2018). Captura de carbono en plantas forestales de 10 años de edad en el i.e.s.t.p. nor oriental de la selva, distrito de la banda de Shilcayo – provincia y región San Martín, agosto – octubre 2018. *Universidad de Huánuco*. Recuperado de <https://repositorio.udh.edu.pe/xmlui/handle/123456789/1489>
- Taquire Arroyo, A. F. (2023). Anatomía y propiedades de la madera. Recuperado el 23 de octubre de 2025, de Biblioteca nacional del Perú website: <http://isbn.bn.p.gob.pe/>
- Tello Sanchez, G. S., & Vargas Urbano, M. (2019). *Determinación de captura de carbono aplicando ecuaciones alométricas en especies forestales de Schinus latifolius, Eucalyptus globulos, Vachellia macracantha y Pouteria lúcuma en la Universidad Peruana Unión, Lima – Perú*. Recuperado de <http://repositorio.upeu.edu.pe/handle/20.500.12840/1774>
- Terán Cruz, A. I., & Uriol Portilla, T. R. (2020). Determinación de la cantidad de captura de CO₂ y producción de O₂ de las especies arbóreas del distrito de Trujillo. *Repositorio Institucional - UCV*. Recuperado de <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/65310>
- Valdera Salazar, C. A. (2020, diciembre 2). Comparación de las propiedades físico-mecánicas de las maderas eucalipto, tornillo y copaiba para encofrados en obra, 2019. Recuperado el 22 de mayo de 2025, de Repositorio.upn.edu.pe website: <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/26227>

- Valverde, J. C., Barrena, V. M., & Guillén, R. (2019). Estimación de la biomasa aérea de *Eucalyptus globulus* Labill plantado en cercos vivos, distrito Huertas, Junín (Perú). *Revista Forestal del Perú*, 34(1), 52–65. <https://doi.org/10.21704/rfp.v34i1.1285>
- Vega, L. P., Garcia, D. F., Sierra-Parada, R., & Pirazan, I. (2024). CO2 Capture Capacity Measurement Using Multitemporal Analysis and Biophysical Variables in a Tropical Humid Forest in the Colombian Andes. *Sustainability*. <https://doi.org/10.3390/su16114809>
- Velasco Hilares, S. M. (2023). Captura de Co2 de plantaciones forestales en avenida de la cultura del distrito de San Sebastián, Cusco.
- Ventocilla García, M. R. (2022). Captura del dióxido de carbono en plantaciones de *Eucalyptus globulus* Labill en la comunidad campesina de Antay, distrito de Cajatambo—Lima.
- Vidal Heidinger, J. B. (2023). Valoración económica del secuestro de CO2 en plantaciones de eucalipto (*Eucalyptus globulus* Labill) y aliso (*Alnus acuminata*) en el distrito de Jircán, provincia Huamalíes, departamento Huánuco.
- Waktole, S., Musa, M., Abara, L., Mezegebu, G., Wale, M., Wubeshet, T., & Tesfaye, A. (2024). Variation of Physical Properties of *Eucalyptus globulus* Grown in Ethiopia. *Indonesian Journal of Innovation and Applied Sciences (IJIAS)*, 4(3), 198–207. <https://doi.org/10.47540/ijias.v4i3.1372>
- Yajahuanca Gaytán, K. R. (2023). *Estimación de carbono con redes neuronales artificiales en plantaciones de Pinus patula en Huancas – Chachapoyas*. Recuperado de <https://repositorio.untrm.edu.pe/handle/20.500.14077/3518>
- Yana Machaca, D. M. (2020). Captura de dióxido de carbono en relación a la biomasa aérea de las especies forestales predominantes del ornato urbano en Juliaca, 2019. *Universidad Nacional de Juliaca*. Recuperado de <http://repositorio.unaj.edu.pe:8080/handle/UNAJ/76>

- Yantas Tinoco, K. (2022). Estimación del nivel de captura de dióxido de carbono del eucalipto (*eucalyptus globulus*), Ciprés (*cupressus macrocarpa*) y Pino (*pinus radiata*), en la localidad de Huariaca, Pasco—2019.
- Zavala Arpi, F. M. (2022). *Captura de CO2 de Pinus radiata y Cupressus macrocarpa en el Boulevard de la avenida Los Próceres y La Cultura de la provincia de Azángaro, 2022*. Recuperado de <http://repositorio.unaj.edu.pe:8080/handle/UNAJ/247>
- Zhang, A., Wang, X., Gu, X., Xu, X., Gao, X., & Jiao, L. (2025). Estimation of the aboveground carbon stocks based on tree species identification in Saihanba plantation forest. *Ecological Indicators*, *173*, 113370. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2025.113370>
- Zhao, C., Zhu, Y., & Meng, J. (2022). Effects of Plot Design on Estimating Tree Species Richness and Species Diversity. *Forests*, *13*(12), 2003. <https://doi.org/10.3390/f13122003>

