

**UNIVERSIDAD NACIONAL  
SANTIAGO ANTÚNEZ DE MAYOLO  
FACULTAD DE CIENCIAS DEL AMBIENTE  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**



**ESTIMACIÓN DE LAS RESERVAS TOTALES DE CARBONO  
ALMACENADO EN LOS BOSQUES DOMINADOS POR EL  
GÉNERO *POLYLEPIS* DE LAS QUEBRADAS DE LLACA Y  
QUILLCAYHUANCA, HUARAZ, ÁNCASH, 2022**

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

**PRESENTADO POR:**

**Br. EDUARDO LUISENRIQUE SANCHEZ CARRIÓN**

**ASESOR:**

**Dr. EDWIN JULIO PALOMINO CADENAS**

**HUARAZ, ÁNCASH, PERÚ**

**2024**





"Año del Bicentenario, de la consolidación de nuestra Independencia,  
y de la conmemoración de las heroicas batallas de Junín y Ayacucho"

## ACTA DE SUSTENTACIÓN Y DEFENSA DE TESIS

Los Miembros del Jurado en pleno que suscriben, reunidos en la fecha, en el Auditorio de la Facultad de Ciencias del Ambiente (FCAM) de la Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo (UNASAM), 1er. Piso - Pabellón J - Ciudad Universitaria - Independencia - Huaraz, de conformidad a la normatividad vigente procesan el acto académico público de sustentación y defensa de la tesis "**ESTIMACIÓN DE LAS RESERVAS TOTALES DE CARBONO ALMACENADO EN LOS BOSQUES DOMINADOS POR EL GÉNERO POLYLEPIS DE LAS QUEBRADAS DE LLACA Y QUILLCAYHUANCA, HUARAZ, ÁNCASH, 2022**" que presenta **SANCHEZ CARRIÓN EDUARDO LUISENRIQUE**, para optar el **Título Profesional de Ingeniero Ambiental**

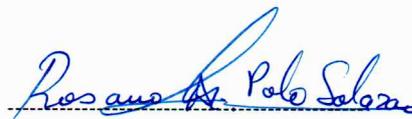
En seguida, después de haber atendido la exposición oral y escuchada las respuestas a las preguntas y observaciones formuladas, lo declaramos:

*...APROBADO... CON DISTINCIÓN*

Con el calificativo de: *Decisiete (17)*

En consecuencia, **SANCHEZ CARRIÓN EDUARDO LUISENRIQUE**, queda expedito para que el Consejo de Facultad de la FCAM-UNASAM apruebe el otorgamiento de su **Título Profesional de Ingeniero Ambiental** de conformidad al Art. 113 numeral 113.9 del Reglamento General de la UNASAM (Resolución de Consejo Universitario N° 399-2015-UNASAM), el Art. 48° y 4ta. disposición complementaria del Reglamento General de Grados y Títulos de la UNASAM (Resolución de Consejo Universitario - Rector N° 761-2017-UNASAM).

Huaraz, 19 de junio de 2024



M. Sc. **ROSARIO ADRIANA POLO SALAZAR**  
Jurado de tesis (presidenta)



Ing. **FRIDA MÓNICA CABALLERO BEDRIÑANA**  
Jurado de tesis (1er. miembro)



M. Sc. **CHRISTIE CIBELES DURAN GARCÍA**  
Jurado de tesis (2do. miembro)



Dr. **EDWIN JULIO PALOMINO CADENAS**  
Asesor de tesis



## CONSTANCIA 19-2024-UI-FCAM–UNASAM EVALUACIÓN DE SIMILITUD

El que suscribe, Director de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ciencias del Ambiente de la Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo hace constar que:  
La versión final de la tesis **“ESTIMACIÓN DE LAS RESERVAS TOTALES DE CARBONO ALMACENADO EN LOS BOSQUES DOMINADOS POR EL GÉNERO POLYLEPIS DE LAS QUEBRADAS DE LLACA Y QUILLCAYHUANCA, HUARAZ, ÁNCASH, 2022”**, del joven **EDUARDO LUISENRIQUE SANCHEZ CARRIÓN**, identificado con **DNI N° 73705748**, tras ser sometido a revisión mediante la plataforma de evaluación de similitud por su asesor el Dr. **Edwin Julio Palomino Cadenas**, conforme el Artículo 11° del Reglamento de Originalidad y/o Grado de Similitud de la Producción Académica, Científica e Investigativa de la Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo, Resolución de Consejo Universitario N° 126-2022-UNASAM, tiene una **similitud del 9%**.

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

Huaraz, **24 de junio de 2024**.



Ph.D Edwin Anibal Loarte Cadenas  
**DIRECTOR**  
UNIDAD DE INVESTIGACION  
FCAM - UNASAM

CC. Archivo  
Adjunto: Informe de similitud antiplagio de su Asesor

Anexo de la R.C.U N° 126 -2022 -UNASAM  
**ANEXO 1**  
**INFORME DE SIMILITUD.**

El que suscribe (asesor) del trabajo de investigación titulado:

**ESTIMACIÓN DE LAS RESERVAS TOTALES DE CARBONO ALMACENADO  
EN LOS BOSQUES DOMINADOS POR EL GÉNERO POLYLEPIS DE LAS  
QUEBRADAS DE LLACA Y QUILLCAYHUANCA, HUARAZ, ÁNCASH, 2022**

Presentado por:

Eduardo Luisenrique Sanchez Carrion

con DNI N°: 73705748

para optar el Título Profesional de:

Ingeniero Ambiental

Informo que el documento del trabajo anteriormente indicado ha sido sometido a revisión, mediante la plataforma de evaluación de similitud, conforme al Artículo 11 ° del presente reglamento y de la evaluación de originalidad se tiene un porcentaje de : .....9%..... de similitud.

**Evaluación y acciones del reporte de similitud de los trabajos de los estudiantes/ tesis de pre grado (Art. 11, inc. 1).**

Porcentaje			
Trabajos de estudiantes	Tesis de pregrado	Evaluación y acciones	Seleccione donde corresponda
Del 1 al 30%	Del 1 al 25%	Esta dentro del rango aceptable de similitud y podrá pasar al siguiente paso según sea el caso.	<input checked="" type="radio"/>
Del 31 al 50%	Del 26 al 50%	Se debe devolver al estudiante o egresado para las correcciones con las sugerencias que amerita y que se presente nuevamente el trabajo.	<input type="radio"/>
Mayores a 51%	Mayores a 51%	El docente o asesor que es el responsable de la revisión del documento emite un informe y el autor recibe una observación en un primer momento y si persistiese el trabajo es invalidado.	<input type="radio"/>

Por tanto, en mi condición de Asesor/ Jefe de Grados y Títulos de la EPG UNASAM/ Director o Editor responsable, firmo el presente informe en señal de conformidad y adjunto la primera hoja del reporte del software anti-plagio.

Huaraz, 25/06/2024

Apellidos y Nombres:

  
FIRMA  
Palomino Cadenas Edwin Julio

DNI N°:

31674598

Se adjunta:

1. Reporte completo Generado por la plataforma de evaluación de similitud

NOMBRE DEL TRABAJO

**INFORME TESIS EDUARDO SANCHEZ\_V2  
.pdf**

AUTOR

**Eduardo Sánchez**

RECUENTO DE PALABRAS

**30372 Words**

RECUENTO DE CARACTERES

**162552 Characters**

RECUENTO DE PÁGINAS

**130 Pages**

TAMAÑO DEL ARCHIVO

**4.3MB**

FECHA DE ENTREGA

**May 3, 2024 4:55 PM GMT-5**

FECHA DEL INFORME

**May 3, 2024 4:57 PM GMT-5****● 9% de similitud general**

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base de datos.

- 9% Base de datos de Internet
- 1% Base de datos de publicaciones

**● Excluir del Reporte de Similitud**

- Base de datos de Crossref
- Base de datos de contenido publicado de Crossref
- Base de datos de trabajos entregados
- Material bibliográfico
- Material citado
- Material citado
- Coincidencia baja (menos de 10 palabras)

## DEDICATORIA

A mis queridos padres,  
por todo su apoyo y sacrificio  
en mi bienestar y educación,  
a ellos todo mi respeto y gratitud.

A mi hermana, por  
sus valiosos consejos y  
brindarme ánimos en cada situación  
de mi formación profesional.

A mis hermanos pequeños,  
por su ayuda constante y paciencia  
que me fortalecieron en  
situaciones difíciles de mi salud.

***Eduardo Luisenrique Sánchez Carrión***

## AGRADECIMIENTO

Agradezco a mi familia. A mi madre, Victoria Carrión, y mi padre, Elías Sánchez, los mejores padres que siempre velan por mi bienestar y formación profesional y que me han brindado la vida y todo su amor y apoyo para poder cumplir mis metas y objetivos.

A mis hermanos, Helen, José y María, ayuda constante y paciencia en los momentos difíciles de mi salud y por motivarme a seguir adelante en mi formación profesional.

A la Facultad de Ciencias del Ambiente de la Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo, por brindarme herramientas y conocimientos para encaminar mi desarrollo profesional. También a los docentes, por brindarme enseñanzas que sirvieron para aumentar mi experiencia y formación profesional.

A la Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo que me ha dado la oportunidad de estudiar y cumplir con mis objetivos para terminar mis estudios de Ingeniería Ambiental y por la subvención de mi proyecto de tesis, que agradezco por generar oportunidades a egresados en favor del desarrollo de investigación y conocimiento científico en la región Ancash.

A mi asesor el Dr. Edwin Julio Palomino Cadenas, por su apoyo constante, la asesoría, tiempo, confianza y por los importantes aportes que me ha brindado en cada etapa del proyecto, haciendo posible su desarrollo y culminación,

A mis amigos y compañeros, que me dieron consejos y apoyo durante el proceso de mis estudios y formación profesional.

## RESUMEN

El presente trabajo de investigación tuvo como objetivo estimar las reservas totales de carbono almacenado y el valor económico de captura de carbono a partir del CO<sub>2</sub> fijado en dos escenarios: uno en un bosque natural conservado de *Polylepis* de la Quebrada Llaca y el otro en bosque sembrado de *Polylepis* con más de 30 años de antigüedad de la portada Quillcayhuanca localizados en el Parque Nacional Huascarán. Se delimitó y estratificó cada bosque de *Polylepis*, en Bosque muy denso (BMD) y Bosque denso (BDE), donde se establecieron ocho parcelas de muestreo de 400 m<sup>2</sup> en cada uno. En dichas parcelas se realizó la estimación de la cantidad total de carbono orgánico y CO<sub>2</sub> fijado en la biomasa vegetal total y suelo a 50 cm de profundidad, mediante fórmulas alométricas y la metodología del ICRAF y se determinó el valor económico del servicio ambiental de captura de carbono a partir del precio social del carbono actual del Perú.

Los resultados muestran que el bosque *Polylepis* de Llaca contiene 9,853.73 tC en la biomasa vegetal total y 12,654.03 tC en suelo, teniendo un total de 22,507.76 tC almacenado que equivale a 82,528.46 tCO<sub>2</sub> fijado y de valor económico total de captura de carbono de US\$ 3 548 723.86 tCO<sub>2</sub>e/año, asimismo el bosque *Polylepis* de Quillcayhuanca contiene 610.93 tC en la biomasa vegetal total y 1,737.95 tC en suelo, teniendo un total de 2,348.88 tC almacenado que equivale a 8,612.57 tCO<sub>2</sub> fijado y un valor económico total de captura de carbono de US\$ 370,340.53 tCO<sub>2</sub>e/año. Se concluye que los bosques de estudio ofrecen altos índices de almacenamiento y captura de carbono en la vegetación y suelo generando una buena regulación y equilibrio del ciclo de carbono en su entorno natural.

**Palabras claves:** Bosque de *Polylepis*, quebradas, reservas de carbono, captura de carbono, biomasa vegetal, suelo, valor económico.

## ABSTRACT

The objective of this research work was to estimate the total reserves of stored carbon and the economic value of carbon capture from the fixed CO<sub>2</sub> in two scenarios: one in a conserved natural forest of *Polylepis* de la Quebrada Llaca and the other in a planted forest. of *Polylepis* with more than 30 years old from the Quillcayhuanca cover located in the Huascarán National Park. Each *Polylepis* forest was delimited and stratified into very dense forest (BMD) and dense forest (BDE), where eight sampling plots of 400 m<sup>2</sup> were established in each one. In these plots, the estimation of the total amount of organic carbon and CO<sub>2</sub> fixed in the total plant biomass and soil at 50 cm depth was carried out, using allometric formulas and the ICRAF methodology, and the economic value of the environmental service of carbon capture was determined. carbon based on Peru's current social carbon price.

The results show that the *Polylepis* de Llaca forest contains 9,853.73 tC in the total plant biomass and 12,654.03 tC in soil, having a total of 22,507.76 tC stored which is equivalent to 82,528.46 tCO<sub>2</sub> fixed and a total economic value of carbon capture of US\$ 3 548 723.86 tCO<sub>2</sub>e/year, likewise the *Polylepis* forest of Quillcayhuanca contains 610.93 tC in the total plant biomass and 1,737.95 tC in soil, having a total of 2,348.88 tC stored which is equivalent to 8,612.57 tCO<sub>2</sub> fixed and a total economic value of carbon capture of US\$ 370,340.53 tCO<sub>2</sub>e/year. It is concluded that the study forests offer high rates of carbon storage and capture in the vegetation and soil, generating good regulation and balance of the carbon cycle in their natural environment.

**Keywords:** *Polylepis* forest, streams, carbon reserves, carbon capture, plant biomass, soil, economic value.

## ABREVIATURAS

Ha	Hectárea
DAP	Diámetro a la altura de pecho
g	Gramo
cm	Centímetro
CO <sub>2</sub>	Dióxido de carbono
Kg	Kilogramo
m	Metro
m <sup>2</sup>	Metro cuadrado
t	Tonelada
tC	Tonelada de carbono
°C	Unidad de Calor en grados centígrados
t/Ha	Tonelada por Hectárea
GEI	Gases de efecto invernadero
tCO <sub>2</sub> e/año	Tonelada de dióxido de carbono equivalente por año
GPS	Sistema de posicionamiento global
Gt	Gigatonelada
Pg	Petagramo
tCO <sub>2</sub> /Ha	Tonelada de dióxido de carbono por Hectárea
m. s. n. m.	Metros sobre el nivel del mar
tC/Ha	Tonelada de carbono por Hectárea
%H	Porcentaje de humedad

REDD	Reducción de emisiones de la deforestación y degradación de bosques
UTM	Sistema de coordenadas transversal de Mercator
SUT	Sistema de uso de la tierra
WGS84	Sistema Geodésico Mundial 1984
US \$	Dólar estadounidense
VET	Valor económico total
PSC	Precio Social de Carbono
PIB	Producto Interior Bruto
PPA	Paridad del Poder Adquisitivo

### **Equivalencias utilizadas**

1 kilómetro	1 000 metros
1 hectárea	10 000 metros cuadrados
1 tonelada	1 000 kilogramos

## SIGLAS INSTITUCIONALES

<b>SIGLAS</b>	<b>DENOMINACIÓN</b>
CMNUCC	Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático
CNUMAD	Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente Desarrollo
FAO	Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación
ICRAF	Centro Internacional para la Investigación en Agroforestería
IPCC	Panel Intergubernamental para el Cambio Climático
MINAM	Ministerio del ambiente
PNUMA	Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente
UNALM	Universidad Nacional Agraria La Molina
UNASAM	Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo
PNH	Parque Nacional Huascarán
INAIGEM	Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña
SERNANP	Servicio Nacional de Áreas Protegidas
REDD	Reducción de Emisiones derivadas de la Deforestación y la Degradación de los bosques
MEF	Ministerio de Economía y Finanzas
PSA	Pago por servicios ambientales
CEPAL	Comisión Económica para América Latina y el Caribe

## ÍNDICE

CONTENIDO	Pág.
DEDICATORIA .....	ii
AGRADECIMIENTO .....	iii
RESUMEN .....	iv
ABSTRACT.....	v
ABREVIATURAS.....	vi
SIGLAS INSTITUCIONALES.....	viii
ÍNDICE .....	ix
LISTA DE FIGURAS.....	xii
LISTA DE TABLAS .....	xiv
CAPÍTULO I.....	1
INTRODUCCIÓN .....	1
1.1. Objetivos.....	4
1.1.1. Objetivo General.....	4
1.1.2. Objetivos específicos.....	4
1.2. Hipótesis .....	4
1.3. Variables.....	4
CAPÍTULO II.....	6
MARCO TEÓRICO .....	6
2.1. Antecedentes.....	6
2.1.1. Antecedentes Internacionales .....	6
2.1.2. Antecedentes Nacionales.....	8
2.2. Bases Teóricas .....	11

ix



2.2.1. Características de los bosques de <i>Polylepis</i> .....	11
2.2.2. Servicios ecosistémicos de bosques .....	20
2.2.3. Importancia de los bosques andinos en el cambio climático .....	22
2.2.4. Importancia de los bosques como almacenes de carbono .....	22
2.2.5. Métodos para la estimar la biomasa y carbono en bosques.....	24
2.2.6. Procesos del ciclo natural de carbono.....	26
2.2.7. Cambio climático y dióxido de carbono .....	33
2.2.8. Valor económico de servicios ambientales.....	35
2.2.9. Marco legal sobre gestión del carbono en Perú .....	41
2.3. Definición de términos básicos .....	45
<b>CAPÍTULO III .....</b>	<b>48</b>
<b>METODOLOGÍA .....</b>	<b>48</b>
3.1. Tipo de Investigación .....	48
3.2. Diseño de Investigación.....	48
3.3. Población y muestra .....	49
3.4. Métodos y técnicas .....	54
3.4.1. Descripción del área de estudio .....	54
3.4.2. Etapa inicial: Determinación y estratificación del área de estudio .....	59
3.4.3. Etapa en campo: Recolección de muestras de biomasa y suelo .....	60
3.4.4. Etapa en laboratorio: Análisis de muestras de biomasa y suelo .....	66
3.4.5. Etapa en gabinete: Determinación de carbono orgánico y CO <sub>2</sub> en biomasa y suelo.....	67
3.5. Instrumentos validados de recolección de datos .....	74
3.6. Plan de procesamiento y análisis estadístico de la información .....	74
<b>CAPÍTULO IV.....</b>	<b>75</b>
<b>RESULTADOS.....</b>	<b>75</b>
4.1. Carbono orgánico de biomasa vegetal y suelo .....	75
4.2. Carbono orgánico total en el sistema de uso de la tierra (tC/ha) .....	85
4.3. Carbono fijado del ecosistema (tCO <sub>2</sub> ).....	90
4.4. Valor económico de carbono fijado en el ecosistema .....	91
<b>CAPÍTULO V.....</b>	<b>93</b>