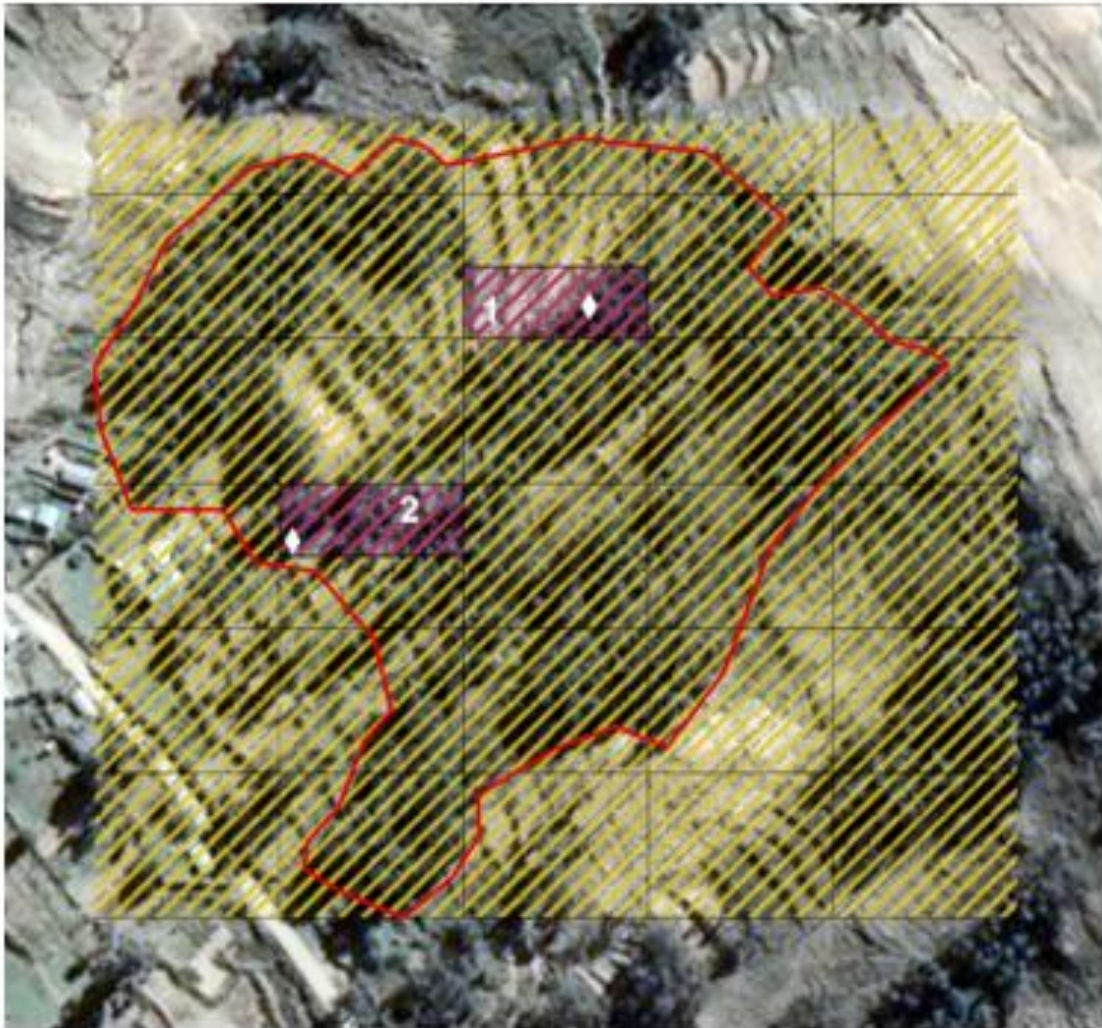
ANEXOS

ANEXO 1. Ubicación georreferenciada de las parcelas en el rodal 1 en el centro poblado de Chocco.



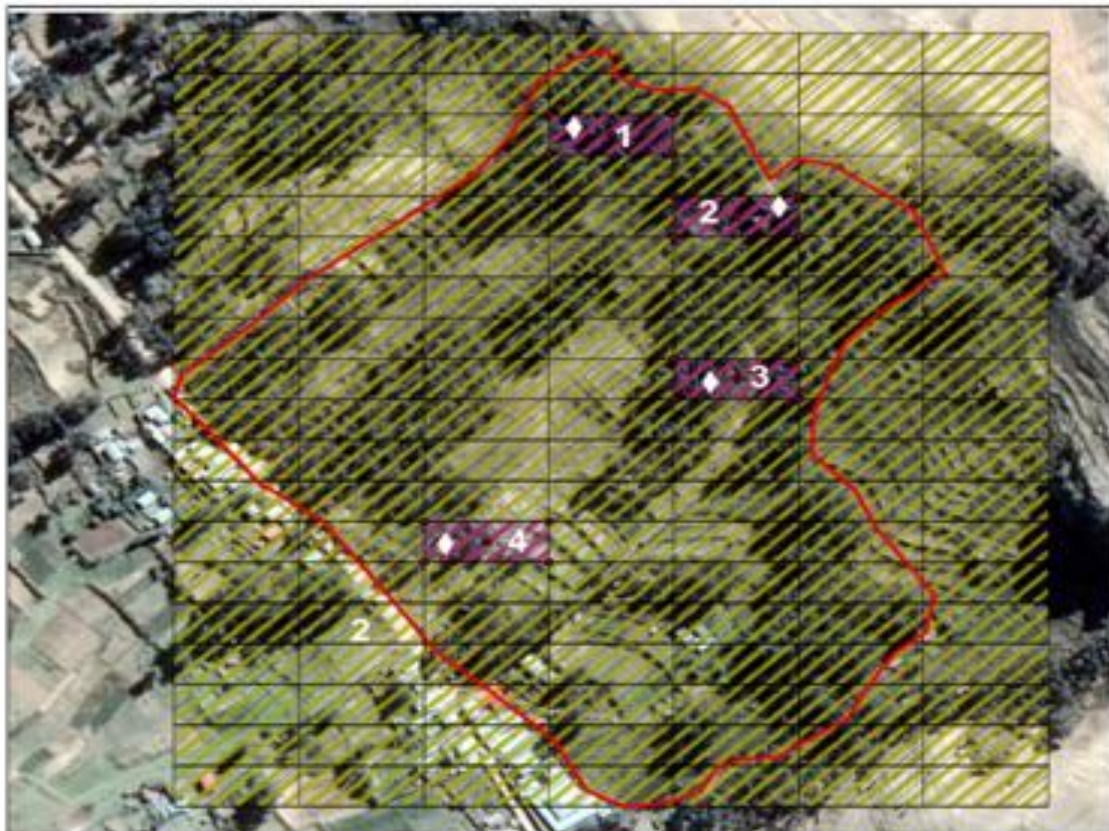
Plantacion	Parcela	X	Y	Long	Latitud
P1	1	399933.837	8325620.58	-69.931371	-15.143221
P1	1	399983.837	8325620.58	-69.930905	-15.143223
P1	1	399983.837	8325600.58	-69.930906	-15.143403
P1	1	399933.837	8325600.58	-69.931371	-15.143402
P1	1	399958.837	8325610.58	-69.931138	-15.143312
P1	2	399933.837	8325560.58	-69.931373	-15.143763
P1	2	399983.837	8325560.58	-69.930908	-15.143765
P1	2	399983.837	8325500.58	-69.93091	-15.144307
P1	2	399933.837	8325540.58	-69.931374	-15.143944
P1	2	399958.837	8325550.58	-69.931141	-15.143854
P1	3	399983.837	8325540.58	-69.930908	-15.143946
P1	3	400033.837	8325500.58	-69.930445	-15.144309
P1	3	400033.837	8325520.58	-69.930444	-15.144129
P1	3	399983.837	8325520.58	-69.930909	-15.144127
P1	3	400008.678	8325510.58	-69.930678	-15.144218

ANEXO 2. Ubicación georrefenciada de las parcelas en rodal 2 del centro poblado de Chocco



Plantacion	Parcela	X	Y	Long	Latitud
P2	1	400689.416	8325227.79	-69.924354	-15.1468
P2	1	400739.416	8325227.79	-69.923889	-15.146802
P2	1	400739.416	8325207.79	-69.923889	-15.146983
P2	1	400689.416	8325207.79	-69.924355	-15.146981
P2	1	400714.416	8325217.79	-69.924122	-15.146892
P2	2	400639.416	8325167.79	-69.924822	-15.147341
P2	2	400689.416	8325167.79	-69.924356	-15.147343
P2	2	400689.416	8325147.79	-69.924357	-15.147524
P2	2	400639.416	8325147.79	-69.924823	-15.147522
P2	2	400664.416	8325157.79	-69.924589	-15.147432

ANEXO 3. Ubicación georreferenciada de las parcelas en el rodal 3 del centro poblado de Chocco



Plantacion	Parcela	X	Y	Long	Latitud
P3	1	400824.877	8325125.05	-69.923097	-15.147734
P3	1	400874.877	8325125.05	-69.922632	-15.147736
P3	1	400874.877	8325105.05	-69.922633	-15.147917
P3	1	400824.877	8325105.05	-69.923098	-15.147915
P3	1	400849.877	8325115.05	-69.922865	-15.147826
P3	2	400874.877	8325085.05	-69.922634	-15.148098
P3	2	400924.877	8325085.05	-69.922168	-15.1481
P3	2	400924.877	8325065.05	-69.922169	-15.148281
P3	2	400924.877	8325005.05	-69.922171	-15.148823
P3	2	400899.877	8325075.05	-69.922401	-15.148189
P3	3	400874.877	8325005.05	-69.922637	-15.148821
P3	3	400874.877	8325065.05	-69.922634	-15.148279
P3	3	400924.877	8324985.05	-69.922172	-15.149004
P3	3	400874.877	8324985.05	-69.922637	-15.149002
P3	3	400900.518	8324995.2	-69.922398	-15.148911
P3	4	400774.877	8324925.05	-69.923571	-15.14954
P3	4	400824.877	8324925.05	-69.923105	-15.149542
P3	4	400824.877	8324905.05	-69.923106	-15.149723
P3	4	400774.877	8324905.05	-69.923571	-15.149721
P3	4	400799.877	8324915.05	-69.923338	-15.149632

ANEXO 4. Ubicación georreferenciada de las parcelas en rodal 4 del centro poblado de Chocco



Plantacion	Parcela	X	Y	Long	Latitud
P4	1	401136.15	8324753.9	-69.920215	-15.151102
P4	1	401186.15	8324753.9	-69.919749	-15.151104
P4	1	401186.15	8324733.9	-69.91975	-15.151284
P4	1	401136.15	8324733.9	-69.920216	-15.151283
P4	1	401161.15	8324743.9	-69.919983	-15.151193
P4	2	401236.15	8324733.9	-69.919285	-15.151286
P4	2	401286.15	8324673.9	-69.918822	-15.151831
P4	2	401286.15	8324653.9	-69.918823	-15.152011
P4	2	401236.15	8324713.9	-69.919286	-15.151467
P4	2	401261.15	8324723.9	-69.919053	-15.151378
P4	3	401286.15	8324733.9	-69.91882	-15.151288
P4	3	401336.15	8324673.9	-69.918357	-15.151833
P4	3	401336.15	8324653.9	-69.918357	-15.152013
P4	3	401286.15	8324713.9	-69.91882	-15.151469
P4	3	401310.31	8324664.2	-69.918597	-15.151919
P4	4	401136.15	8324613.9	-69.92022	-15.152367
P4	4	401186.15	8324613.9	-69.919755	-15.152369
P4	4	401186.15	8324593.9	-69.919756	-15.15255
P4	4	401136.15	8324593.9	-69.920221	-15.152548
P4	4	401161.15	8324603.9	-69.919988	-15.152459
P4	5	401036.15	8324573.9	-69.921153	-15.152725
P4	5	401066.15	8324573.9	-69.920687	-15.152727
P4	5	401066.15	8324553.9	-69.920688	-15.152908
P4	5	401036.15	8324553.9	-69.921153	-15.152906
P4	5	401061.15	8324563.9	-69.92092	-15.152817