<b>DISCUSIÓN DE RESULTADOS</b> .....	<b>93</b>
5.1. Cantidad de carbono orgánico en la biomasa vegetal total .....	93
5.2. Cantidad total de carbono almacenado en el suelo .....	97
5.3. Cantidad total de carbono almacenado en los bosques de estudio .....	99
5.4. Cantidad total de CO <sub>2</sub> fijado en los bosques de estudio .....	100
5.5. Valoración económica de CO <sub>2</sub> fijado en el ecosistema .....	101
<b>CAPITULO VI</b> .....	<b>103</b>
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b> .....	<b>103</b>
6.1. Conclusiones .....	103
6.2. Recomendaciones .....	105
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>107</b>
<b>ANEXOS</b> .....	<b>116</b>

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b>	Procesos del ciclo del carbono en bosques .....	23
<b>Figura 2</b>	Etapas de fijación y almacenamiento de carbono forestal.....	24
<b>Figura 3</b>	Carbono orgánico y su ciclo biogeoquímico .....	27
<b>Figura 4</b>	Depósitos naturales de carbono en un árbol .....	29
<b>Figura 5</b>	Carbono capturado en diferentes tipos de bosques .....	30
<b>Figura 6</b>	Movimiento del carbono por los componentes bióticos .....	32
<b>Figura 7</b>	Diagrama de diseño de investigación.....	48
<b>Figura 8</b>	Ubicación de las parcelas y estratos de bosque Llaca .....	51
<b>Figura 9</b>	Ubicación de parcelas y estratos del bosque Quillcayhuanca .....	52
<b>Figura 10</b>	Mapa de zonificación del Parque Nacional Huascarán.....	58
<b>Figura 11</b>	Identificación, selección y caracterización de los sitios de estudio ..	60
<b>Figura 12</b>	Establecimiento de parcelas de muestreo .....	61
<b>Figura 13</b>	Medición de diámetro de los árboles <i>Polylepis</i> .....	62
<b>Figura 14</b>	Colecta de muestras de biomasa arbustiva y herbácea .....	63
<b>Figura 15</b>	Colecta de muestras de la hojarasca.....	64
<b>Figura 16</b>	Colecta de muestras de suelo por horizontes.....	65
<b>Figura 17</b>	Cantidad total de biomasa arbórea y carbono orgánico por estrato.	76
<b>Figura 18</b>	Cantidad total de biomasa arbustiva/herbácea y carbono orgánico por estrato .....	77
<b>Figura 19</b>	Cantidad total de biomasa de hojarasca y carbono orgánico por estrato .....	79
<b>Figura 20</b>	Cantidad total de biomasa subterránea y carbono orgánico por estrato .....	80
<b>Figura 21</b>	Cantidad de carbono orgánico de la biomasa vegetal total (tC/ha)..	81
<b>Figura 22</b>	Cantidad de carbono orgánico de la biomasa vegetal total (tC) .....	82
<b>Figura 23</b>	Cantidad total de carbono orgánico en el suelo .....	85
<b>Figura 24</b>	Cantidad total de carbono orgánico en el bosque Llaca (%).....	87

<b>Figura 25</b>	Cantidad total de carbono orgánico en el bosque Quillcayhuanca (%) .....	88
<b>Figura 26</b>	Cantidad total de carbono orgánico de los bosques de estudio (%)	89
<b>Figura 27</b>	Cantidad total de biomasa vegetal, carbono orgánico almacenado y CO <sub>2</sub> fijado (t).....	90



## LISTA DE TABLAS

<b>Tabla 1</b>	Operacionalización de variables.....	4
<b>Tabla 2</b>	Registro de incendios forestales en el PNH del período 2005-2009 ...	15
<b>Tabla 3</b>	Fuentes de Presión en Bosques de Polylepis del PNH.....	16
<b>Tabla 4</b>	Incendios forestales en el PNH del período 2019-2023 .....	17
<b>Tabla 5</b>	Estimación preliminar de PSC futuros para el Perú.....	39
<b>Tabla 6</b>	Coordenadas UTM de parcelas del bosque Llaca.....	53
<b>Tabla 7</b>	Coordenadas UTM de parcelas del bosque Quillcayhuanca .....	53
<b>Tabla 8</b>	Ubicación de los bosques de estudio en coordenadas UTM.....	59
<b>Tabla 9</b>	Rango de diámetros esperados.....	62
<b>Tabla 10</b>	Contenido de biomasa arbórea y carbono orgánico .....	75
<b>Tabla 11</b>	Contenido de biomasa arbustiva/herbácea y carbono orgánico .....	77
<b>Tabla 12</b>	Contenido de biomasa de la hojarasca y carbono orgánico .....	78
<b>Tabla 13</b>	Contenido de biomasa subterránea y carbono orgánico .....	80
<b>Tabla 14</b>	Carbono orgánico de la biomasa vegetal total por estrato .....	81
<b>Tabla 15</b>	Densidad aparente del suelo a 50 cm de horizonte por estrato (t/ha) .	83
<b>Tabla 16</b>	Peso del volumen de suelo a 50 cm de horizonte por estrato (t/ha)....	83
<b>Tabla 17</b>	Promedio de carbono orgánico en el suelo por estrato (%)......	84
<b>Tabla 18</b>	Cantidad total de carbono orgánico en el suelo por estrato .....	84
<b>Tabla 19</b>	Cantidad total de carbono orgánico en los bosques de estudio (tC/ha) .....	85
<b>Tabla 20</b>	Cantidad total de carbono orgánico en los bosques de estudio (tC) ...	86
<b>Tabla 21</b>	Cantidad de carbono orgánico de todas las fuentes del bosque Llaca (tC) .....	86
<b>Tabla 22</b>	Cantidad de carbono orgánico de todas las fuentes del bosque Quillcayhuanca (tC).....	88
<b>Tabla 23</b>	Cantidad total de carbono fijado de los bosques de estudio (tCO <sub>2</sub> ) ....	90
<b>Tabla 24</b>	Valor económico de los bosques de estudio (tCO <sub>2</sub> e/\$) .....	91
<b>Tabla 25</b>	Análisis de carbono en la biomasa arbórea del bosque Llaca.....	116

<b>Tabla 26</b>	Análisis de carbono en la biomasa arbórea del bosque Quillcayhuanca .....	117
<b>Tabla 27</b>	Análisis de carbono en la biomasa arbustiva/herbácea del bosque Llaca.....	118
<b>Tabla 28</b>	Análisis de carbono en la biomasa de hojarasca del bosque Llaca ..	119
<b>Tabla 29</b>	Análisis de carbono en la biomasa arbustiva/herbácea del bosque Quillcayhuanca.....	120
<b>Tabla 30</b>	Análisis de carbono en la biomasa de hojarasca del bosque Quillcayhuanca.....	121
<b>Tabla 31</b>	Análisis de carbono en suelo del bosque Llaca.....	122
<b>Tabla 32</b>	Análisis de carbono en suelo del bosque Quillcayhuanca.....	124
<b>Tabla 33</b>	Análisis del peso de suelo del bosque Llaca .....	126
<b>Tabla 34</b>	Análisis del peso de suelo del bosque Quillcayhuanca .....	126
<b>Tabla 35</b>	Análisis de carbono por horizonte de suelo del bosque Llaca .....	127
<b>Tabla 36</b>	Análisis de carbono por horizonte de suelo del bosque Quillcayhuanca .....	127
<b>Tabla 37</b>	Análisis de carbono en la biomasa vegetal total aérea de los bosques de estudio.....	128
<b>Tabla 38</b>	Análisis de carbono en la biomasa Subterránea de los bosques de estudio.....	128
<b>Tabla 39</b>	Análisis de la biomasa Vegetal total de los bosques de estudio .....	129
<b>Tabla 40</b>	Análisis de carbono en la biomasa Vegetal total de los bosques de estudio.....	129
<b>Tabla 41</b>	Análisis de carbono fijado total del bosque de Llaca .....	130
<b>Tabla 42</b>	Análisis de carbono fijado total del bosque de Quillcayhuanca .....	130



## CAPÍTULO I

### INTRODUCCIÓN

Hoy en día, los bosques de todo el mundo se encuentran bajo una enorme presión antropogénica. El Sexto Informe de Evaluación del Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC, 2022) menciona que los bosques están bajo seria amenaza y los bosques gestionados de manera sostenible desempeñan un papel importante para mitigar y reducir la cantidad de emisión de gases de efecto invernadero (GEI) y la adaptación a los impactos y efectos de la variación climática, donde se propone avanzar hacia la descarbonización y la resiliencia.

El IPCC señala que el calentamiento global excederá el límite de 1.5°C para 2023 a menos que se implementen políticas climáticas para reducir de manera drástica e inmediata las emisiones de GEI, y concluye que es necesario acelerar la reducción de GEI, sobre todo la emisión de CO<sub>2</sub>, ya que sigue siendo absorbido únicamente por los “sumideros” terrestres y oceánicos, y el resto permanece en la atmósfera, donde provoca la variación del clima actual.

En el Perú los bosques cuentan con grandes extensiones que son importantes reservas de carbono a nivel global. Asimismo, la tala ilegal y deforestación de estos bosques ha aumentado rápidamente, representando el 51% del total emisiones de

gases de efecto invernadero (GEI) del Perú (MINAM, 2016a). En muchas regiones del país se tiene altos índices de degradación de estos ecosistemas debido por impactos relacionados al cambio climático (Trinidad y Ortiz, 2019). Estos lugares son de gran importancia y a su vez una preocupación ya que están expuestos a constantes actividades de tala ilegal, deforestación, incendios, cambio de uso de suelo, los cuales han generado cinco focos de deforestación en la Amazonía peruana, provocando una pérdida de 59 millones de toneladas métricas de carbono para 2013 y 2017 (Martel y Cairampoma, 2012).

Los bosques andinos en Perú abarcan solo el 0.17% del territorio nacional, con el género *Polylepis* destacando como uno de los grupos taxonómicos más importantes en este tipo de formación vegetal (MINAM, 2015). La expansión de la ganadería y la agricultura en los Andes en los últimos siglos, junto con la quema de pastizales, la deforestación y la extracción de leña, son las principales causas de la degradación de estos ecosistemas. Estas actividades han llevado a un aumento en la erosión del suelo, la pérdida de biodiversidad y la mayor vulnerabilidad al cambio climático (Fjeldså y Kessler, 2004).

En la actualidad, las distintas especies de bosques *Polylepis* enfrentan impactos ambientales derivados de las acciones humanas. A lo largo del Parque Nacional Huascarán y la Cordillera Blanca, se observa la fragmentación y quema de estos bosques, generando graves consecuencias para sus funciones ecosistémicas. Según investigaciones realizadas por ECOAN (2005), en la zona han evidenciado que los *Polylepis*, al igual que en otras áreas de los Andes, continúan enfrentando presiones constantes por parte de los residentes de las comunidades cercanas (Fuentealba y Sevillano, 2016). Este fenómeno afecta negativamente en el control de la erosión, provisión de agua, la regulación del clima, la protección de la biodiversidad de flora y fauna, así como la capacidad de almacenamiento y captura de carbono.

Por otro lado, en los bosques alto andinos o bosques relictos donde se desarrollan árboles nativos y plantaciones de especies *Polylepis* son muy escasos en el Perú, ya que el árbol de *Polylepis* se ha utilizado solamente con fines de

prácticas y proyectos de reforestación tanto especies nativas y no nativas de rápida propagación, por ello se tiene pocos estudios y datos que indiquen la capacidad de almacenamiento y captura de carbono de esta especie. Asimismo, hay pocas investigaciones donde se determine la cantidad de almacenamiento y captura de carbono de una plantación de *Polylepis* que cumpla la misma función ecosistémica de regulación de carbono de un bosque natural o nativo de *Polylepis* (Segovia, 2011). Es mas frecuente investigaciones de carbono en bosques de otras especies arboreas de uso comercial, cultivos agrícolas y en sistemas agroforestales, el cual limita conocer a profundidad sobre las funciones ecosistémicas de regulación de carbono que poseen los bosques *Polylepis* y otras especies nativas que son importantes para contrarrestar la variación del clima actual.

Ante lo mencionado, el objetivo de este estudio fue estimar la reserva total de carbono almacenado y el valor económico de captura de carbono en dos escenarios: uno en un bosque relicto conservado de *Polylepis* y en una bosque sembrado de *Polylepis* de aproximadamente 30 años de antigüedad, mediante la aplicación del método no destructivo (Indirecto), que consistió en instalar parcelas, medir diámetros de árboles, calcular el área de los estratos y la cantidad de carbono almacenado y CO<sub>2</sub> fijado en la biomasa vegetal y del suelo, así como determinar la valoración económica del servicio ambiental de captura de CO<sub>2</sub> de cada bosque.

Los resultados de esta investigación contribuirán a generar información de la cantidad total de carbono orgánico almacenado en la biomasa vegetal y suelo asociado a un bosque conservado de *Polylepis* y en un bosque sembrado de *Polylepis* con más de 30 años de antigüedad, que serán de utilidad a autoridades y poblaciones locales a tomar adecuadas decisiones para su conocimiento y acción urgente que impulse a generar proyectos de propagación y conservación de especies de *Polylepis* y desarrollo de normas de regulación de carbono que permitirán a futuro mantener estos sumideros alto andinos de carbono para reducir los efectos de la variación del clima actual en los ecosistemas de montaña.

## 1.1. Objetivos

### 1.1.1. Objetivo General

- Estimar la reserva total de carbono almacenado en los bosques de género *Polylepis* de las Quebradas de Llaca y Quillcayhuanca, Huaraz, Áncash, 2022.

### 1.1.2. Objetivos específicos

- Estimar las reservas de carbono almacenado en la biomasa vegetal y suelo de los bosques del género *Polylepis* de las Quebradas de Llaca y Quillcayhuanca.
- Determinar la cantidad de CO<sub>2</sub> total fijado producido por los bosques del género *Polylepis* de las Quebradas de Llaca y Quillcayhuanca.
- Determinar el valor económico del servicio ambiental de CO<sub>2</sub> fijado producido por los bosques del género *Polylepis* de las Quebradas de Llaca y Quillcayhuanca.

## 1.2. Hipótesis

Considerando los datos precedentes de Espinoza y Quispe (2013) y Mosquera (2018), se tiene la siguiente hipótesis:

“El bosque natural *Polylepis* de la quebrada Llaca presenta una reserva total de carbono almacenado de 1 109.81tC/ha que equivale a 22 507.76 tC y el bosque sembrado de *Polylepis* de la quebrada Quillcayhuanca un valor de 683.61 tC/ha que equivale a 2 348.88 tC en el período 2022”.

## 1.3. Variables

### Tabla 1

*Operacionalización de variables*

Variable	Dimensión	Indicadores	Unidad de Medida	Instrumentos
<b>Independiente:</b>  <b>Bosques Polylepis</b>	Composición de la cobertura vegetal	Área del bosque	Ha	Observación cuantitativa
		Imágenes satelitales		
	Altura de árbol	m	Observación cuantitativa	
		Diámetro de árbol (DAP)	cm	
	Biomasa arbórea	kg	Muestreo de Biomasa vegetal	
		ha		
	Biomasa arbustiva/herbácea	t	Metodología estandarizada del ICRAF	
	Biomasa de hojarasca			
Características del suelo	Densidad aparente	%	Observación cuantitativa	
	Materia orgánica	g/cm <sup>3</sup>	Muestreo de suelo	
<b>Dependiente:</b>  <b>Reservas de Carbono</b>	Carbono almacenado y capturado en los Bosques Polylepis	Carbono de la biomasa arbórea	tC/ha	Análisis de laboratorio
		Carbono de la biomasa arbustiva		
		Carbono de la hojarasca	tC	Metodología estandarizada del ICRAF
		Carbono del suelo		
	Carbono fijado	tCO <sub>2</sub> /ha		
	Servicio ambiental de captura de carbono	tCO <sub>2</sub>	US\$/tCO <sub>2</sub>	Precio social de mercado del carbono actual

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1. Antecedentes

En este estudio, se han tenido en cuenta referencias tanto a nivel nacional e internacional. Estas referencias fueron de gran soporte en la elaboración del diseño de la investigación y en la comparación de los resultados obtenidos.

##### 2.1.1. Antecedentes Internacionales

Verma et al. (2024), en su estudio del mapeo del secuestro de carbono forestal y cuantificación económica mediante el modelo de carbono InVEST en el Santuario de Vida Silvestre Askot, Himalaya occidental, mencionan que la cuantificación y valor económico del secuestro de carbono son cruciales para plantear estrategias estrictas de conservación en áreas protegidas con altos valores ecológicos y económicos en el contexto de la conservación de la biodiversidad y la mitigación del cambio climático. Los resultados muestran que entre todas las clases de uso de la tierra, el bosque denso tiene la mayor densidad de carbono; sin embargo, presenta una tendencia decreciente desde 1995 (5.695.878.41 t/ha) hasta 2035 (4 378.439.81 t/ha). Respecto a la cuantificación económica del secuestro de carbono demostró pérdidas económicas significativas debido a la rápida disminución de la cubierta forestal, que indica un valor actual neto (VAN) negativo desde un mínimo

de US\$ -8 millones hasta un máximo de US\$ -53 millones. Los hallazgos del estudio sugieren realizar la conservación de paisajes boscosos y el desarrollo de mercados de carbono voluntarios y regulatorios eficientes para lograr la estabilidad de las reservas de carbono forestal.

Ali et al. (2022), en su estudio analizaron el potencial de retención de carbono producido por los bosques de la Reserva del Parque Nacional Margalla Hills en Pakistán. Los enfoques cuantitativos y funcionales desde una perspectiva ecológica señalan que el Diámetro a la Altura del Pecho (DAP) desempeña un papel fundamental en la captura de carbono, superando en importancia a la altura de las especies de bosques leñosos. Subrayaron que el árbol con un mayor DAP tiene una capacidad superior para la retención de carbono en comparación con una especie de mayor altura. Además, su investigación reveló que la diversidad y abundancia significativas de especies de árboles forestales proporcionan servicios esenciales para todo el ecosistema y desempeñan una función clave en la retención de carbono.

Muhati et al. (2018), en su estudio cuantificaron las reservas de carbono en la Reserva Forestal Mount Marsabit, ubicada en el norte de Kenia, específicamente en un bosque montano subhúmedo afectado por perturbaciones antropogénicas. Se destaca que las actividades humanas ejercen un impacto negativo en las reservas de carbono forestal, siendo la perturbación ocasionada por actividades como el pastoreo de ganado, la tala selectiva y la recolección de leña las principales causas. Los resultados revelaron que la zona árida del norte de Kenia presentó un valor total de carbono de 24.91 t/ha, concentrándose especialmente en áreas menos afectadas de la reserva forestal. Se concluyó que el pastoreo excesivo de ganado y la tala selectiva de árboles contribuyen a la disminución de las densidades de carbono en las partes impactadas del bosque.

Maza (2019), en su tesis titulada "Valoración económica del servicio ambiental de captura de carbono para garantizar la sostenibilidad del bosque Buenaventura, Ecuador" se centra en la actitud de los estudiantes hacia los problemas ambientales y su conexión con la apreciación del servicio ambiental de captura de carbono. Los

resultados obtenidos indican que el bosque Buenaventura presenta una biomasa total de 352,331.36 toneladas y logra la captura de 607,239.54 toneladas de CO<sub>2</sub> y mediante la guía del IPCC (2005) y valores promedio del mercado de carbono de US\$ 3 (escenario pesimista), US\$ 10 (escenario moderado) y US\$ 20 (escenario optimista), determinó la valoración económica del servicio de captura de CO<sub>2</sub> de US\$ 1 821,718.63, US\$ 6 072,395.42 y US\$ 12 144,790.84 toneladas de CO<sub>2</sub> respectivamente para el Bosque Buenaventura.

### **2.1.2. Antecedentes Nacionales**

Guevara (2023), en su tesis titulada "Estimación de la Reserva de Carbono Almacenado en el Área de Conservación Municipal bosque de Huamantanga – Jaén", mediante la metodología de Arévalo et al. (2003) y del ICRAF (2009) determinó la cantidad de biomasa y carbono, señala que el bosque de Huamantanga retiene una cantidad significativamente mayor de carbono en comparación con áreas de menor altitud y clima más tropical. Los resultados obtenidos revelaron que el bosque contiene 415.2950 t/ha de biomasa en su componente vegetal total, con una acumulación de 186.6018 tC/ha en la fuente arbórea, arbustiva, de hojarasca y necromasa y 153.58575 tC/ha de carbono en suelo. El almacenamiento total de carbono en todo el Bosque Huamantanga fue de 340.18755 tC/ha.

Bernachea (2019), realizó el estudio de "Valoración económica y captura de CO<sub>2</sub> en bosques plantados de eucalipto (*Eucalyptus globulus labil*) y pino (*Pinus radiata*) con una antigüedad de 11 años en Cochatama, distrito Huacar, provincia Ambo, departamento Huánuco 2018", mediante la metodología de Higuchi (1994), determinó la cantidad de CO<sub>2</sub> capturado y con la fórmula propuesta por IPCC (1996) estimó el valor económico, donde indica que la mayor edad de una plantación resulta en una mayor cantidad de biomasa verde y un aumento en la captura de CO<sub>2</sub>. Los resultados obtenidos señalan que el Eucalipto logró la captura total de 521.18 tCO<sub>2</sub>/ha, siendo la cantidad más alta, seguido por la plantación de Pino con un total de 519.93 tCO<sub>2</sub>/ha. En cuanto a la valoración económica del servicio de

captura de CO<sub>2</sub> con el precio de mercado de US\$ 23.24 propuesto por SENSECO (2019) para el bosque plantado de Eucalipto fue de US\$ 12,112.23 tCO<sub>2</sub>e/ha y en la plantación de pino de US\$ 12,083.17 tCO<sub>2</sub>e/ha, registrando para ambas plantaciones un total de US\$ 48,390.8 tCO<sub>2</sub>e.

Quicaño (2019), en su tesis titulada "Estimación de las reservas potenciales de carbono como servicios ecosistémicos en el bosque de *Polylepis* sp (zona de recuperación) de la Reserva Paisajística Subcuenca del Cotahuasi - 2018", mediante la metodología del ICRAF (2009) y del PROTOCOLO 1 de Calderón et al. (2013) determinó la cantidad de biomasa y carbono, menciona que las evaluaciones de carbono en los bosques debe hacerse en diferentes estaciones del año para obtener patrones de carbono más precisos. Los resultados indicaron que la cantidad total de carbono del bosque *Polylepis* rugulosa en la biomasa forestal fue de 2753.29 tC/ha, en la hojarasca 354.41 tC/ha, en suelo de 5801.21 tC/ha que equivalen a un total de carbono fijado de 32695.71 tCO<sub>2</sub>e y el valor económico del servicio de captura de CO<sub>2</sub> con el precio promedio de carbono del período (2008 – 2019) propuesto por SENSECO (2019) de €11.63 que equivale a US\$ 12.63/tC, fue de € 103,598.76 tCO<sub>2</sub>e igual a US\$ 112,547.62 tCO<sub>2</sub>e para todo el bosque de la Reserva Paisajística Subcuenca del Cotahuasi.

Mosquera (2018), en su estudio sobre "Estimación de reservas totales de carbono en el bosque de *Polylepis* sp en la Quebrada de Llaca del Parque Nacional Huascarán, empleó la metodología de Arévalo et al. (2003) y del ICRAF (2009) para estimar la cantidad de biomasa y carbono, menciona que los valores de totales de carbono en el bosque de Quenual están muy cerca de la cantidad de carbono almacenado en bosques secundarios y sistemas agroforestales que pertenecen a ecosistemas tropicales. Además, concluye que el bosque de Quenual constituye a 57,834.75 tC/ha de carbono almacenado que abarca el área total de la quebrada Llaca, donde registro 8491.83 tC/ha (14.32%) en la biomasa vegetal y 49,342.92 tC/ha (85.68%) en el componente de suelo. Por lo tanto, la cantidad total estimado de CO<sub>2</sub> fue 31,105.60 t y el valor económico de captura de CO<sub>2</sub> con el precio de US\$ 13.12/tC propuesto por Baldoce (2001) fue de US\$ 111,412.81 tCO<sub>2</sub>e.

Espinoza y Quispe (2013), en su estudio estimaron la cantidad de carbono almacenado en la parte aérea del bosque de *Polylepis sp* situado en la Quebrada de Llaca, mediante la metodología de la guía para el diseño de proyectos MDL forestales y de bioenergía del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza CATIE (2008), ICRAF (2009) y la guía del IPCC (2006), establecieron la fórmula alométrica con parámetros del método destructivo para estimar la biomasa y carbono para la especie *Polylepis*; indican que conocer la reservas de carbono presentes en dicho bosque es esencial para participar en proyectos de "mercado voluntario de carbono", con el objetivo de asegurar financiamiento que impulse la conservación del bosque de *Polylepis sp*. Asimismo, concluyen que la reserva promedio total de carbono en el bosque de *Polylepis sp*, por medio de la estratificación del bosque y ecuaciones alométricas reporta 5.06 tC/ha para el bosque disperso, 27.09 tC/ha para el bosque denso y 52.77 tC/ha para el bosque muy denso. Estos datos resultaron en un total de 4,946.80 tC en la biomasa arbórea de *Polylepis sp* que equivale a 18,138.26 tCO<sub>2</sub> para la quebrada de Llaca.

Hidalgo (2009), en su estudio determinó la reserva total de carbono en un sistema agroforestal del bosque alto de Tingo María del Banco de Cogollos de Cacao de la Universidad Nacional Agropecuaria (UNAS), mediante la metodología de Arévalo et al. (2003) y del ICRAF en base a ecuaciones alométricas, donde reportó 217.565 t/ha de carbono total, obteniendo el 94.384 t (43,38%) en la biomasa vegetal y 123.181 t (56.62%) en el suelo, además menciona que el lugar de estudio presenta una gran capacidad para almacenar dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), contribuyendo a la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero y los efectos del cambio climático global. El investigador concluye que la cantidad de carbono es de 11.497.555,84 t y el servicio de captura de CO<sub>2</sub> con el precio de US\$ 13.12/tC propuesto por Baldoceña (2001) fue de US\$ 150 847,932.68 tCO<sub>2</sub>e anuales en toda la provincia de Leoncio Prado.

Aparicio (2010), condujo un estudio acerca de la evaluación de la absorción de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) por parte de la especie *Schinus molle* L. (molle) en el corredor vial callejón de Huaylas – Provincia de Yungay. Se basó en Dasonomía,

The National Computational Science Leadership Program, la Universidad de Nebraska y su propio juicio, empleando fórmulas que consideraron varios parámetros del árbol de molle, tales como el DAP, la altura, el volumen, la densidad y la masa. Los resultados obtenidos indicaron que la estimación de la captura de dióxido de carbono en las estaciones de muestreo (EM) fue de 392,133 toneladas métricas, mientras que en toda el área de estudio alcanzó las 1557,058 toneladas métricas de dióxido de carbono.

## 2.2. Bases Teóricas

### 2.2.1. Características de los bosques de *Polylepis*

#### A. Ubicación de los bosques de *Polylepis*

En lugares húmedos de la vertiente andina oriental y la vertiente occidental de Ecuador, muchas especies forestales existentes son naturalmente dominados con especies de *Polylepis*, en zonas a nivel de la neblina están conformados por bosques de especies de *Oreopanax*, *Clusia*, *Weinmannia* y *Clethra*, entre otros. Esta transición de ambos tipos de bosque se encuentra alrededor de 3.500 m, con una diferencia de 100-200 m entre cada bosque. Varias especies están constituidas por árboles de *Polylepis de triacontandra* (Bolivia), *lanuginosa* (Ecuador), *pauta* (Bolivia-Ecuador), *sericea* (Bolivia-Venezuela), *multijuga* (Perú) y *lanata* (Bolivia), la especie *Polylepis pepeii* especie considerado parcialmente arbustiva se ubica en la parte superior de bosques a 3.800-4.200 m en el sur de Perú y Bolivia. En otros lugares también húmedos con menor cantidad de lluvias ubicados en zonas alto andinas, se encuentran bosques de *Polylepis incana* (Perú-Ecuador), *Polylepis reticulata* (Ecuador), *Polylepis weberbaueri* (Perú-Ecuador) y *Polylepis racemosa* (Perú). Asimismo la especie *incana* también se ubica en zonas de clima seco en valles interandinos, donde también se desarrollan *Polylepis subsericans* (Perú) y algunas especies de *Polylepis besserii*, *Polylepis subtusalbida* y *Polylepis pacensis* (Bolivia). Por otro lado los bosques *Polylepis* se ubican en lugares muy específicos de clima frío, pero existen lugares donde se desarrollan bosques relativamente de gran extensión, en el caso de la cordillera blanca de Perú, que se presentan en

pequeñas áreas ubicados en lugares de cantidad elevada de rocosas, matorrales, quebradas y en laderas de montañas (Kessler, 2006).

Actualmente, varios investigadores identificaron un total de 35 especies de *Polylepis* (Boza et al., 2019), de esa cantidad 22 especies se desarrollan en Perú, siendo siete de ellas endémicas. Asimismo, la especie de *Polylepis* se distribuye en 19 departamentos de Perú. Cabe destacar que en las regiones de Cusco y Ayacucho se desarrollan la mayor diversidad de especies, con 10 y 8 respectivamente, mientras que en la región Áncash se ha identificado siete especies endémicas de *Polylepis incana*, *Polylepis sericea*, *Polylepis weberbaueri*, *Polylepis reticulata*, *Polylepis racemosa*, *Polylepis pepeii* y *Polylepis microphilla* (ECOAN, 2005; Sevillano et al., 2018).

No obstante, el desarrollo y distribución de la especie *Polylepis* en la vegetación se debe a características físicas como la altitud y la condición climática. En muchos estudios realizados en la región indican que las especies *Polylepis* se distribuyen y crecen entre los 3000 y 3300 metros de altitud, además estas especies mantienen su altura hasta 3 metros y en pocas ocasiones mayor a esa cifra y que no son de gran abundancia en bosques altoandinos. En altitudes mayores a 3300 metros, se desarrollan bosques mixtos donde dominan el *Polylepis sericea* de altura promedio de 4 a 5 metros con gran presencia de especies de japru (*Gynoxys* sp.), alisos (*Alnus* sp.) y quishuar (*Buddleia* sp.), además en estos bosques se desarrollan gran cantidad de líquenes, bromelias y musgos que funcionan como reguladores de captura de agua de la neblina que se genera en estas zonas. En altitudes mayores a 3800 a 4000 metros, los bosques están dominados por especies de *Polylepis sericea*, a 4300 domina el *Polylepis weberbaueri* y entre 4000 a 4300 metros, estas dos especies coexisten por la transición de su distribución (Fuentealba y Sevillano, 2016).

## **B. Condición ecológica de los bosques de *Polylepis***

Los bosques de *Polylepis* se caracterizan principalmente por la humedad, el tipo de suelo y la temperatura donde se desarrollan. Por la ubicación en zonas alto

andinas donde crecen, estos bosques de *Polylepis* sufren constantes variaciones diurnas de temperatura entre 20 a 30°C del día y de heladas nocturnas. Estas variaciones representan un estrés enorme para estos bosques y la vegetación de su entorno, en altitudes mayores a 4000 metros, pero la gran mayoría están adaptadas a temperaturas bajas debido a las gruesas cortezas y multicapas que tiene el *Polylepis* y al cercano crecimiento de la planta cojín (azorella compacta) que le permite mantener la temperatura y resistencia al congelamiento (Goldstein et al., 1994; Hoch y Körner, 2005). En época seca y en condición semiarida a áridas la mayoría de los bosques *Polylepis* generan la adaptación de plantas, en la estación relativamente más fría, muchas plantas entran en estado latente y sobreviven como bulbos o rizomas subterráneos, geófitos (incluidas las especies *Solanum*, *Oxalis*, *Ullucus* y *Tropaeolum*) y semillas (plantas anuales) y poco crecimiento hasta arbustos, la vegetación suculenta es poca en los bosques de *Polylepis* ya que sus fuentes de agua son muy propensas a las heladas. El crecimiento vegetativo en especies de *Polylepis* se presenta constantemente en la estación cálida y de mucha humedad, y el proceso de floración se da principalmente en la estación seca y fría (Kessler, 2006).

### **C. Suelo y captura de carbono en bosques *Polylepis***

La mayoría de bosques *Polylepis* contribuyen a reducir la erosión y generar mayor retención de nutrientes del suelo (Fjeldsá y Kessler, 2004; Renison et al., 2010). Los árboles *Polylepis* través de sus hojas, ramas caídas y raíces, los cuales permiten mantener la producción de materia orgánica, almacenar carbono orgánico y fertilidad en el suelo, generando el aumento en su capacidad para absorber agua, además la producción de carbono orgánico en suelo ayudan a los microorganismos descomponedores a procesar la materia orgánica el cual genera la liberación de nutrientes esenciales como nitrógeno, fósforo, azufre y otros en el suelo que influye en el aumento de la fertilidad del suelo de estos bosques. También los suelos de estos bosques tienen gran potencial de captura de carbono, que a pequeña escala ayuda a mitigar los efectos por la quema de combustibles fósiles (Aranibar, 2015), Así aumenta la importancia de los bosques de *Polylepis* que son las únicas especies

de árboles que actúan como sumidero de carbono en el ambiente en el que se desarrollan.

#### **D. Principales amenazas en bosques de *Polylepis***

A lo largo de la historia, los bosques de *Polylepis* han sido identificados como los ecosistemas más vulnerables y en proceso de desaparecer de los Andes a causa de la variación del clima y la disminución de su ecosistema por la fragmentación que sufren por la constante presión antropogénica. Según la clasificación de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN, 2018), estos bosques son considerados actualmente como uno de los ecosistemas más degradados a nivel mundial donde se destacan 15 de 35 especies identificadas, como es el caso de *Polylepis weberbaueri* en la lista roja de especies en peligro de desaparecer. Además, la fragmentación y degradación de estos bosques a nivel global se derivan principalmente de el emplazamiento de actividades deficientes agrícolas y ganaderas, incendios forestales, tala excesiva, invasión de especies exóticas, emplazamiento de actividades de minería y la extensión de carreteras que provocan la disminución de su densidad arbórea, producción de semillas, reducción de su capacidad de regeneración, daño en su microhábitat y cambios en la composición de su vegetación. No obstante a pesar de limitada extensión en área, estos bosques son muy importantes los servicios ecosistémicos que brindan, tales como la regulación del CO<sub>2</sub>, reserva hídrica, producción de nutrientes en suelo, protección de la biodiversidad, entre otros (Segovia et al., 2021).

En estudios realizados de (ECOAN, 2005; Fuentealba y Sevillano, 2016; y Sevillano et al., 2018), se demuestra que los bosques de *Polylepis* (Queñual) en la región Ancash y demás regiones de los Andes peruanos, continúan enfrentando constantes daños por parte de la población. Asimismo muchas especies de *Polylepis* son aprovechados como fuentes medicinales, leña y madera en zonas de escasos recursos forestales. También se ha registrado otros usos como la recolección de la corteza interna, externa y floema de los árboles, que contiene taninos que son utilizados en la curtiembre y tintura de tejidos. Estas actividades a su vez resultan altamente perjudiciales para los árboles, debido a que causa daño

interno y puede llevar a su muerte. Además se ha registrado que la actividad ganadera afecta significativamente la capacidad de regeneración natural de estos bosques, ya que estos animales comen las plántulas y hojas tiernas, reduciendo el crecimiento de nuevos individuos, tala excesiva para uso de leña, incendios que se generan para el cambio de uso del suelo y resultado de quemas por costumbres y previas a la siembra para fertilizar el suelo.