ANEXO 5. Ubicación georreferenciada de las parcelas en rodal 5 del centro poblado de Chocco



Plantacion	Parcela	X	Y	Long	Latitud
P5	1	401435.01	8324546.5	-69.917441	-15.152987
P5	1	401485.01	8324546.5	-69.916976	-15.152989
P5	1	401485.01	8324526.5	-69.916977	-15.15317
P5	1	401435.01	8324526.5	-69.917442	-15.153168
P5	1	401460.01	8324536.5	-69.917209	-15.153079
P5	2	401385.01	8324486.5	-69.917909	-15.153528
P5	2	401435.01	8324486.5	-69.917444	-15.15353
P5	2	401435.01	8324466.5	-69.917445	-15.153711
P5	2	401385.01	8324466.5	-69.91791	-15.153709
P5	2	401410.01	8324476.5	-69.917677	-15.153619

ANEXO 6. Informe de análisis del cálculo de carbono almacenado en el suelo emitido por el laboratorio de INIA - ILLPA.



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR
EL ORGANISMO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA
CON REGISTRO N° LE - 200



INFORME DE ENSAYO
N° 030061-25 / SU / LABSAF - ILLPA



I. INFORMACIÓN GENERAL

Cliente : Kevin Albert Mamani Mamani/75270850
 Propietario / Productor : Kevin Albert Mamani Mamani
 Dirección del cliente : Av. Triunfo N°1417-Juliaca
 Solicitado por : Kevin Albert Mamani Mamani
 Muestreado por : Cliente
 Número de muestra(s) : 16
 Producto declarado : Suelo
 Presentación de las muestras(s) : Bolsa de plástico
 Referencia del muestreo : Juliaca
 Procedencia de muestra(s) (***) : Juliaca - San Roman - Puno
 Fecha(s) de muestreo : 2025-02-27
 Fecha de recepción de muestra(s) : 2025-03-05
 Lugar de ensayo : LABSAF ILLPA
 Fecha(s) de análisis : Del 2025-03-24 al 2025-03-27
 Cotización del servicio : 189-25-ILL
 Fecha de emisión : 2025-03-27



Firmado digitalmente por:
 CANIHUA ROJAS Jonge FAU
 20131365994 soft
 Motivo: Soy el autor del documento
 Fecha: 22/04/2025 14:10:26-0500

II. RESULTADO DE ANÁLISIS

ITEM		1	2	3	4	5	6
Código de Laboratorio		SU6391-ILL-25	SU6392-ILL-25	SU6393-ILL-25	SU6394-ILL-25	SU6395-ILL-25	SU6396-ILL-25
Matriz Analizada		Suelo	Suelo	Suelo	Suelo	Suelo	Suelo
Fecha de Muestreo (***)		2025-02-27	2025-02-27	2025-02-27	2025-02-27	2025-02-27	2025-02-27
Hora de Inicio de Muestreo (h) (***)		10:10	10:30	10:55	11:56	12:21	15:12
Condición de la muestra		Conservada	Conservada	Conservada	Conservada	Conservada	Conservada
Código/Identificación de la Muestra por el Cliente (***)		Po1-1	Po1-2	Po1-3	Po2-1	Po2-2	Po3-1
Ensayo	Unidad	LC	Resultados				
pH.	unid. pH	0,1	5,7	6,1	5,3	5,3	5,5
Conductividad Eléctrica	mS/m	1,0	6,2	6,7	5,2	2,8	3,6
Carbono Orgánico Total	%	0,5	1,3	1,6	1,3	0,6	1,4
Materia Orgánica	%	0,5	2,3	2,8	2,3	1,1	2,4
Textura							
arena	%	-	33,46	37,46	27,46	49,46	33,46
arcilla	%	-	15,06	17,06	19,06	13,06	13,06
limo	%	-	51,48	45,48	53,48	37,48	49,48
Clase Textural			Franco Limoso	Franco	Franco Limoso	Franco	Franco
Nitrógeno Total (*)	%	0,10	0,12	0,14	0,12	<0,10	0,12
Potasio Disponible (*)	ppm	3,10	195,50	273,70	156,40	156,40	156,40
Fósforo Disponible (*)	mg/kg	0,1	7,8	61,7	28,8	11,0	10,0



Red de Laboratorios de Suelos, Aguas y Foliarés
 Acreditado con la Norma
 NTP-ISO/IEC 17025:2017
 LABSAF ILLPA - PUNO