En Áncash, de acuerdo con el Plan Maestro del Parque Nacional Huascarán 2005-2009, se señaló que la tala, la presencia de ganado vacuno y los incendios forestales representan las amenazas predominantes para la regeneración natural de numerosas especies vegetales. Estas actividades provocan la pérdida de nutrientes, la erosión del suelo y la degradación del hábitat de plantas y animales, frente a esta situación, se registraron eventos de incendios forestales que impactaron diversos bosques de *Polylepis*, según lo informado por el (SERNANP, 2011), tal como se especifica en los detalles proporcionados en las Tablas 1, 2 y 3. Además, durante el año 2023 se han contabilizado un total de 138 incendios forestales en la región. Estos incidentes han ocasionado perjuicios a los cultivos agrícolas, bosques, matorrales y pastizales, resultando en la pérdida de 94.271 hectáreas (ha) de cultivos, la afectación de 1.11 ha de cultivos y la destrucción de 3483.761 ha de la cobertura natural (COER, 2023).

## **Tabla 2**

*Registro de incendios forestales en el PNH del período 2005-2009*

Año	Subcuencas	Quebradas	Origen			Superficie Incendiada (HA)			Vegetación Afectada
			Mes	ZA	PNH	Total	PNH	ZA	
2005	Yanayacu, Jacabamba, Huantambo, Pachacoto, Huachecsa, Yurma, Wecroncocha, Mullaca, Buin, Ranrahirca	12	abril - setiembre	12	9	2916.5	1074.3	1842.2	Cobertura vegetal, formaciones de pastizales, matorral y bosques de <i>Polylepis</i> , rodales de Puya Raimondi. Vegetación de paredones
2006	Yanayacu, Casca, Quillcay, Ranrahirca-Llanganuco, Huaripampa, Huachecsa	7	mayo-setiembre	5	2	745.00	120.00	625.00	Formaciones de pastos nativos, matorrales, callares, paredones con plantas litofíticas y parches de <i>Polylepis</i>
2007	Huachecsa, Yanayacu, Casca, Río Negro, Buin, Mancos	6	junio-agosto	3	2	86.03	36.03	50.00	Formación de pastizales matorrales, vegetación de paredones
2008	Casca, Llanganuco, Mancos, Quillcay, Pachacoto, Cutacancha, Río Negro, Yanayacu	14	junio-diciembre	0	14	281	281	-	Cobertura de pastos nativos, matorral y parches de <i>Polylepis</i>
2009	Jacabamba, Llanganuco, Yanayacu, Río Negro	4	0	2	2	165.0	103.0	62.0	Cobertura de pastizales, matorral y arbustiva

Fuente: SERNANP (2011)

**Tabla 3**

*Fuentes de Presión en Bosques de Polylepis del PNH*

FUENTES DE PRESIÓN	VALOR JERÁRQUICO DE LA AMENAZA A BOSQUES
Actividad minera	5
Construcción de infraestructura vial	5
Incendios forestales	5
Cambio climático	5
Uso familiar	4
Cambio de uso de suelo	4
Agrícola/Silvicultura	4
Actividad turística	3
Prácticas de pastoreo	3
Botadero de residuos sólidos	3
Especies invasoras o exóticas	2

Fuente: SERNANP (2011)

**Tabla 4**

*Incendios forestales en el PNH del período 2019-2023*

Año	Lugar/Sub cuencas	Quebradas	Origen			Superficie Incendiada (HA) PNH	Vegetación Afectada
			Mes	ZA	PHN		
2023	Sector de Uquia, provincia de Huaraz	1	Agosto	-	1	30.0	Cobertura vegetal, formaciones de pastizales, matorral y bosques
2022	Sector Huallín, collo, distrito de chacas, provincia de Asunción	1	Julio	-	1	20.0	Cobertura vegetal, formaciones de pastizales, matorral
2020	Sector de la Quebrada Cojup, Caserío de Ramon Castilla, Caserío de Carianpampa y la Quebrada Llaca	2	Octubre	10	20	24.3	Pastos naturales y plantaciones de pino
2019	Microcuenca Quillcay entre las quebradas de Cojup y Llaca	2	Setiembre	1	1	10.0	Cobertura vegetal, formaciones de pastizales, matorral y bosques de <i>Polylepis</i>

Fuente: COER (2023)

### E. Antecedentes sobre la reforestación con *Polylepis*

Desde 1978, en la región Ancash se ha realizado iniciativas de reforestación con especies de *Polylepis*, poco después de la creación del Parque Nacional

Huascarán, el guardaparque Pompeyo Guillén tomo una de las iniciativas de promover plantaciones de esquejes de *Polylepis incana* con el apoyo de comunidades locales que viven dentro del parque. Asimismo para cumplir con las iniciativas lograron que el organismo forestal del Gobierno Peruano y ONGs brindarían alimentación y capacitaciones a las familias campesinas y guardaparques de la zona con la finalidad de compensar los trabajos de reforestación. Estos proyectos de reforestación permanecieron hasta el año de 1990, luego se sumaron empresas mineras como Barrick y Antamina debido al cambio de acuerdos y compromisos ambiental con las comunidades locales, desde ese tiempo los proyectos de reforestación fueron promovidas por las propias mineras y algunos municipalidades provinciales y distritales, los cuales brindan recursos para las actividades y trabajos que abarcan los procesos de reforestación. Además, por las experiencias y conversaciones realizadas con la población local y guardaparques del Parque Nacional Huascarán, se reporta buenos trabajos de reforestación que mantiene parcelas con esquejes de *Polylepis sericea*, *Polylepis weberbaueri* y *Polylepis racemosa* en zonas como la quebrada Quillcayhuanca, así también se ha reportado deficientes trabajos de reforestación por la excesiva presión antrópica como la quema y ganado y por la mala gestión de las instituciones encargadas de la parte forestal de estos bosque en la región Áncash (Fuentealba y Sevillano, 2016).

Por otro lado, la mayoría de los programas de reforestación en Perú se centran en la siembra de árboles de especies exóticas de rápida propagación y siembra solo para cumplir con la norma forestal, la recuperación y obtención de la cobertura forestal, sin tener interés en utilizar especies nativas que puedan restaurar áreas fragmentadas de los bosques. Como resultado, existen numerosos bosques deforestados que no logran experimentar una regeneración natural, y en este contexto, la especie *Polylepis* es una buena alternativa para la recuperación y preservación de estos bosques.

Por lo tanto, según Segovia (2011), se deben evitar las plantaciones de especies exóticas de *Polylepis* ya que podrían cruzarse con especies nativas e

impactar negativamente la diversidad genética local. Es tan importante proteger los bosques pequeños y grandes ya que juntos generan una buena producción de área forestal total para ambas especies que ayudan a mantener hábitats para algunas especies importantes para la conservación de biodiversidad en la región.

### **2.2.2. Servicios ecosistémicos de bosques**

Son los recursos y procesos ecológicos que producen los ecosistemas para mantener y conservar los ciclos naturales del planeta, estos brindan muchos beneficios importantes a la biodiversidad de especies de flora y fauna y a la actividad social, ambiental y económico que realiza el ser humano. En una perspectiva económica, el servicio corresponde a un bien de la naturaleza para generar el bienestar de las personas al momento de disfrutarlos y usarlos para satisfacer sus necesidades (OSINFOR, 2024). Ante ello, se tiene algunos ejemplos considerados como servicios ecosistémicos:

- Conservación y protección de los recursos hídricos
- Conservación y protección de las capas atmosféricas
- Conservación y protección y recuperación de la fertilidad del suelo
- Conservación y protección de la biodiversidad de flora y fauna y demás ecosistemas naturales
- Reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero y mitigación del cambio climático
- Belleza escénica de los paisajes
- Dispersión y absorción de residuos y emisiones por parte de la vegetación
- La regulación de procesos ecológicos de los ecosistemas naturales

Los servicios ecosistémicos generan muchas ventajas a distintas poblaciones que se benefician de estos ecosistemas, en un estudio aplicado para bosques tropicales, se realizó una clasificación de servicios ecosistémicos hecha por Balvanera (2012), teniendo lo siguiente:

### **A. Servicio de provisión**

Este servicio consiste en brindar recursos a las poblaciones y comunidades que habitan dentro de estos bosques. Dentro de estos bosques existen plantas, animales y microorganismos que brinda diversos recursos como fuentes de energía de agua y alimentos, insumos de madera, plantas medicinales, animales silvestres, especies nativas únicas de valor ceremonial, agentes de control de plagas, entre otros.

### **B. Servicio de regulación**

Este servicio consiste en regular la producción de recursos y ciclos biogeoquímicos en diferentes ecosistemas del planeta, por ejemplo la regulación hídrica, regulación del clima, gestión del ciclo del agua, emisiones de CO<sub>2</sub> a la atmosfera, control de la erosión del suelo, polinización, concentración de contaminantes en ecosistemas, entre otros.

### **C. Servicio cultural**

Este servicio consiste en brindar beneficios no materiales a las personas que forman parte de comunidades antiguas que habitan mucho tiempo en los ecosistemas naturales, por ejemplo el desarrollo de la cultura inca, maya, romana que mantienen relación con bosques por medio de la identidad cultural, inspiración del paisaje, desarrollo cosmológico, experiencia espiritual, entidades sagradas asociadas con su entorno, además se incluye las actividades de turismo y recreativas.

### **D. Servicio de soporte**

Este servicio no está incluido en la categorización de servicios para bosques tropicales, debido a que abarca todos procesos ecológicos esenciales para la generación de los otros tres servicios ecosistémicos, como la producción primaria por medio de la fotosíntesis, la formación de suelo, el ciclo del agua, preservación de la diversidad genética, construcción de hábitats para flora y fauna y reciclaje de nutrientes.

### **2.2.3. Importancia de los bosques andinos en el cambio climático**

Los bosques andinos influyen en el desarrollo y calidad de vida de muchas especies en especial a poblaciones que existen en su entorno, ya que les proporciona funciones ecosistémicas como la regular la clima, suministro y flujo de agua, purificar el aire; hábitat de especies, almacenamiento y captura de carbono, proteger de la erosión de los suelos, también en la contribución de madera, hábitats para especies que intervienen control natural de plagas, en la polinización, paisajes para el turístico y recreación, así como en la regulación ecológica en el entorno donde habita la población local (MINAM, 2016).

Por esta razón, los bosques proveen bienes y servicios esenciales que ayudan a mantener la seguridad alimentaria en muchos países y contribuyen al buen funcionamiento ecológico importante para mantener el equilibrio natural de ecosistemas, regulación del agua, los suelos y la biodiversidad de flora y fauna. Además, ayudan a contrarrestar y mitigar las consecuencias del cambio climático a nivel global (FAO, 2014). Por otro lado en los estudios de (Gibbs et al., 2007) menciona que los ecosistemas terrestres almacenan y capturan mayor cantidad de carbono son los bosques y los estudios de (Tan et al., 2009), concluyen que el 85% del carbono a nivel mundial está contenido en ecosistemas forestales.

### **2.2.4. Importancia de los bosques como almacenes de carbono**

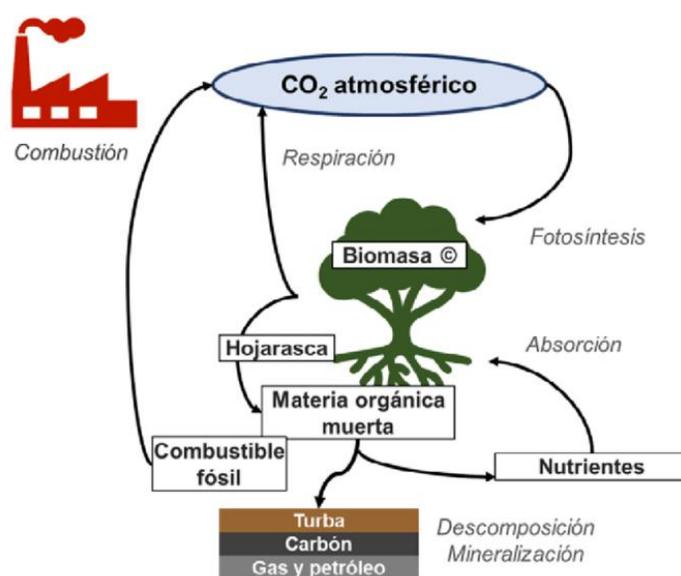
Según Brown (1997b), los bosques desempeñan un papel crucial en la mitigación del cambio climático global al influir en el ciclo global del carbono, debido a la cantidad significativa de carbono que almacenan en su vegetación y suelo así como el intercambio constante de carbono con la atmósfera mediante procesos de fotosíntesis y la respiración. En situaciones de perturbación de origen natural y antrópico los bosques se convierten en fuentes de carbono, sin embargo, durante períodos de abandono y regeneración después de una perturbación, se transforman en sumideros de carbono atmosférico el cual se puede gestionar para modificar su papel en el ciclo del carbono. Por lo tanto, los bosques a nivel mundial albergan alrededor de 830 petagramos ( $10^{15}$  gramos) de carbono, distribuidos en su

vegetación y suelo, con aproximadamente 1.5 veces más carbono en el suelo que en la vegetación.

En Investigaciones más recientes indican que se pueden emplear estrategias de gestión forestal para almacenar y capturar carbono, con el objetivo de reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> en un rango estimado entre el 11% y el 15% de las emisiones generadas por la quema de combustibles fósiles. La implementación de estas estrategias es necesaria para una buena gestión forestal y permita tener bosques que funcionen como una fuente de regulación de CO<sub>2</sub> y contribuya a reducir los impactos ambientales del cambio climático a futuro (Álvarez, 2008).

## Figura 1

*Procesos del ciclo del carbono en bosques*



Fuente: Zavala (2021)

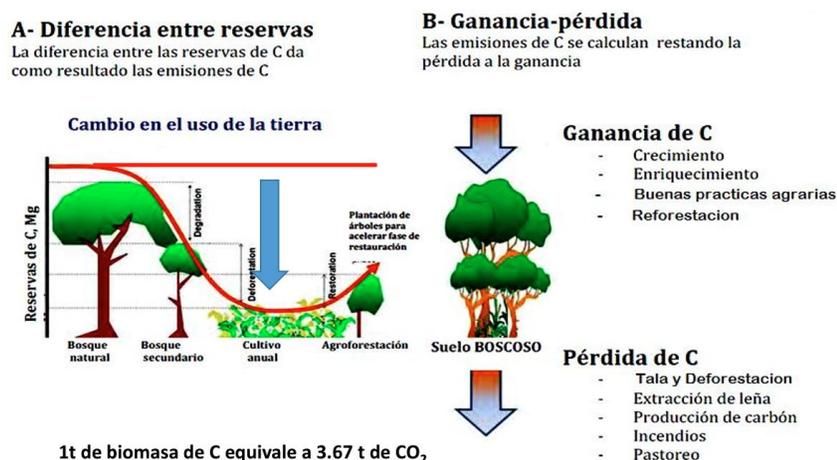
### A. Liberación y fijación de carbono de la vegetación forestal

En todo el mundo la vegetación es uno de los principales componentes que tienen la función regular el dióxido de carbono atmosférico mediante el proceso fotosíntesis, que se desarrolla en su fisiología vegetal debido a la producción de

nutrientes y respiración celular que tienen en cada etapa de su desarrollo. El proceso comienza cuando las plantas fijan el CO<sub>2</sub> mediante sus hojas y troncos para convertirlos en carbohidratos que le servirá para su crecimiento, luego estos se transportan en las raíces separando el carbono que es descompuesto por microorganismos en junto con la materia orgánica existente en el suelo y el oxígeno es liberado mediante la respiración de la planta, generando la regulación de este compuesto y reduciendo su concentración que se acumula en la atmosfera del planeta, en el caso de la vegetación forestal una parte de carbono que captura en su biomasa sirve para la producción de alimentos que aporta al crecimiento en altura, ramas, grosos, frutos, flores y demás partes del árbol (Ordóñez, 1999).

**Figura 2**

*Etapas de fijación y almacenamiento de carbono forestal*



Fuente: Cuellar (2016)

### 2.2.5. Métodos para la estimar la biomasa y carbono en bosques

Schlegel et al. (2002) describe la biomasa forestal como la cantidad de materia orgánica presente en un bosque específico" que constituye la biomasa que está sobre el suelo, las raíces y vegetación existente de los árboles, los cuales son estimados mediante el peso húmedo y seco de la biomasa vegetal y suelo en toneladas por hectárea. Entre los métodos más importante tenemos:

### **A. Método destructivo (directo)**

Se utiliza mediante la creación de ecuaciones alométricas, factores de conversión y constantes definidos por los parámetros esenciales de DAP, altura, cobertura arbórea, peso húmedo y seco del tronco, biomasa vegetal total y carbono orgánico (Ruiz et al., 2014). Este método es importante y más utilizado muy, ya que permite obtener datos más específicos y confiables para la estimación de carbono almacenado y capturado en la biomasa aérea de cada árbol de estudio.

### **B. Método no destructivo (indirecto)**

Se utiliza comúnmente para estimar la cantidad de biomasa que produce un bosque, sin necesidad talar o podar árboles, el cual consiste en calcular la cantidad de los árboles existentes en una determinada área, por medio de ecuaciones alométricas definidos por los parámetros esenciales de biomasa arbórea, arbustiva, hojarasca y subterránea que está constituido por el peso húmedo y seco del conjunto de ramas, troncos, hojas y mantillo formado en el suelo que conforman el volumen total de cada árbol del componente forestal (Ortiz y Riascos, 2006).