E-06 / 10 de 06

INFORME DE ENSAYO
N° 030061-25 / SU / LABSAF - ILLPA



ITEM	7	8	9	10	11	12		
Código de Laboratorio	SU6397-ILL-25	SU6398-ILL-25	SU6399-ILL-25	SU6400-ILL-25	SU6401-ILL-25	SU6402-ILL-25		
Matriz Analizada	Suelo	Suelo	Suelo	Suelo	Suelo	Suelo		
Fecha de Muestreo (***)	2025-02-27	2025-02-27	2025-02-27	2025-02-28	2025-02-28	2025-02-28		
Hora de Inicio de Muestreo (h) (***)	15:41	14:11	10:22	11:46	12:30	13:10		
Condición de la muestra	Conservada	Conservada	Conservada	Conservada	Conservada	Conservada		
Código/Identificación de la Muestra por el Cliente (***)	Po3-2	Po3-3	Po3-4	Po4-1	Po4-2	Po4-3		
Ensayo	Unidad	LC	Resultados					
pH.	unid. pH	0,1	6,4	5,6	5,3	5,9	6,0	5,0
Conductividad Eléctrica	mS/m	1,0	2,3	2,3	3,2	2,9	3,7	3,2
Carbono Orgánico Total	%	0,5	1,3	0,5	1,0	0,8	1,1	0,7
Materia Orgánica	%	0,5	2,3	0,9	1,7	1,3	1,9	1,2
Textura	-	-	-	-	-	-	-	-
arena	%	-	49,46	47,46	47,46	39,46	37,46	37,46
arcilla	%	-	11,06	15,06	11,06	13,06	17,06	17,06
limo	%	-	39,48	37,48	41,48	47,48	45,48	45,48
Clase Textural	-	-	Franco	Franco	Franco	Franco	Franco	Franco
Nitrógeno Total (*)	%	0,10	0,12	<0,10	<0,10	<0,10	0,10	<0,10
Potasio Disponible (*)	ppm	3,10	78,20	117,30	117,30	78,20	117,30	117,30
Fósforo Disponible (*)	mg/kg	0,1	33,15	18,53	7,70	9,33	10,82	25,70
ITEM	13	14	15	16	17	18		
Código de Laboratorio	SU6403-ILL-25	SU6404-ILL-25	SU6405-ILL-25	SU6406-ILL-25	-	-		
Matriz Analizada	Suelo	Suelo	Suelo	Suelo	-	-		
Fecha de Muestreo (***)	2025-02-28	2025-02-28	2025-02-28	2025-02-28	-	-		
Hora de Inicio de Muestreo (h) (***)	13:42	14:23	13:06	13:36	-	-		
Condición de la muestra	Conservada	Conservada	Conservada	Conservada	-	-		
Código/Identificación de la Muestra por el Cliente (***)	Po4-4	Po4-5	Po5-1	Po5-2	-	-		
Ensayo	Unidad	LC	Resultados					
pH.	unid. pH	0,1	4,6	5,8	5,3	5,3	-	-
Conductividad Eléctrica	mS/m	1,0	4,7	3,4	4,1	3,0	-	-
Carbono Orgánico Total	%	0,5	1,1	1,2	1,0	0,8	-	-
Materia Orgánica	%	0,5	1,9	2,1	1,7	1,3	-	-
Textura	-	-	-	-	-	-	-	-
arena	%	-	43,46	49,46	31,46	33,46	-	-
arcilla	%	-	17,06	13,06	15,06	15,06	-	-
limo	%	-	39,48	37,48	53,48	51,48	-	-
Clase Textural	-	-	Franco	Franco	Franco Limoso	Franco Limoso	-	-
Nitrógeno Total (*)	%	0,10	0,10	0,11	<0,10	<0,10	-	-
Potasio Disponible (*)	ppm	3,10	156,40	195,50	156,40	117,30	-	-
Fósforo Disponible (*)	mg/kg	0,1	16,09	16,77	6,62	5,54	-	-



Firmado digitalmente por:
CANIHUA ROJAS Jorge FAU
20131365994 soft
Motivo: Soy el autor del
documento
Fecha: 22/04/2025 14:10:57-0500

INFORME DE ENSAYO
N° 030061-25 / SU / LABSAF - ILLPA



III. METODOLOGÍA DE ENSAYO

ENSAYO	NORMA DE REFERENCIA
pH.	EPA Method 9045 D Rev. 4 2004 Soil and waste pH.
Conductividad Eléctrica	ISO 11265:1994 / Cor 1:1996 Soil quality – Determination of the specific electrical conductivity
Carbono Orgánico Total / Materia Orgánica	Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000. Segunda Sección (31 de Diciembre 2002). ítem 7.1.7, AS-07 2002 Determinación de materia orgánica del suelo (AS-07 Método de Walkley y Black).
Textura	Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000. Segunda Sección (31 de Diciembre 2002). ítem 7.1.9, AS-09 2002 Determinación de la textura del suelo (AS-09 Método de Bouyoucos).
Fósforo Disponible	Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000. Segunda Sección (31 de Diciembre 2002). ítem 7.1.10, AS-10 2002 Determinación de fósforo aprovechable para suelos neutros y alcalinos (AS-10 Método de Olsen y colaboradores).
Fósforo Disponible	Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000. Segunda Sección (31 de Diciembre 2002). ítem 7.1.10, AS-11 Determinación de fósforo extraíble en suelos neutros y ácidos (AS 11 Método de Bray y Kurtz).
Nitrógeno Total	ISO 13878:1998, First Edition 1998 Soil Quality - Determination of total nitrogen by dry combustion (elemental analysis)
Potasio Disponible	Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000 Segunda Sección (31 de Diciembre 2002). ítem 7.1.12, AS-12 // EPA 6010 D. Revision 5. 2018). Validado (modificado y aplicado fuera del alcance) 2023 Determinación de potasio disponible en suelos con saturación de acetato de amonio 1N, PH 7.0 // Inductively Coupled Plasma - Optical Emission Spectrometry.

IV. CONSIDERACIONES

- Estado en las que ingreso la Muestras: Buenas Condiciones de almacenamiento
- Este informe no puede ser reproducido total, ni parcialmente sin la autorización de LABSAF y del cliente.
- Los resultados se relacionan solamente con los ítems sometidos a ensayo
- Los resultados se aplican a las muestras, tales como se recibieron
- Este documento es válido sólo para el producto mencionado anteriormente.
- El Laboratorio no es responsable cuando la información proporcionada por el cliente pueda afectar la validez de los resultados.
- Medición de pH realizada a 25 °C.
- Medición de Conductividad Eléctrica realizada a 25 °C.

(*) El (Los) resultado(s) obtenido(s) corresponde(n) a métodos de ensayo que no han sido acreditados por el INACAL-DA.

(**) El (Los) resultado(s) obtenido(s) corresponde(n) a métodos de ensayo que no han sido acreditados por el INACAL-DA, debido a que la muestra no es idónea para el ensayo.

(***) Este dato ha sido proporcionado por el cliente, por lo que el laboratorio no es responsable de dicha información.

V. AUTORIZACIÓN DEL INFORME DE ENSAYO

- El presente Informe de ensayo ha sido autorizado por: Dalmedio Miranda Q. - Responsable del LABSAF - ILLPA



Firmado digitalmente por:
CANIHUA ROJAS Jorge FAU
20131365004 soft
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 22/04/2025 14:11:15-0500

Firma

Jorge Canihua Rojas
Responsable del Laboratorio EEA Illpa - Puno

FIN DE INFORME DE ENSAYO

ANEXO 7. Constancia de identificación taxonómica de la especie en estudio.



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA AGRONOMICA
LABORATORIO DE TAXONOMIA VEGETAL



CONSTANCIA

El que suscribe jefe del Laboratorio de Taxonomía Vegetal de la Facultad de Ciencias Agrarias de la U.N.A. Puno, hace constar que el espécimen botánico puesto a disposición pertenece a la especie: *Eucalyptus globulus* Labill "Eucalipto" que, según el Sistema de Clasificación Filogenético de Adolph Engler, posee la siguiente Posición Taxonómica:

REINO	Plantae
SUB REINO	Phanerogamae
DIVISIÓN	Angiospermae
CLASE	Dicotyledoneae
SUB CLASE	Archychlamydeae
ORDEN	Myrtales
FAMILIA	Mirtaceae
GENERO	Eucalyptus
ESPECIE	<i>Eucalyptus globulus</i> Labill

Según la solicitud las muestras son para un trabajo de tesis, se expide la presente constancia a petición escrita del interesado: **Kevin Albert Mamani Mamani**, egresado de la escuela profesional de Ingeniería Ambiental y Forestal de la Universidad Nacional de Juliaca, para los fines que vieren por conveniente.




Dr. Edwin Felino Ruelas
Jefe de Laboratorio de Taxonomía Vegetal




Dr. Javier Mamani Paredes
DECANO

ANEXO 8. Fichas de datos de campo.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA AMBIENTAL Y FORESTAL



FICHA DE DATOS DE CAMPO

Fecha: 17-02-25
 Testista: Kevin Alberto Mamani Mamani
 Lugar: Centro Poshulo de Chorro
 Especie: Eucalyptus Globulus, Lb.11

N° de plantación: N:1
 N° de parcela: 2

N°	Código del árbol	Coordenadas UTM		Altitud (msnm)	Altitud del operador (msnm)	DAP (cm)	Distancia hacia el árbol	Angulo hacia el ápice	Angulo hacia la base	Altura de fuste (m)	Observaciones
		Este	Norte								
1	P2-1	400871.573	625203.844	3999.421m	3850	20.6	20 m.	60°	-13°	-	Ninguna
2	P2-2	400871.573	625203.844	3999.421m	3852	28.3	20 m.	57°	-8°	-	Ninguna
3	P2-3	400871.573	625203.844	3999.421m	3854	14.8	20 m.	40°	-10°	-	Ninguna
4	P2-4	400871.573	625203.844	3999.421m	3851	19.2	20 m.	38°	-12°	-	Ninguna
5	P2-5	400871.573	625203.844	3999.421m	3852	14.8-16	20 m.	47°	-15°	-	Bronceado
6	P2-6	400871.573	625203.844	3999.421m	3850	31.2	20 m.	35°	-20°	-	Ninguna
7	P2-7	400871.573	625203.844	3999.421m	3850	20.4	20 m.	55°	-22°	-	Ninguna
8	P2-8	400871.573	625203.844	3999.421m	3850	31.2-22	20 m.	44°	-16°	-	Elforado
9	P2-9	400871.573	625203.844	3999.421m	3850	45.6	20 m.	40°	-18°	-	Ninguna
10	P2-10	400871.573	625203.844	3999.421m	3852	30.2	20 m.	31°	-12°	-	Ninguna
11	P2-11	400871.573	625203.844	3999.421m	3850	19.3	20 m.	58°	-22°	-	Ninguna
12	P2-12	400871.573	625203.844	3999.421m	3851	21.4	20 m.	15°	-18°	-	Ninguna
13	P2-13	400871.573	625203.844	3999.421m	3850	20.2	20 m.	30°	-16°	-	Ninguna
14	P2-14	400871.573	625203.844	3999.421m	3850	22.6	20 m.	52°	-14°	-	Ninguna
15	P2-15	400871.573	625203.844	3999.421m	3851	32.5	20 m.	42°	-20°	-	Ninguna
16	P2-16	400871.573	625203.844	3999.421m	3850	41.3	20 m.	46°	-21°	-	Ninguna
17	P2-17	400871.573	625203.844	3999.421m	3852	28.6	20 m.	51°	-19°	-	Ninguna

ANEXO 9. Datos dasométricas y volumen de la madera en los rodales evaluados.

Plantación	N° de parcela	N° de arboles	DAN promedio (cm)	Altura prom. (m)	Área basal total (m²)	Volumen Total m³
Plantación 1	P1-1	39	26.0	27.4	2.20	41.66
	P1-2	40	27.5	20.2	2.53	35.67
	P1-3	77	28.2	23.6	5.02	82.89
Plantación 2	P2-1	72	28.9	23.4	5.167	84.62
	P2-2	53	31.6	19.5	5.21	70.92
Plantación 3	P3-1	35	29.3	26.3	2.44	44.03
	P3-2	71	27.1	20.9	4.37	64.51
	P3-3	62	29.1	23.3	4.48	73.77
	P3-4	60	30.6	17.7	4.57	56.88
Plantación 4	P4-1	34	29.7	23.1	2.66	43.27
	P4-2	29	30.2	27.1	2.16	40.95
	P4-3	105	28.1	21.5	6.85	103.66
	P4-4	24	32.0	25.7	2.06	37.02
	P4-5	58	29.0	19.5	3.98	54.20
Plantación 5	P5-1	48	31.7	17.4	4.39	53.95
	P5-2	68	27.3	25.1	4.35	75.64

ANEXO 10. Análisis descriptivo de los datos dasométricos en los rodales evaluadas.