La estimación promedio de la cantidad de carbono en los diferentes componentes terrestres pueden ser calculados por varios métodos, entre los cuales se incluyen registros de datos, fórmulas y cálculos propuestos del IPCC (2003b). Además los países pueden crear y desarrollar metodologías para realizar sus propios inventarios forestales y medición de muestras en campo mediante la instalación de parcelas con fines de investigación, comercio de madera, bonos de carbono, cambio del uso de suelo y proyectos de reforestación. Entre los más utilizados tenemos:

### **C. Metodología del ICRAF**

De acuerdo a los procedimientos estándar propuestos por el ICRAF, se tiene el método no destructivo, que utiliza la cantidad total de biomasa aérea y subterránea de las plantas vivas y muertas, así mismo la cantidad total de suelo en diferentes horizontes por tamaño de muestra que está conformado por microorganismos edáficos y materia orgánica vegetal y animal que sirven para el

cálculo de carbono almacenado y fijado en diferentes ecosistemas, que considera las siguientes variables:

- Cantidad total de árboles en pie (vivos o muertos)
- Cantidad de árboles caídos o muertos
- Cantidad de biomasa arbustiva, herbácea y subterránea
- Cantidad de biomasa de hojarasca
- Cantidad de suelo por horizonte (**ICRAF, 2003**)

#### **D. Ecuaciones alométricas**

Son herramientas matemáticas que facilitan de manera sencilla la determinación de la cantidad de biomasa que produce un árbol a partir de la medición de su estructura vegetal y suelo. Las ecuaciones son desarrolladas a partir fórmulas de regresión que utilizan los parámetros de medición de la estructura de un árbol como su altura, DAP, peso seco de la bioma vegetal y peso del suelo presente en el ecosistema.

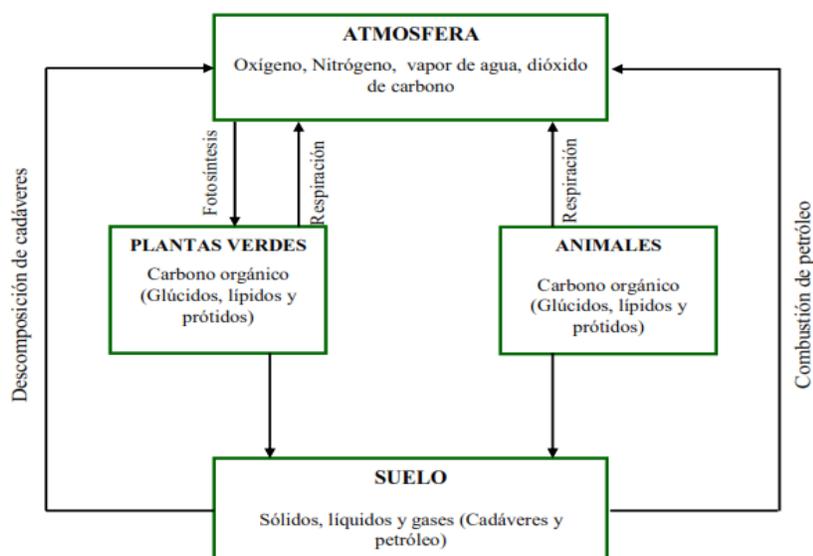
Par estimar la cantidad de carbono almacenado en un bosque o componente forestal, se debe medir el DAP y altura de cada árbol, cantidad de biomasa vegetal total que está constituido por biomasa arbórea, arbustiva, hojarasca y subterránea y el peso del suelo, que luego se utilizan en ecuaciones para calcular la cantidad total de carbono contenido en el bosque. Así estas ecuaciones se convierten en herramientas de fácil aplicación y practica que utiliza datos de campo sin tener que talar o podar los árboles existentes en los bosques (Culqui, 2015).

#### **2.2.6. Procesos del ciclo natural de carbono**

El carbono es un elemento natural importante en varios compuestos orgánicos, el cual está presente en depósitos o almacenes de carbono orgánico en varios sistemas como el suelo, atmosfera, subsuelo y en el océano. La circulación de estos depósitos de carbono se da a través de procesos físicos, biológicos y químicos. La interacción entre la cantidad de carbono terrestre y atmosférico es generada por la fotosíntesis y la respiración de las plantas y por la quema de combustibles fósiles de origen natural y humano (Rügnitz et al., 2009).

**Figura 3**

*Carbono orgánico y su ciclo biogeoquímico*



Fuente: Álvarez (2008)

La fijación o captura de carbono orgánico se origina mediante los procesos de síntesis de nutrientes conocido como fotosíntesis, donde las plantas absorben  $\text{CO}_2$  atmosférico y energía solar para producir carbohidratos (glucosa) y oxígeno por medio de la respiración celular por las características fisiológicas que tienen en su desarrollo y crecimiento vegetal. Además, durante este proceso las plantas almacenan carbono en la biomasa del componente vegetal constituido en su fuste, madera, hojarasca, necro masa y demás residuos durante el recambio estacional que convierte toda su estructura vegetal en una reserva natural de carbono, teniendo en cuenta que en la biomasa seca representa el 45% de carbono orgánico. Así mismo la emisión de carbono ocurre en sentido contrario, por la descomposición de materia orgánica que forma parte de la respiración de varios microorganismos edáficos y por la respiración de las plantas y animales (Rügnitz, 2009).

Tener en cuenta que las plantas capturan y almacenan el dióxido de carbono atmosférico para producir nutrientes que sirven en su desarrollo y crecimiento vegetal. Según estudios una plantación arbórea puede capturar aproximadamente

10 toneladas de carbono de la atmósfera durante un año que depende de la edad, cantidad de cobertura y las condiciones ambientales del ecosistema donde se distribuyen. Ante lo mencionado, los bosques contienen grandes cantidades de carbono que no se libera a la atmósfera y que en bosques tropicales la cantidad total de biomasa seca varía entre 150 y 382 toneladas por hectárea que equivale a 67.5 y 171 toneladas por hectárea de carbono almacenado (Arévalo et al., 2003).

Existen varios sistemas ecológicos que intervienen en la captura y almacenamiento de carbono, entre ellos tenemos:

#### **A. Proceso de captura de carbono**

Este proceso se origina a partir de la fotosíntesis que forma parte de la síntesis de nutrientes y respiración de las plantas, el cual interviene en la absorción de carbono presente en la atmósfera que se retiene en la biomasa de la vegetación y el suelo, facilitando su traslado a distintos depósitos de almacenamiento para evitar su reintroducción en la atmósfera.

A través de este proceso, las plantas absorben el CO<sub>2</sub> presente en la atmósfera, generando carbohidratos y aumentando su masa. En este contexto, los bosques como componente vegetal de gran dimensión en altura, tienen la capacidad de capturar y retener más carbono en comparación con otros ecosistemas. Además, participan en aproximadamente el 90% del flujo anual de carbono en la atmósfera y superficie terrestre. La captura de carbono es un proceso constante que se lleva a cabo en cualquier sistema, que se interrumpe por degradación de estos ecosistemas.

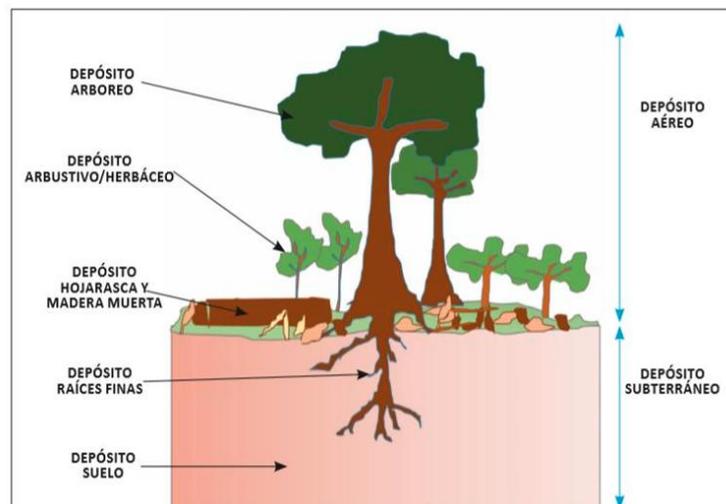
La estimación de la captura de carbono puede realizarse en distintos sistemas de tierras, que incluyen bosques primarios, en área quemadas o degradadas, en plantaciones perennes, así como en bosques secundarios, pastizales, sistemas agroforestales y tierras en barbecho. Por lo tanto, la medición del carbono capturado puede realizarse en cualquiera de estos sistemas (ICRAF, 2003).

## B. Reservas naturales de carbono

Es la cantidad de carbono contenida en fuentes y sistemas naturales que tienen la capacidad de regular el carbono de la atmósfera (FAO, 2000) como la materia orgánica, biomasa de bosques, horizontes del suelo y demás vegetación existente en el planeta (IPCC, 2005). Los bosques tropicales a pesar de los impactos ambientales que sufren, mantienen grandes concentraciones de biomasa y biodiversidad en todo el mundo, actualmente son los más extensos en la parte amazónica de América del Sur. Los incendios y la quema que dañan los bosques generan el dióxido de carbono mediante el proceso de combustión y emisión de carbono de la vegetación el cual se libera y termina liberándose en atmósfera, la pérdida de este carbono vegetal provoca la acumulación de dióxido de carbono en la atmósfera (Arévalo et al., 2003).

### Figura 4

*Depósitos naturales de carbono en un árbol*



Fuente: Cuellar (2016)

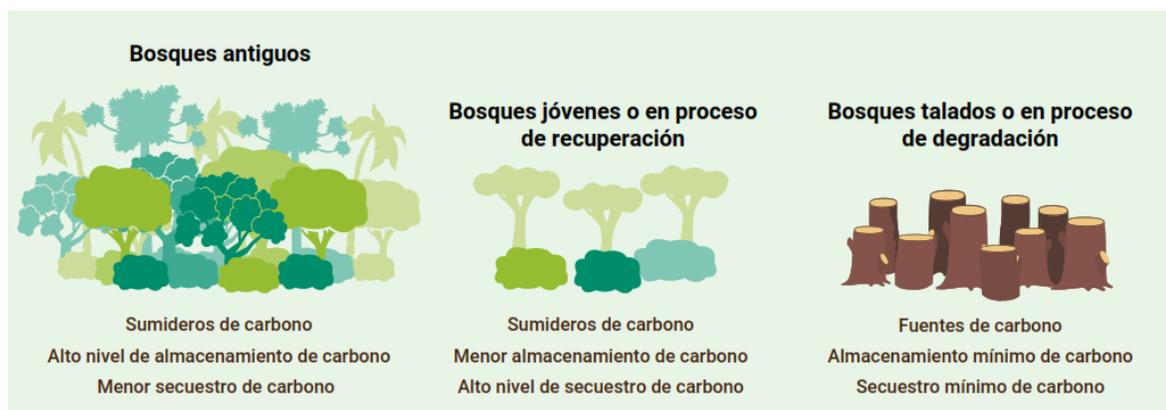
## C. Reserva de carbono en biomasa vegetal de bosque:

El almacenamiento total de carbono orgánico en los bosques se debe a la gestión a la edad, composición, cobertura vegetal, distribución de tamaños y estructura. Asimismo, estos ecosistemas contribuyen a disminuir la concentración de carbono en la atmósfera que aumenta por la excesiva emisión generada por la actividad humana (Torres y Guevara, 2002).

La cantidad de captura de carbono en bosques se genera por el proceso de fotosíntesis que es mayor en árboles jóvenes a diferencia de árboles maduros que presentan mayor cantidad de almacenamiento total de carbono, teniendo en cuenta que en ecosistemas terrestres, el carbono permanece almacenado en diferentes formas como en la biomasa aérea, arbustiva hojarasca, subterránea y en el suelo (Cadena y Ángeles, 2005). Por lo tanto, la importancia de los bosques radica en su capacidad para almacenar y fijar carbono en su componente vegetal y estructura leñosa, por ejemplo, el fuste de un árbol retiene aproximadamente el 84 % de biomasa que equivale a 46 % de carbono (Avendaño et al., 2009).

## Figura 5

*Carbono capturado en diferentes tipos de bosques*



Fuente: World Resources Institute (WRI)

### **D. Reserva de carbono en el suelo:**

El carbono capturado en el suelo comienza con el proceso de la fotosíntesis, donde las plantas convierten el dióxido de carbono atmosférico (CO<sub>2</sub>) en otros compuestos para reducir su concentración y otros gases de efecto invernadero.

Asimismo el contenido de carbono orgánico en suelo se debe principalmente al proceso de descomposición de la materia orgánica y la respiración por parte de los microorganismos, parte de ese carbono regresa a la atmósfera mediante el proceso de mineralización.

Otras cantidades de carbono orgánico se transportan de forma natural en cuerpos de agua como ríos hasta llegar al mar donde se depositan como carbonatos ( $\text{CO}_3$ ), además una cantidad de carbono orgánico permanece en el suelo como materia orgánica el cual es absorbido y almacenado por medio de las raíces de las plantas que contribuyen en la captura de carbono orgánico en el suelo.

La variación de cantidad de carbono entre el océano y la atmosfera se genera mediante procesos químicos que mantienen el equilibrio en el aire sobre la superficie del mar. Por lo tanto las concentraciones de dióxido de carbono retenido en el océano dependen de la cantidad acumulada y de la temperatura, donde una elevada temperatura de agua genera emisión de dióxido de carbono (ICRAF, 2003).

Es importante señalar que la presencia de carbono orgánico contenido en suelos naturales muestra un equilibrio dinámico entre la pérdida por descomposición (mineralización) y absorción en la vegetación muerta. Ante ello, se manifiesta que el suelo en condiciones aeróbicas el carbono que es retenido es inestable donde una poca fracción de lo que ingresa (55 Pg/año) se acumula en la fracción estable de humus (0,4 Pg/año) (Amescua y Sandoval, 2004). La cantidad de carbono orgánico contenido en el suelo es de dos a tres veces mayor al carbono orgánico contenido en la atmósfera. En una profundidad de 1m se tiene 1500 Pg de carbono y 2456 Pg de carbono a una profundidad de 2 m, así como (1700 Pg) de material inorgánico que interactúa con la atmósfera (Ubillús, 2014).

### **E. Perturbaciones antropogénicas al ciclo global del carbono**

Las perturbaciones por la actividad humana generan impactos directos e indirectos que influyen en la alteración del ciclo del carbono. Los impactos directos se dan por medio de avance industrial que genera un nuevo carbono al ciclo global del carbono mediante la quema de combustibles fósiles, expansión urbana,

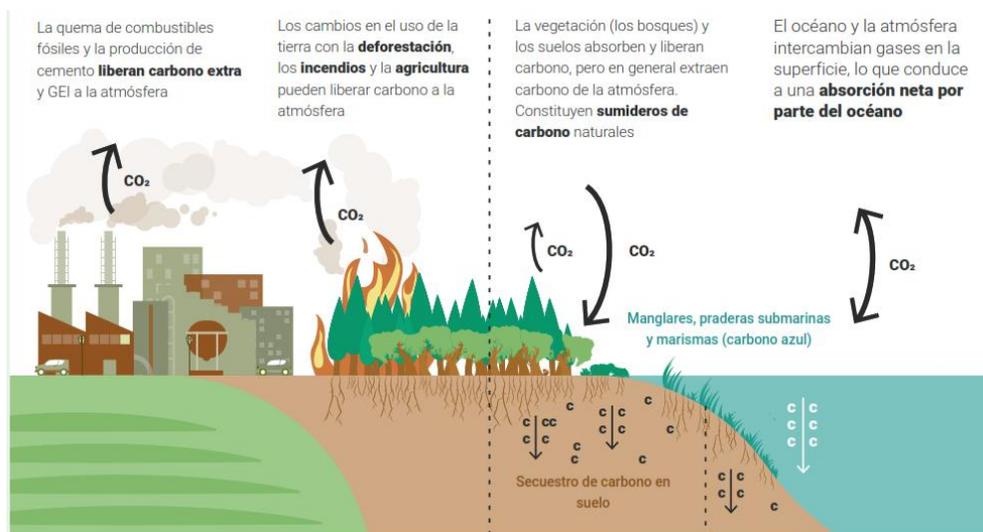
emplazamiento de cobertura vegetal, fragmentación de áreas forestales que se originan por los cambios en el uso actual del suelo. El problema de la deforestación y cambio de uso de suelo abarca la reducción de cobertura forestal que conlleva en la baja eficiencia del ciclo del carbono, el cual provoca la pérdida de capacidad fotosintética forestal y la liberación de grandes cantidades de carbono acumulado en su componente vegetal en grandes intervalos de tiempo. Los impactos indirectos se dan por diferentes actividades humanas que generan grandes concentraciones de CO<sub>2</sub> y que aceleran el ciclo del carbono, el cual influye en la alteración de otros ciclos biogeoquímicos a nivel mundial, degradación de ecosistemas, modificación en la composición atmosférica por la gran cantidad de GEI y cambios en la biodiversidad flora y fauna.

En la actualidad, alrededor del 75% de las perturbaciones directas generadas por la actividad humana en el ciclo global del carbono se originan por la quema de combustibles fósiles, cuyas emisiones actualmente superan los 6 gigatonnes de carbono por año y siguen en aumento. Para contextualizar este dato, estas emisiones equivalen a la quema y destrucción de la mitad de los árboles, sin considerar los residuos de carbón vegetal ni hollín. Sin embargo, a la mitad del siglo XIX, la acumulación total de dióxido de carbono a la atmósfera generado por el cambio de uso de, fue significativo de (~156 gigatonnes de carbono) como la generada por el uso de combustibles fósiles de (~280 gigatonnes de carbono por año) y sigue siendo una emisión antropogénica considerable (~2,2 gigatonnes de carbono por año) (Houghton, 2003).

Por lo tanto en los bosques, el carbono se encuentra mayormente almacenado en los árboles (biomasa aérea), las raíces (biomasa subterránea) y el suelo, a nivel mundial, estos ecosistemas almacenan gran cantidad de carbono de aproximadamente de 861 y 3 160 gigatoneladas de carbono, en comparación con las reservas de combustibles fósiles que rondan las 750 gigatoneladas de carbono y 2 750 Gt de CO<sub>2</sub>.