	N° de arboles	DAN promedio (cm)	Altura prom. (m)	Área basal total (m²)	Volumen Total
Mediana	55.5	29.1	23.2	4.36	55.5
Moda	24.0 ^a	26.0 ^a	19.5	2.06 ^a	35.7 ^a
Suma	875	466	362	62.4	964
Desviación estándar	21.3	1.76	3.22	1.40	20.1
Varianza	453	3.10	10.4	1.97	403
Recorrido	81	6.00	10.0	4.79	68.0
Asimetría	0.643	0.0970	-0.0938	0.219	0.613
Error est. Asimetría	0.564	0.564	0.564	0.564	0.564
Curtosis	0.479	-0.731	-1.11	-0.568	-0.428
Error est. Curtosis	1.09	1.09	1.09	1.09	1.09
W de Shapiro- Wilk	0.955	0.968	0.952	0.906	0.931
Valor p de Shapiro-Wilk	0.570	0.813	0.527	0.099	0.250

ANEXO 11. Peso específico básico de la madera en los rodales evaluadas.

Plantación	Código del árbol	Volumen verde (cm³)	Peso Anhidro	Peso específico básico (g/cm³)
Plantación 1	P1-1-1	1.531	0.895	0.584
	P1-1-2	1.847	0.981	0.536
	P1-1-3	1.425	0.955	0.669
	P1-1-4	1.478	0.952	0.644
	P1-1-5	1.276	0.956	0.749
	P1-2-1	1.544	0.818	0.530
	P1-2-2	1.232	0.951	0.772
	P1-2-3	1.188	0.973	0.819
	P1-2-4	1.531	0.824	0.558
	P1-2-5	1.232	0.654	0.531
	P1-3-1	2.138	1.472	0.688
	P1-3-2	1.478	0.881	0.596
	P1-3-3	1.425	0.845	0.592
	P1-3-4	1.786	0.965	0.540
	P1-3-5	1.232	0.756	0.613
Plantación 2	P2-1-1	1.588	0.978	0.616
	P2-1-2	1.663	0.975	0.586
	P2-1-3	1.145	0.655	0.572
	P2-1-4	1.324	0.855	0.646
	P2-1-5	1.473	0.867	0.589
	P2-2-1	1.324	0.853	0.644
	P2-2-2	1.374	0.822	0.598
	P2-2-3	1.188	0.687	0.578
	P2-2-4	1.374	0.877	0.638
	P2-2-5	1.103	0.689	0.624

	P3-1-1	1.425	0.921	0.646
	P3-1-2	1.531	0.943	0.615
	P3-1-3	1.724	1.027	0.595
	P3-1-4	1.531	0.898	0.586
	P3-1-5	1.425	0.856	0.600
	P3-2-1	1.663	0.921	0.553
	P3-2-2	0.232	0.816	0.662
	P3-2-3	2.376	1.571	0.661
	P3-2-4	1.188	0.854	0.718
Plantación 3	P3-2-5	1.786	0.956	0.535
	P3-3-1	1.307	0.855	0.654
	P3-3-2	1.847	1.153	0.624
	P3-3-3	1.169	0.788	0.673
	P3-3-4	1.021	0.511	0.500
	P3-3-5	1.188	0.744	0.626
	P3-4-1	1.615	0.933	0.577
	P3-4-2	1.187	0.821	0.691
	P3-4-3	1.786	0.988	0.553
	P3-4-4	1.231	0.781	0.634
	P3-4-5	1.585	0.878	0.553

	P4-1-1	1.330	0.712	0.535
	P4-1-2	1.425	0.955	0.669
	P4-1-3	1.103	0.711	0.644
	P4-1-4	1.235	0.698	0.564
	P4-1-5	1.145	0.666	0.581
	P4-2-1	0.882	0.524	0.593
	P4-2-2	0.832	0.412	0.495
	P4-2-3	0.916	0.635	0.693
	P4-2-4	1.062	0.812	0.764
	P4-2-5	1.259	0.855	0.679
	P4-3-1	0.882	0.522	0.591
Plantación 4	P4-3-2	0.950	0.544	0.572
	P4-3-3	1.231	0.784	0.636
	P4-3-4	1.275	0.754	0.590
	P4-3-5	1.235	0.766	0.620
	P4-4-1	1.187	0.754	0.634
	P4-4-2	0.950	0.645	0.678
	P4-4-3	1.354	0.794	0.586
	P4-4-4	1.330	0.788	0.592
	P4-4-5	0.950	0.633	0.666
	P4-5-1	1.187	0.766	0.644
	P4-5-2	1.187	0.778	0.654
	P4-5-3	1.377	0.812	0.589
	P4-5-4	1.187	0.754	0.634
	P4-5-5	0.950	0.687	0.722

	P5-1-1	1.188	0.628	0.528
	P5-1-2	1.330	0.855	0.642
	P5-1-3	1.544	0.912	0.590
	P5-1-4	1.188	0.814	0.685
Plantación 5	P5-1-5	1.281	0.788	0.615
	P5-2-1	1.188	0.744	0.626
	P5-2-2	1.235	0.854	0.691
	P5-2-3	0.950	0.602	0.633
	P5-2-4	0.832	0.412	0.495
	P5-2-5	1.188	0.711	0.598
Promedio del peso específico básico de la madera de Eucalyptus				0.6187
Globulus Labill				

ANEXO 12. Densidad del suelo *Eucalyptus globulus* Labill por rodal.