## Figura 6

*Movimiento del carbono por los componentes bióticos*



Fuente: Carvalho et al. (2023)

### 2.2.7. Cambio climático y dióxido de carbono

Se refiere a la variación del clima a lo largo del tiempo, el cual genera impactos ambientales por la alteración que sufre de manera directa o indirecta de la acción humana, afectando la composición natural del clima, provocando el incremento de fenómenos anormales de precipitación y temperatura y de la atmósfera global (CMNUCC, 1992). Diversos estudios concluyen que su comportamiento es auto acelerado debido a los efectos climáticos que se provocan en el planeta.

En la actualidad, en el sexto informe del IPCC (2022) señala un aumento en el promedio de la temperatura mundial de 1.1°C, que es resultado de las actividades humanas, además menciona que si persiste el uso de combustibles fósiles generados por actividades antrópicas, incrementara las concentraciones de CO<sub>2</sub> y a su vez el aumento de gases de efecto invernadero (GEI), el cual podría causar impactos más graves, generando el aumento de la temperatura del planeta de 1.5°C a partir del 2023, y efectos perjudiciales como la degradación de ecosistemas, aumento del nivel del mar, retroceso de glaciares y reducción de hielo polar, manifestación de fenómenos climáticos extremos, generación de plagas y enfermedades, pérdida de la fertilidad de suelos, disminución del rendimiento de los

cultivos, pérdida de biodiversidad. Por ello, existen múltiples factores que aceleran el cambio climático a nivel global, entre los cuales se tenemos:

### **A. Efecto Invernadero**

Es un proceso en el cual ciertos gases presentes en la atmósfera del planeta retienen parte de la energía emitida por la superficie terrestre que tras ser calentada por la radiación solar. Este proceso permite que energía de la radiación solar recibida por la tierra se disipe rápidamente a la atmosfera, reduciendo el incremento de temperatura del planeta (Benavides, 2007).

### **B. Gases de efecto Invernadero (GEI)**

Según el reporte del clima de (Organización Meteorológica Mundial, 2018), los GEI más importantes que perduran mayor tiempo en la atmosfera y la tierra es el metano ( $\text{CH}_4$ ), óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ) y dióxido de carbono el cual mantiene altas concentraciones generados por la constantes emisiones provocadas de la actividad humana, y de acuerdo al informe de la (CMNUCC,1998) son los perfluorocarbonos (PFC), el óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ), dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), metano ( $\text{CH}_4$ ), Hidrofluorocarbonos (HFC) y el hexafluoruro de azufre ( $\text{SF}_6$ ).

### **C. Principal gas de efecto invernadero ( $\text{CO}_2$ )**

El dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) es el principal gas de efecto invernadero que permanece en la atmosfera durante mucho tiempo, el cual contribuye aproximadamente 16% de la variación en el flujo total de energía radiactiva en la superficie del planeta causado por los demás GEI de alta duración, así también el nivel de concentración de  $\text{CO}_2$  en la atmosfera fue de 146% y el promedio de la fracción molar de  $\text{CO}_2$  resulto  $405.5 \pm 0.1$  en partes por millón en todo el mundo reportado en el año 2017 (OMM, 2018).

### **D. Fuentes que generan el incremento de (GEI)**

A partir de la revolución industrial y desde la creación de máquinas para generar energía y tecnología, se ha venido empleando la utilización excesiva de insumos y combustibles como el petróleo, gasolina, carbón y otros productos que

sirven para el desarrollo de actividades agrícolas, acumulación de residuos sólidos, transporte terrestre, marino y aéreo, construcción de ciudades, mineras, centros nucleares, industrias y fábricas en todo el mundo, los cuales provocan directa e indirectamente el aumento de la concentración de GEI, debido al poco interés de países industrializados, escaso compromiso de política de reducción de GEI, que son los principales generadores de estos gases, así mismo por la poca aplicación de energías limpias como reemplazo de los combustibles fósiles.

En el caso de Perú, la fuente que genera mayor emisión de GEI es el sector de transporte, debido a la alta demanda de petróleo y gas para el uso de maquinaria pesada y el tránsito vehicular que representa el 9.938 (CO<sub>2</sub>e) equivalente a 39.8 % de emisiones de GEI a nivel nacional, además las actividades de construcción y la industria generan también una considerable cantidad de emisiones de CO<sub>2</sub> debido a que estos sectores utilizan el petróleo y carbón como insumo para el desarrollo de sus trabajos en todo el país (MINAM, 2010).

### **2.2.8. Valor económico de servicios ambientales**

Es el proceso de compensación directa que se realiza para contribuir con el uso sostenible de los recursos y ecosistemas naturales. Esta compensación consiste en generar la oferta y mantenimiento de los servicios ambientales a través un valor económico por parte de las personas que hacen uso de estos servicios. Asimismo el pago por servicios ambientales está conformado por la transferencia de recursos de tipo monetario o reembolso que se realiza de manera voluntaria con el objetivo de satisfacer las necesidades del usuario a partir del servicio ecosistémico, dicho proceso está constituido por un comprador y un proveedor del servicio, que se basa en el cumplimiento de la entrega del servicio ambiental como factor condicionante (OSINFOR, 2024). Ante ello se tiene los siguientes procesos de compensación:

Pago económico directo: está conformado por los recursos financieros como tarifas y tasas pagados por usuarios, impuestos y fondos internacionales entre otros.

Derechos de acceso a mercados: Esta conformado al cumplimiento de normas y derechos por el uso de recursos de producción como el derecho de utilización de la tierra, financiamiento para la venta de productos, ingreso a mercados mediante la certificación de productos, entre otros.

Pago en especie: consiste en el pago a través del acceso a programas de formación, proyectos de reforestación, construcción de infraestructura, entre otros.

### **A. Valor del servicio ambiental de captura carbono**

La valoración de servicios ambientales de carbono se suele dar mayormente en países desarrollados debido a las ventajas que obtienen en la reducción de altas concentraciones de CO<sub>2</sub> a la atmosfera, mitigación la variación climática, pero también ofrece beneficios a nivel local y nacional por medio del pago por reducción de carbono establecidos para mitigar las emisiones de GEI (Ávila, 2000).

En el caso del Perú existen mecanismos de retribución y valores establecidos para el pago por el servicio de captura y almacenamiento de CO<sub>2</sub> que están diseñados principalmente para las regiones donde existe gran cantidad de bosques amazónicos. Sin embargo los mecanismos de compensación son escasos para regiones alto andinas donde existen gran cantidad de bofedales, pajonales y bosques nativos de *Polylepis* (Quenual) lo que genera la falta de indicadores de valoración de estos ecosistemas que reducen opciones para el adecuado manejo y gestión de sus recursos naturales (Medina y Bocado, 2020).

Para el caso del Perú, se ha implementado precios de mercado voluntario para el pago por reducción de concentraciones de carbono, proyectos de compensación para la reforestación que conlleva también a la reducción de carbono que tiene finalidad de mitigar los efectos de la variación del clima y emisiones de GEI conforme a lo establecido en el protocolo de Kioto, debido a que el país forma parte de la CMNUCC (Phillips et al., 2017).

Para determinar el valor de captura de carbono de un ecosistema, se debe establecer un precio equivalente a la cantidad reducida o liberada de carbono, el cual consiste en tener un precio fijo por el servicio ambiental de captura de carbono,

además este proceso abarca diferentes actividades como la estimación de la cantidad total de biomasa vegetal y carbono, el pago por parte de las personas (consumidores) y valoración del servicio ambiental de captura de carbono (López, 2015).

## **B. Precio de carbono en el mundo**

En el nivel político, el valor económico se determina a través de una tonelada de dióxido de carbono liberado en la atmósfera (López, 2015). Hasta ahora, se han generado diversas posiciones para determinar un precio en el mercado de carbono por el servicio de captura de carbono por tonelada de dióxido de carbono equivalente (CO<sub>2</sub>e). Ante ello, tenemos a México como primer país latinoamericano en introducir un precio al carbono en 2013, estableciendo un precio a los combustibles según su contenido de carbono, a una tarifa de US\$2 por tonelada, alcanzando un promedio de US\$14.62 en 2021; Colombia implementó en 2017 un impuesto de US\$5 por tonelada de CO<sub>2</sub> emitido; Chile estableció un impuesto de US\$5 por tonelada de CO<sub>2</sub> emitido para las industrias y empresas que producen más de 50 MW de energía, con previsiones de alcanzar US\$60 en 2023 y proyectando US\$75 en 2030, finalmente el país de Argentina estableció un impuesto en el 2018 que fue de US\$10/tCO<sub>2</sub>e para los combustibles que producen dióxido de carbono y líquidos como el petróleo (Congreso de la República del Perú, 2021).

Según un reporte del Banco Mundial, en el año 2021 el costo promedio del carbono fue \$2 por tonelada de CO<sub>2</sub> equivalente emitida a nivel global; no obstante, según la Comisión Stern/Stiglitz, para cumplir con los objetivos actuales de descarbonización y reducción de efectos del calentamiento global, este debería aumentar a un rango entre \$50 y \$100 por tonelada de CO<sub>2</sub>e en 2030, con la finalidad de cumplir con los objetivos establecidos en el Acuerdo de París.

## **C. Precio de carbono en el Perú**

En el Perú, hasta la actualidad no existe un impuesto o precio fijo nacional sobre el carbono; sin embargo, el Ministerio de Economía y Finanzas (MEF) fijó un precio social del carbono de US\$7.17 por tonelada de CO<sub>2</sub>e para la reducción de

concentración de carbono en el Perú. Este precio se estableció para realizar la medición monetaria de externalidades ambientales (ya sean positivas o negativas) en varios proyectos que implican la generación de carbono con la finalidad de establecer un valor para la reducción de emisiones (GEI), ante ello se manifiesta que el país se proyecta en determinar un precio de carbono en el mercado para reducir la huella de carbono en empresas públicas y privadas con el objetivo de financiar proyectos de carbono (CIUP, 2016).

#### **D. Precio social de carbono en el Perú**

En el contexto del Programa EUROCLIMA+, la CEPAL ha promovido activamente la iniciativa regional sobre el Precio Social del Carbono en naciones latinoamericanas. En este sentido, se llevaron a cabo investigaciones que evaluaron cómo el Precio Social del Carbono impacta en la inversión pública en sectores estratégicos como la energía, el transporte y la infraestructura vial y de transporte. Estos estudios resaltaron la importancia de considerar el Precio Social del Carbono al evaluar las inversiones públicas, subrayando su relevancia para la toma de decisiones en políticas de desarrollo sostenible.

Como parte de ello, en el Informe Final de “Cálculo del Precio Social del Carbono para el Perú” del 2024 preparado para CEPAL, se realizó la estimación del precio social del carbono (PSC), mediante el método de “benchmark propuesto” que considera la información histórica sobre compromisos nacionales de reducción de GEI, proyecciones de emisiones nacionales, tasas de descuento social utilizadas nacionalmente, experiencias previas en el cálculo del PSC, el PIB (PPA) per cápita nacional más actualizado y la trayectoria de crecimiento de PIB (PPA) per cápita para calcular y proyectar el valor PSC en el futuro, así mismo para desarrollar el método se utilizó los modelos y base de datos del inventario Nacional de GEI 2021, el estudio del BID (2021) “Costos y beneficios de la carbono-neutralidad en Perú - Apoyo a la Estrategia de Carbono neutralidad de largo plazo”; y la “Estimación del Precio Social del Carbono para la Evaluación Social de Proyectos en el Perú 2016”, a partir de estos estudios se generó los siguientes valores de referencia o benchmark de 20 USD 2021/tCO<sub>2e</sub>, en función del PIB (PPA) per cápita del año 2020 del Perú.

Por otro lado, con la aplicación de La Tasa Social de Descuento decreciente (TSD) de 8% del 2020 constante hasta la década del 2300 del Perú y el modelo de “Análisis de políticas Efecto Invernadero (PAGE 2020)” se estimó 32 USD 2021/tCO<sub>2e</sub> y con el “Modelo Dinámico Integrado de Clima y Economía (DICE 2016R2)” fue 28 USD 2021/tCO<sub>2e</sub>, obteniendo un valor promedio de PSC para el Perú de 30 USD 2021/tCO<sub>2e</sub>, luego determinaron valores proyectados en base a los modelos DICE y PAGE PSC, teniendo como resultado para el año 2025 de 36 USD 2021/tCO<sub>2e</sub> y para el año 2030 de 43 USD 2021/tCO<sub>2e</sub> (Pica et al., 2024).

**Tabla 5**

*Estimación preliminar de PSC futuros para el Perú*

<b>Modelo</b>	<b>PSC para el 2021 TSD decreciente (USD 2021/tCO<sub>2e</sub>)</b>	<b>PSC para el 2025 TSD decreciente (USD 2021/tCO<sub>2e</sub>)</b>	<b>PSC para el 2030 TSD decreciente (USD 2021/tCO<sub>2e</sub>)</b>
<b>DICE 2016R2</b>	28	32	36
<b>PAGE 2020</b>	32	41	49
<b>Promedio</b>	30	36	43

Fuente: Pica et al. (2024)

Por lo tanto, de acuerdo a los valores estimados en el informe se recomienda utilizar un PSC de 30 USD 2021/tCO<sub>2e</sub> para el Perú, que corresponde al promedio de los modelos, ya que es bastante consistente con la realidad nacional según lo estimado en el benchmark, representando además una alta ambición climática en comparación a otros países que han avanzado en la materia.

### **E. Bonos para reducción de carbono y proyectos REDD**

En base a los precios sociales de carbono de cada país descrito anteriormente, están los bonos de carbono que constituyen un mecanismo de compensación para reducir la concentración de emisiones de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), ofreciendo a empresas y personas la posibilidad de reducir el impacto de su huella de carbono,

además estos bonos representan la eliminación de una tonelada de dióxido de carbono (tnCO<sub>2</sub>e) de la atmósfera terrestre. Esta herramienta a su vez contribuye a generar estrategias para solucionar los impactos de la contaminación ambiental, calentamiento global y variación climática y a reducir la emisión de diversos gases de efecto invernadero (GEI), descritos en los compromisos internacionales sobre la reducción de concentración de dióxido de carbono en todo el planeta.

Los bonos de carbono indican que se ha absorbido o prevenido la liberación de una tonelada de dióxido de carbono equivalente (t de CO<sub>2</sub>e) en la atmósfera, teniendo en cuenta lo siguiente:

- Se obtiene 1 bono de carbono a partir de la captura de 1 tonelada de CO<sub>2</sub>e del programa de forestación.
- Se obtiene 1 bono de carbono a partir de la liberación de 1 tonelada de CO<sub>2</sub>e a la atmósfera del programa de protección forestal.

Los proyectos REDD que significa "Reducción de Emisiones derivadas de la Deforestación y la Degradación de los bosques", mantiene el respaldo de las Naciones Unidas con el propósito de prevenir la degradación de bosques, contrarrestar los impactos del cambio climático y reducción de GEI. Por otro lado REDD+ indica la incorporación de herramientas de gestión y conservación sostenibles de los bosques para el aumento forestal de sumideros de carbono con el apoyo de poblaciones locales, también permite a países establecer valores por el servicio ecosistémico de captura de carbono producidos por los bosques, brindar incentivos económicos para reducir la degradación y deforestación de los bosques que son sustituidos por la agricultura y desarrollar estrategias para la preservación de los bosques a futuro.

En resumen, REDD es importante para los países, empresas privadas, fondos multilaterales, ONG y otros actores que deseen contribuir con la protección y preservación de sus bosques a través de pagos directos o a través de la adquisición de "bonos de carbono". Estos bonos representan aplicar estrategias para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero con la finalidad de contrarrestar las

emisiones generadas de los países industrializados (Conservación Internacional Perú, 2019).

## **2.2.9. Marco legal sobre gestión del carbono en Perú**

### **A. Disposiciones de la ley forestal y fauna silvestre (Ley N.º 29763)**

El Artículo 2, número 2, hace referencia a la participación ciudadana en la gestión forestal, menciona que toda persona tiene derecho y la responsabilidad de participar en la toma de decisiones referidos a la gestión sostenible de los ecosistemas forestales y otros ecosistemas de vegetación silvestre, el cual debe ser adoptado en todos los niveles de gobierno, con el propósito de asegurar la participación efectiva comunidades nativas y campesinas en la gestión forestal.

En el Artículo 5, menciona que los bosques naturales y las plantaciones forestales son recursos forestales independientes de su distribución en el país.

El Artículo 7, los servicios proporcionados por los ecosistemas forestales, vegetación silvestre y la fauna silvestre son originados por flujos de energía y materia, funciones ecológicas, datos del patrimonio forestal que contribuyen al bienestar de las personas en el país.

El Artículo 11, definen a las plantaciones forestales como ecosistemas forestales generados por medio de la intervención humana al sembrar especies forestales nativas e introducidas, además estas plantaciones sirven para la producción de productos de madera, protección de biodiversidad, servicios ambientales, restauración ecológica y recreación.

El Artículo 27, establece la relación de la zonificación forestal, donde la zona de protección y conservación ecológica pertenecen a ecosistemas frágiles por su baja capacidad de recuperación, susceptibilidad ante perturbaciones antrópicas, además estas zonas son prioritarias para la preservación de la biodiversidad, donde se limita el uso extractivo en ellas.

En el 2024, se establece la Ley N.º 31973 que introduce modificaciones a la Ley 29763, en el Artículo 33, la primera disposición aprueba la zonificación forestal

y de fauna silvestre que busca alterar el régimen vigente de clasificación de uso de tierras según su capacidad de uso mayor, ante estos cambios la protección de los bosques amazónicos correría peligro ya que el estado no tendría una entidad que promueva la conservación de estos bosques y la zonificación forestal podría reducirse por el aumento de zonas producción agrícola.