Plantación	Código de muestra	Profundidad de muestreo (cm)	Volumen del cilindro (cm³)	Peso seco (g)	Densidad aparente (g/cm³)
	Po1-1	20-30	221.306	214.055	0.845
Plantación 1	Po1-2	20-30	221.306	222.787	0.884
	Po1-3	20-30	221.306	197.219	0.769
Plantación 2	Po2-1	20-30	221.306	235.015	0.940
	Po2-2	20-30	221.306	204.952	0.804
Plantación 3	Po3-1	20-30	221.306	217.107	0.859
	Po3-2	20-30	221.306	217.838	0.862
	Po3-3	20-30	221.306	232.333	0.928
	Po3-4	20-30	221.306	266.251	1.081
Plantación 4	Po4-1	20-30	221.306	246.167	0.990
	Po4-2	20-30	221.306	206.174	0.809
	Po4-3	20-30	221.306	249.557	1.005
	Po4-4	20-30	221.306	245.556	0.987
	Po4-5	20-30	221.306	235.921	0.944
Plantación 5	Po5-1	20-30	221.306	193.673	0.753
	Po5-2	20-30	221.306	217.297	0.860
Promedio a partir de las 16 muestras					0.8758

ANEXO 13. Contenido de materia orgánica, carbono orgánico total y carbono fijado en el suelo de los rodales evaluados.

Plantación	Código de muestra	Porcentaje de materia orgánica (%)	Carbono orgánico total (%)	Carbono fijado en el suelo kg/m²
	Po1-1	2.3	1.3	3.382
Plantación 1	Po1-2	2.8	1.6	4.309
	Po1-3	2.3	1.3	3.077
Plantación 2	Po2-1	1.1	0.6	1.799
	Po2-2	1.6	0.9	2.238
	Po3-1	2.4	1.4	3.586
Plantación 3	Po3-2	2.3	1.3	3.450
	Po3-3	0.9	0.5	1.453
	Po3-4	1.7	1.0	3.197
	Po4-1	1.3	0.8	2.240
	Po4-2	1.9	1.1	2.676
Plantación 4	Po4-3	1.2	0.7	2.099
	Po4-4	1.9	1.1	3.264
	Po4-5	2.1	1.2	3.449
Plantación 5	Po5-1	1.7	1.0	2.227
	Po5-2	1.3	0.8	1.945

ANEXO 14. Panel fotográfico



Figura 14. Rodales de *Eucalyptus Globulus Labill* en el centro poblado de Chocco



Figura 15. Ubicación de los rodales



Figura 16. Delimitación de las parcelas



Figura 17. *Uso del hipsómetro árbol*



Figura 18. *Medición de la altura total del árbol*



Figura 19. *Medida de altura para el DN (1.30m)*



Figura 20. *Medida de altura para el DN*



Figura 21. *Uso de la forcípula*



Figura 22. *Medición del DN*



Figura 23. *Medición del diámetro altura pecho*



Figura 24. *Uso del barreno de Pressler*



Figura 25. Extracción de muestras de madera



Figura 26. Cavado de suelo para recolección de muestra

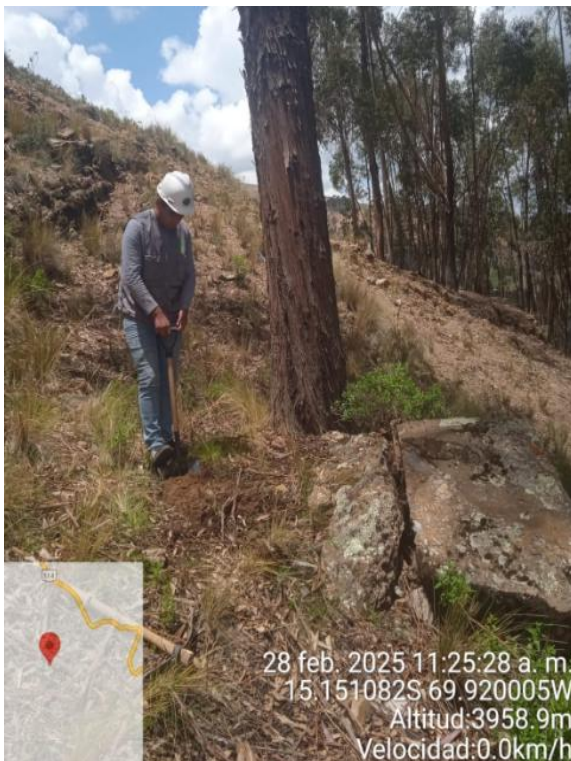


Figura 27. Calicata de 20-30 cm de profundidad



Figura 28. Recolección de muestra de suelo



Figura 29. Embolsado de las muestras de suelo



Figura 30. Muestras de suelo para análisis en laboratorio



Figura 31. Pesado de cilindro vacío para cálculo de densidad del suelo



Figura 32. Peso de cilindro más muestra de suelo



Figura 33. *Muestras de suelo de las 5 plantaciones para la determinación de densidad aparente del suelo*



Figura 34. *Muestras de suelo para calculo de densidad aparente*



Figura 35. *Secado de las muestras en la Estufa*



Figura 36. *Peso de las virutas de madera*



Figura 37. *Medición del diámetro de las virutas de la madera*



Figura 38. *Secado de las muestras de madera en la estufa para el cálculo de peso específico básico de la madera*



Figura 39. *Pesado de las muestras de madera secado al horno para la determinación de peso específico básico de la madera*



UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA

"Universidad Pública de Calidad"



UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA

"Universidad Pública de Calidad"