En la segunda disposición, se establece la prohibición del otorgamiento de títulos habilitantes sin estudios de zonificación y transformación forestal a tierras agrícolas, como consecuencia los estudios técnicos sin evaluación ni fiscalización por parte de una autoridad forestal competente podría permitir la conversión de zonas boscosas en parcelas agrícolas dando lugar a actividades ilícitas dentro de los bosques generando mayor deforestación y por ende poca regulación de carbono en el Perú.

#### **B. Disposiciones de la estrategia nacional de cambio climático del Perú (ENCC) 2015:**

El primer objetivo menciona la importancia de tener ciudades que sean resilientes a la variación de clima y generen pocas emisiones de carbono en su entorno.

En el segundo objetivo hacen énfasis en desarrollar y promover proyectos científicos y tecnológicos referidos a contrarrestar los efectos del cambio climático, fomentar la investigación sobre las funciones de ecosistemas en la emisión y captura de gases de efecto invernadero (GEI). Por otro lado el Perú como integrante de CMNUC ha elaborado un inventario nacional de Gases de Efecto Invernadero llamado (INFOCARBONO), el cual ayuda a crear estrategias para la reducción de emisiones de GEI. En el informe de resolución N° 1892012-PCM, se desarrolló la propuesta para actualizar la presente estrategia al 2050 y establecer un plan estándar para generar escenarios de reducción de CO<sub>2</sub> con la finalidad de fortalecer la gestión de bosques para un desarrollo sostenible a futuro.

### **C. Disposiciones de la ley de áreas naturales protegidas (Ley N.º 26834)**

El Artículo 21, inciso a, menciona que los parques nacionales son áreas de uso indirecto donde se puede realizar diversos trabajos de investigación, actividades de turismo y recreación para generar datos e información relevante sobre el estado actual de la biodiversidad.

El Artículo 22, refiere que los parques nacionales pertenecen al sistema nacional de áreas naturales protegidas, los cuales debido a su extensión y ecología constituyen la mayor diversidad natural asociados a la flora y fauna silvestre del país.

### **D. Disposiciones de la ley de cambio climático (Ley N.º 30754)**

El Artículo 1, menciona la importancia de implementar acciones de adaptación y mitigación al cambio climático con la finalidad de generar impactos ambientales en el país, asimismo cumplir con los compromisos internacionales ante la CMNUCC.

El Artículo 3, en su numeral 3.3, establece la importancia de preservar los servicios ecosistémicos frágiles como ecosistemas de montaña, glaciares, áreas naturales protegidas y zonas marino-costeras del Perú. En su numeral 3.4, establece realizar la mitigación y adaptación al cambio climático a través de conservación de reservas de carbono generando la participación de comunidades locales e indígenas en el manejo sostenible de bosques que funcionan como sumideros de carbono en todo el país.

El Artículo 16, establece trabajar de manera participativa y coordinada para mitigación del cambio climático en todos los niveles de gobierno, para implementar proyectos que permitan genera la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero y el aumento de sumideros de carbono.

El Artículo 17, en su numeral 1, se establece el MINAM debe evaluar la reducción de emisiones generados por actividades de deforestación y degradación forestal, el cual debe ser informando a la Secretaría de la CMNUCC. En el numeral 2, la reducción de emisiones provenientes de la deforestación y degradación forestal

permite generar iniciativas para la conservación especies forestales a través de proyectos de conservación sostenible de bosques con el propósito de reducir los niveles de carbono y beneficiar a comunidades locales y pueblos indígenas u originarios que viven alrededor de estos bosques.

#### **E. Plan maestro del parque nacional Huascarán del periodo 2017-2021**

Dentro de sus estrategias y compromisos del plan maestro, se da importancia a los ecosistemas para la conservación de la biodiversidad y la provisión de servicios ecosistémicos. Específicamente, hace referencia a los bosques alto andinos que están constituidos por bosques del género *Polylepis*, así como otros bosques mixtos de los géneros *Polylepis*, *Gynoxys*, *Alnus* y *Buddleja*. Ante ello, entre sus líneas de acción, se encuentran los siguientes objetivos:

- Preservar la cobertura vegetal y el estado de conservación de los ecosistemas del Parque Nacional Huascarán.
- Fomentar la realización de investigaciones científicas dentro del Parque Nacional Huascarán.

#### **F. Mecanismo de retribución por servicios ecosistémicos (Ley N.º 30215)**

El objetivo principal es regular y supervisar los procesos de retribución y compensación por servicios ecosistémicos originados por compromisos voluntarios, con a la finalidad de implementar de conservación, recuperación y mitigación contra la variación climática actual, para asegurar la sostenibilidad y la conservación de los ecosistemas naturales. Así mismo estos procesos permiten crear instrumentos que facilitan la transferencia de recursos económicos, tanto financieros como no financieros. En función de esto, se establecen acuerdos entre aquellos que contribuyen y aquellos que reciben compensaciones por servicios ecosistémicos, con el objetivo de conservar y restaurar de manera sostenible las fuentes de estos servicios.

## **2.3. Definición de términos básicos**

### **2.3.1. El Género *Polylepis***

Es un género endémico que se desarrolla en Andes tropicales y subtropicales de Sudamérica. Este género abarca tanto pequeños árboles como arbustos, que contribuyen a la formación de bosques perennes con poblaciones notablemente fragmentadas en diferentes altitudes donde crecen (Kessler, 2006).

### **2.3.2. Bosques relictos**

Son bosques que años atrás formaban parte de ecosistemas ubicados entre 1400 y 4,500 metros del nivel del mar. Estos bosques solían ocupar áreas extensas con variadas densidades, conteniendo especies como *Polylepis incana*. No obstante, en la actualidad, existen pequeños fragmentos de estos bosques debido a perturbaciones y deforestación de origen humano o natural, que han afectado la composición original de su vegetación forestal. (Quispe, 2002).

### **2.3.3. Biomasa vegetal**

Es la cantidad total de residuos generados por la vegetación en una determinada área o volumen, así mismo existe biomasa muerta compuesto por residuos vegetales recientemente fallecidos. La medición de la biomasa vegetal se expresa por su contenido de energía de intercambio de carbono o nitrógeno o de su peso en seco (IPCC, 2007).

### **2.3.4. Biomasa aérea**

Es la biomasa viva que está conformado por el material vegetal de un árbol o arbusto como su follaje, semillas, flores, ramas, tallos, corteza y otras partes vegetales que se encuentra sobre el suelo (IPCC, 2005).

### **2.3.5. Biomasa subterránea**

Es la biomasa contenida bajo la superficie del suelo conformado por la cantidad de material orgánico y sistema radicular de la vegetación. Este

componente desempeña una función fundamental en los ciclos biogeoquímicos, como el ciclo del carbono y el ciclo de nutrientes en el suelo (Gamarra, 2001).

### **2.3.6. Plantación forestal**

Son ecosistemas forestales creados mediante la intervención humana, a través de la plantación y siembra de especies forestales nativas o introducidas mediante siembra de esquejes o semillas, los cuales están compuestos por arboles de combinación de varias especies o de una misma especie. Estas plantaciones son destinadas a la producción de insumos como leña, productos de madera, para protección de biodiversidad, creación de zoológicos, hábitat de comunidades indígenas, para proporcionar bienes y servicios ambientales, para recreación y turismo, producción forestal, y restauración para ecológica (MINAM, 2016).

### **2.3.7. Carbono**

Es un elemento químico con un peso molecular de 12, este elemento se encuentra en el aire en forma de CO<sub>2</sub> o anhídrido carbónico. Todos los organismos vivos están constituidos por carbono, que asimilamos durante sus procesos metabólicos durante su crecimiento y que es liberado cuando estos organismos mueren (Ordoñez y Masera, 2001).

### **2.3.8. Captura de carbono**

Es un proceso característico de vegetación y demás ecosistemas existentes en el planeta, que consiste en la acción de absorber y retener el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) procedentes de la atmósfera y de otras fuentes de emisión, ya sea en la composición vegetal, suelo y demás sistemas naturales, con el objetivo de evitar su liberación al aire y la mitigación de la emisión de GEI (Brown, 1996).

### **2.3.9. Almacenamiento de carbono**

Es el proceso característico de vegetación y demás ecosistemas existentes en el planeta, que consiste en retener una cantidad específica de carbono en la fisiología y ecosistema, expresada en unidades de carbono por hectárea, en el caso

de un bosque se considera la biomasa vegetal y su suelo en toda su extensión (Lapeyre et al., 2004).

### **2.3.10. Servicio ecosistémico**

Son los recursos y procesos ecológicos que producen los ecosistemas para mantener y conservar los ciclos naturales del planeta, donde las personas obtienen beneficios importantes de la conservación del paisaje, generación alimentos, regulación hídrica, protección de la biodiversidad de especies de flora y fauna y a la actividad social, ambiental y económico que realizan (MINAM, 2014).

### **2.3.11. Valoración Económica**

Esta herramienta se emplea para evaluar el valor monetario de los beneficios y servicios que los ecosistemas brindan, incluso si no tienen un precio establecido en el mercado. Su objetivo es destacar todos los beneficios o costos relacionados con cambios en los ecosistemas que impactan en el bienestar de las personas, permitiendo que estos valores económicos se consideren al tomar decisiones. (MINAM, 2016).

### **2.3.12. Regulación ambiental**

La valoración económica puede aportar información para el diseño de instrumentos de regulación ambiental, como por ejemplo incentivos o desincentivos. Ellos podrían generar cambios de comportamiento en los agentes económicos, con el fin de alcanzar un nivel de calidad ambiental socialmente deseado (MINAM, 2016).

## CAPÍTULO III

### METODOLOGÍA

#### 3.1. Tipo de Investigación

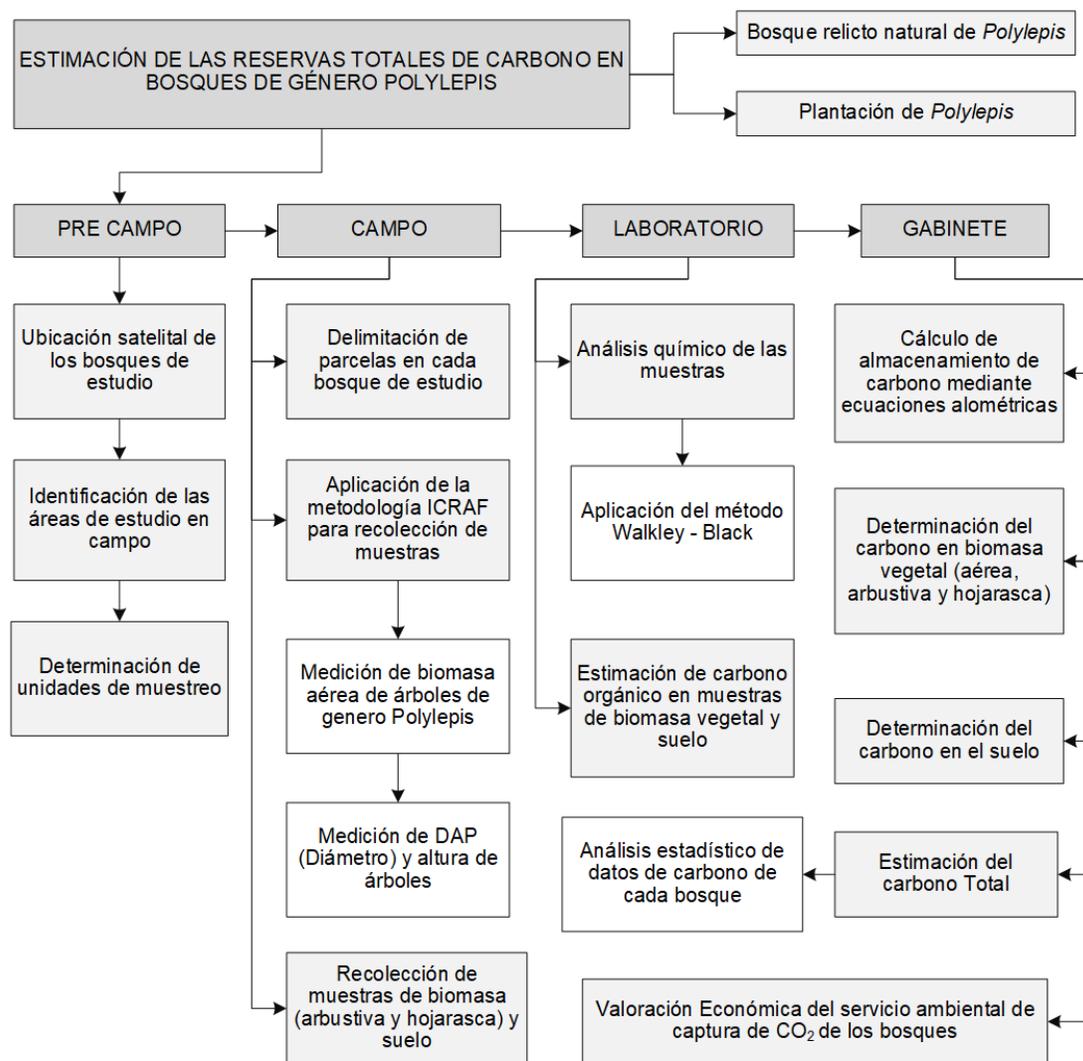
La presente investigación es Descriptivo-Comparativo, debido a que el objetivo de la investigación consiste en llegar a conocer la situación actual de las reservas totales de carbono almacenado de la biomasa vegetal y suelo de los bosques *Polylepis* a través de la descripción exacta, donde la recolección de datos se realizó en un solo momento para cada bosque de estudio (Hernández et al., 2010).

#### 3.2. Diseño de Investigación

El Diseño utilizado es no experimental, ya que no se realizaron ajustes en las variables que se encuentran en su entorno natural. Es decir, no se realizaron muestreos a lo largo del tiempo. Se adoptó un diseño de tipo transversal, ya que el objeto de investigación se centró en las reservas totales de carbono almacenadas por la biomasa vegetal y el suelo de los bosques *Polylepis* de Llaca y Quillcayhuanca en un período breve y en un momento específico.

#### Figura 7

*Diagrama de diseño de investigación*



### 3.3. Población y muestra

#### 3.3.1. Población

Compuesta por un bosque relicto natural constituido por árboles del género *Polylepis* que pertenece a la quebrada de Llaca y de un bosque sembrado de *Polylepis* en la quebrada de Quillcayhuanca, ambos ubicados dentro del Parque Nacional Huascarán, en la provincia de Huaraz, Áncash, Perú.

### 3.3.2. Muestra

Constituida por ocho parcelas (rectangulares) de 10 m x 40 m (400 m<sup>2</sup>) en cada bosque de estudio (Llaca y Quillcayhuanca), divididos en estratos de bosque muy denso (BMD) y bosque denso (BDE), que se presentan de esta forma:

- Bosque natural de *Polylepis* (49.15 ha), aparentemente más conservado, localizado en la quebrada Llaca en la zona núcleo del Parque Nacional Huascarán. La población predominante es de *Polylepis weberbauri* (INAIGEM, 2016)
- Bosque sembrado de *Polylepis* (6.96 ha), cuyo origen es una plantación con más de 30 años de antigüedad, ubicado en la quebrada Quillcayhuanca en la zona núcleo del Parque Nacional Huascarán (Ocaña, 2014); con predominio de *Polylepis racemosa* (Salvador, 2024).

Figura 8

Ubicación de las parcelas y estratos de bosque Llaca

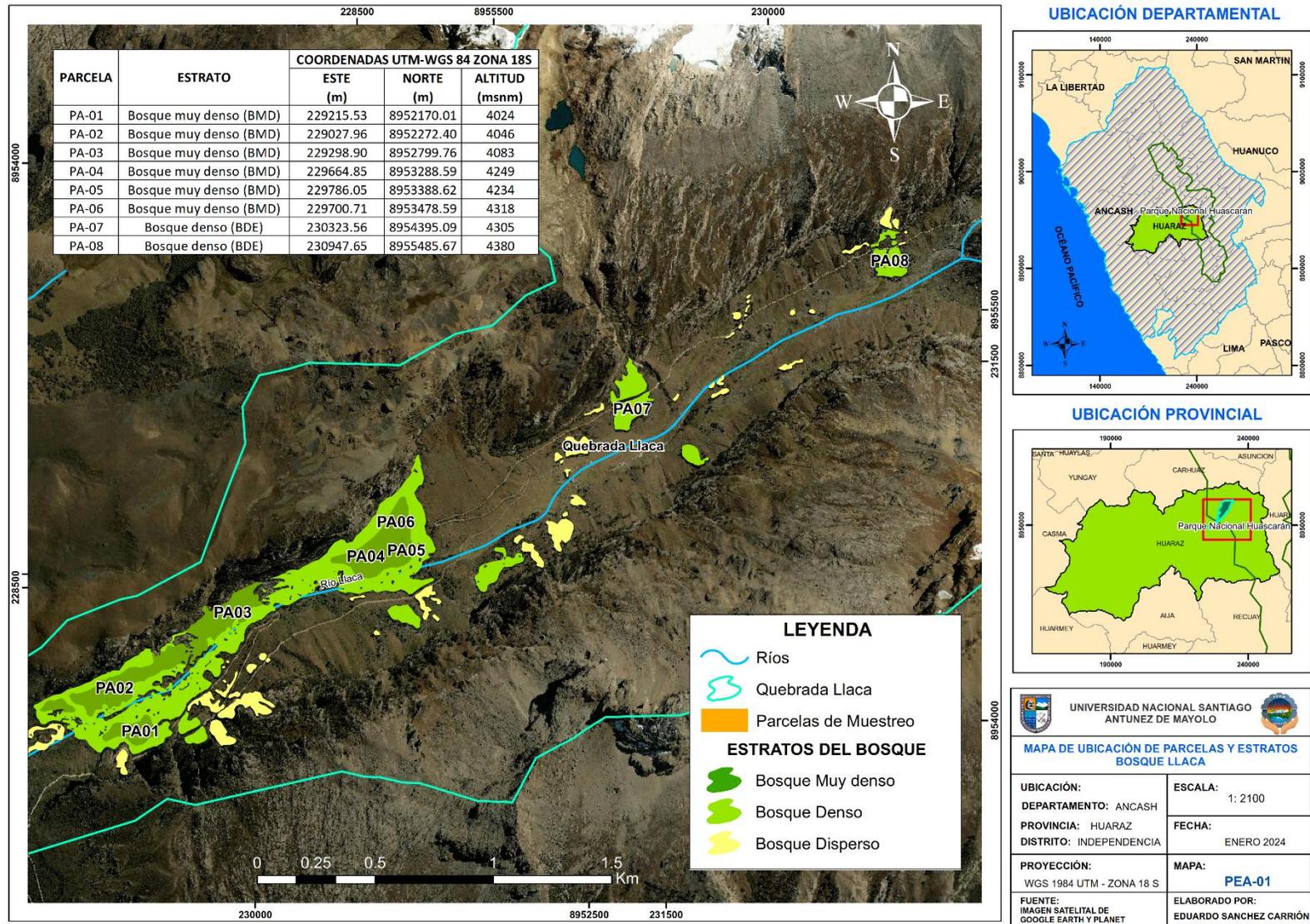
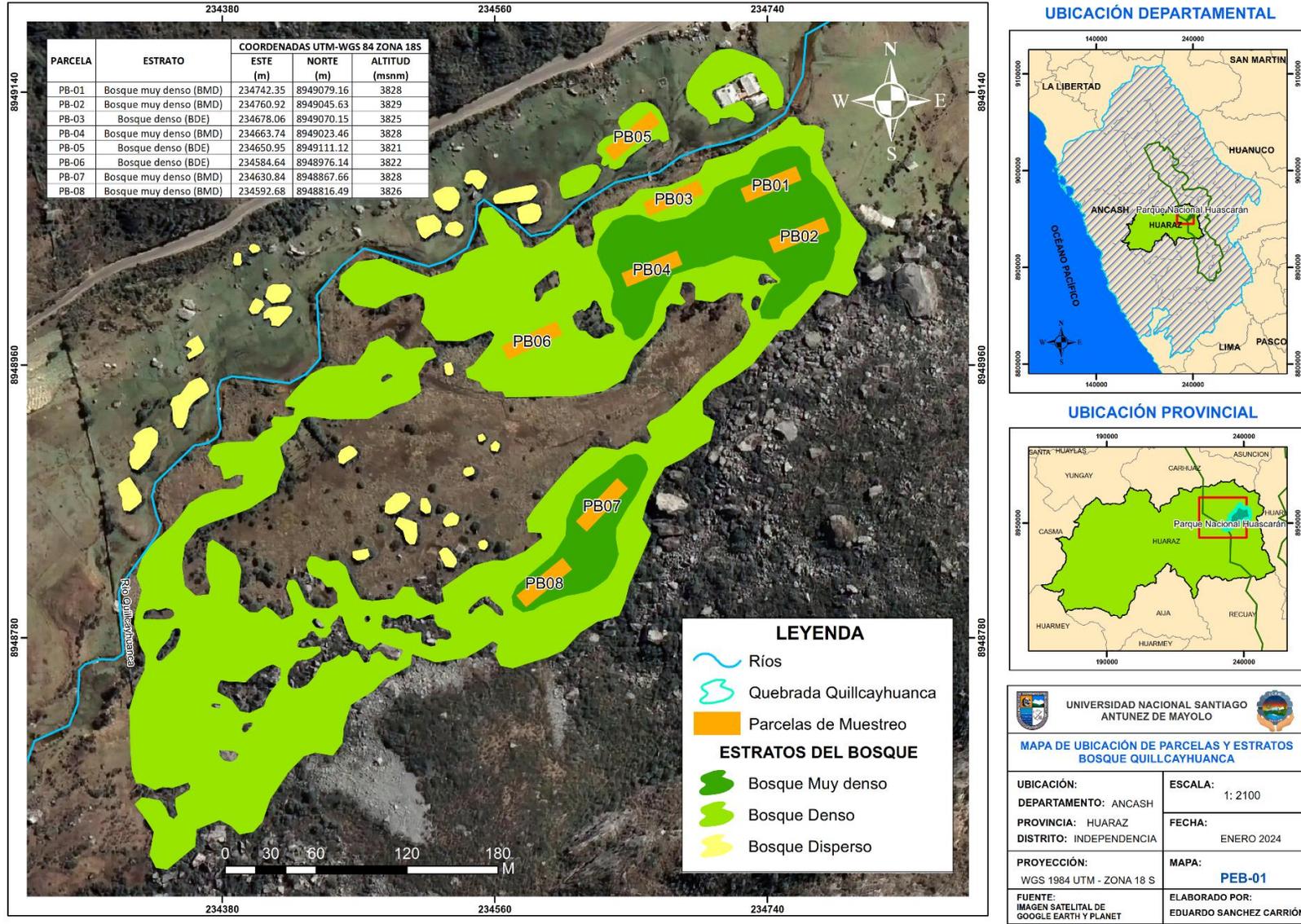


Figura 9

Ubicación de parcelas y estratos del bosque Quillcayhuanca



**Tabla 6**

Coordenadas UTM de parcelas del bosque Llaca

<b>Bosque Llaca</b>				
<b>Código de Parcela</b>	<b>Estrato de bosque</b>	<b>Ubicación en coordenadas WGS 1984 UTM Zona 18S</b>		
		<b>Este (m)</b>	<b>Norte (m)</b>	<b>Altitud (msnm)</b>
<b>PA-01</b>	Bosque muy denso (BMD)	229215.53	8952170.01	4024
<b>PA-02</b>	Bosque muy denso (BMD)	229027.96	8952272.40	4046
<b>PA-03</b>	Bosque muy denso (BMD)	229298.90	8952799.76	4083
<b>PA-04</b>	Bosque muy denso (BMD)	229664.85	8953288.59	4249
<b>PA-05</b>	Bosque muy denso (BMD)	229786.05	8953388.62	4234
<b>PA-06</b>	Bosque muy denso (BMD)	229700.71	8953478.59	4318
<b>PA-07</b>	Bosque denso (BDE)	230323.56	8954395.09	4305
<b>PA-08</b>	Bosque denso (BDE)	230947.65	8955485.67	4380

**Tabla 7**

Coordenadas UTM de parcelas del bosque Quillcayhuanca

<b>Bosque Quillcayhuanca</b>				
<b>Código de Parcela</b>	<b>Estrato de bosque</b>	<b>Ubicación en coordenadas WGS 1984 UTM Zona 18S</b>		
		<b>Este (m)</b>	<b>Norte (m)</b>	<b>Altitud (msnm)</b>
<b>PB-01</b>	Bosque muy denso (BMD)	234742.35	8949079.16	3828
<b>PB-02</b>	Bosque muy denso (BMD)	234760.92	8949045.63	3829
<b>PB-03</b>	Bosque denso (BDE)	234678.06	8949070.15	3825
<b>PB-04</b>	Bosque muy denso (BMD)	234663.74	8949023.46	3828
<b>PB-05</b>	Bosque denso (BDE)	234650.95	8949111.12	3821
<b>PB-06</b>	Bosque denso (BDE)	234584.64	8948976.14	3822
<b>PB-07</b>	Bosque muy denso (BMD)	234630.84	8948867.66	3828
<b>PB-08</b>	Bosque muy denso (BMD)	234592.68	8948816.49	3826

### 3.4. Métodos y técnicas

#### 3.4.1. Descripción del área de estudio

Las parcelas de muestreo de las áreas de estudio se ubican en las Quebradas Llaca y Quillcayhuanca, dentro de la zona núcleo del Parque Nacional Huascarán. El primer bosque pertenece al distrito de Independencia, el segundo al distrito de Huaraz, los dos bosques se encuentran en la provincia de Huaraz, departamento de Áncash.

## **A. Acceso al lugar**

Para arribar al bosque de Llaca, se ingresa por el camino accesible de Llaca, que tiene una longitud de 21 kilómetros de la ciudad de Huaraz hasta la Quebrada Llaca. En cuanto al bosque de Quillcayhuanca, se accede por la carretera interoceánica en dirección al centro poblado de Pitec, que se encuentra a 23 kilómetros de distancia hasta la Quebrada Quillcayhuanca. Para llegar a los bosques de estudio, los dos accesos se originan partiendo desde la ciudad de Huaraz con orientación hacia el este.

## **B. Composición de la fisiografía**

La Quebrada Llaca está constituido por una topografía en forma de U, ubicado en un lecho fluvio-glaciar y quebrada vertical. En el lugar se observa depósitos en forma de conos colapsados y gelifracción, originados aparentemente por la actividad sísmica. En varias zonas del fondo de la quebrada, se encuentran restos de rocas generados por eventos de remoción en masa que se han estabilizado temporalmente. Estos eventos han influenciado en la composición del bosque *Polylepis* de la Quebrada Llaca, dando lugar al crecimiento predominante de ejemplares jóvenes de estas especies (Mosquera , 2018)

La Quebrada Quillcayhuanca está constituido por una topografía en forma de U, ubicado en un lecho fluvio-glaciar y quebrada vertical. En muchas áreas se distribuyen plantaciones forestales, pajonales y humedales. Además, se nota que el río que atraviesa el bosque Quillcayhuanca muestra una coloración que varía entre tonos rojizos y celestes, atribuible a la presencia de materia orgánica generado por la ganadería del lugar y por elevada cantidad de metales o ácidos derivados de la lixiviación de rocas de los glaciares existentes dentro de la quebrada.

## **C. Característica de zonas de vida y clima**

En la Quebrada Llaca, se identifican dos zonas de vida, de las siete reconocidas en el Parque Nacional Huascarán, según Park y Watch (2005) son: el páramo muy húmedo Sub Alpino Tropical (pmh-SAT), caracterizado por un clima frío y muy húmedo, con precipitación anual de 500 mm y 1200 mm, y temperaturas

anuales de 6°C y 3°C, incluyendo días con temperaturas de congelación. La otra zona de vida es el bosque húmedo Montano Tropical (bh-MT), con clima húmedo y semi frío, con precipitación anual entre 380 y 948 mm, y temperaturas promedio de 12 °C a 6°C (Mosquera, 2018).

Según la caracterización hecha por González (2015), el clima frío es predominante en la Quebrada Quillcayhuanca, con una temperatura máxima promedio anual de 8.5 °C y temperatura mínima promedio anual de 6.9 °C. En la quebrada, la temporada de lluvias se presentan en los meses de octubre y noviembre, teniendo valores máximos en el mes de diciembre, valores mínimos en enero y aumentando en los meses de febrero y marzo. La precipitación mensual máxima reportada del lugar fue de 155.90 mm y la mínima de 0.10 mm.

#### **D. Composición de la vegetación**

La Quebrada Llaca se caracteriza por presentar vegetación única de gran nivel endémico con hábitats especiales. En el área de estudio, se identifican predominancia de bosques y pajonales. Los bosques están compuestos principalmente por árboles de *Polylepis sp*, *Polylepis albicans* y *Polylepis weberbauri* (Salvador, 2024), también se encuentran otras especies arbóreas y arbustivas asociadas con el quenual. Además existen epífitas y musgos, adheridos a las rocas y a los árboles que mantiene el microclima húmedo característico de las especies de quenual. Los géneros de vegetación más comunes que se encuentran son: Ginoxys, Senecio, Baccharis, Arenaria y Budleja. Las familias predominantes son: Scrophulariaceae, Fabaceae, Rosaceae, Asteraceae, Bromeliaceae, Poaceae, Orchidaceae (SERNANP, 2011)

La Quebrada Quillcayhuanca, se caracteriza por presentar vegetación al igual que Llaca una vegetación única pero con especies introducidas compuesta por pastos de matorrales, arbustos, plantaciones de *Polylepis* junto con árboles exóticos como plantaciones de eucalipto y pinos (Salvador, 2024). En el área de estudio se observa la predominancia de especies de flora como el Ginoxys, Baccharis caespitosa, Lupinus sp y Lachemilla pinnata. El bosque de Quillcayhuanca está

constituido por algunos árboles nativos de *Polylepis weberbauri* y *Polylepis albicans* con presencia de plantaciones de Eucalyptus, pinos y plantaciones antiguas de *Polylepis Incana* y *Polylepis racemosa* (SERNANP, 2011).

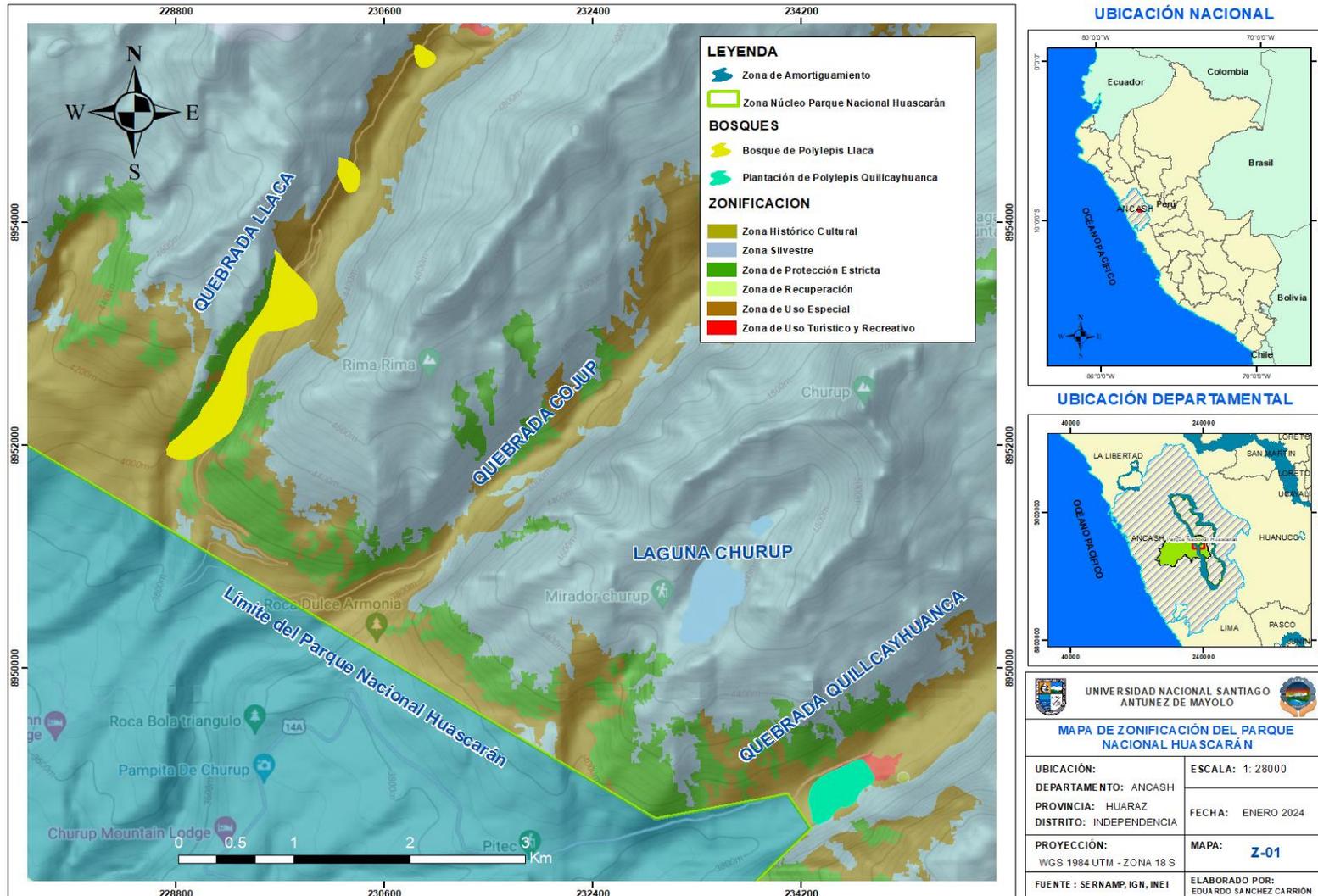
### **E. Zonificación de las áreas de estudio**

Las áreas de estudio se encuentran distribuidos dentro de las tres zonas que pertenecen a la zonificación del PNH. El bosque Llaca se encuentra clasificado como zona de protección estricta, la planicie adyacente al bosque se encuentra clasificada como zona de uso especial, el bosque de Quillcayhuanca se encuentra dentro de la zona de protección estricta, en la parte superior del bosque está clasificada como zona de turismo y recreación y al lado oeste se clasificada como zona de uso especial, así mismo las demás zonas que se encuentran en el área de influencia de los bosques están clasificadas como zona silvestre (SERNANP, 2020).

En el siguiente Mapa de zonificación del PNH, se muestra la ubicación de los bosques de estudio situados en cada zona ecológica, el cual se presenta a continuación:

Figura 10

Mapa de zonificación del Parque Nacional Huascarán



## F. Ubicación de los bosques de estudio en coordenadas UTM

Las áreas de estudio representados en el Mapa Z-01, se ubican en las siguientes coordenadas referenciales:

**Tabla 8**

*Ubicación de los bosques de estudio en coordenadas UTM*

<b>Bosques de estudio</b>	<b>Bosque natural conservado de <i>Polylepis</i> (Llaca)</b>	<b>Plantación antigua de <i>Polylepis</i> (Quillcayhuanca)</b>
<b>Quebrada</b>	Llaca	Quillcayhuanca
<b>Distrito</b>	Independencia	Huaraz
<b>Provincia</b>	Huaraz	Huaraz
<b>Coordenadas Este</b>	229710	234731
<b>Coordenadas Norte</b>	8953420	8949060
<b>Altitud (m)</b>	4092	3826
<b>Área (Ha)</b>	49.1	7.0

### 3.4.2. Etapa inicial: Determinación y estratificación del área de estudio

Consistió en realizar actividades de pre campo como la revisión de información relevante del área de estudio, teniendo las siguientes actividades:

#### A. Determinación de áreas de muestreo

Para la identificación de los sitios de estudio se descargó y procesó una imagen satelital adquirida de la plataforma PLANET de resolución 4.7 m del mes de julio de 2023, luego se delimitó espacialmente el área de cada bosque para es

tablecer las parcelas de muestreo y obtener los datos de coordendas de ubicación y la medida de las áreas de muestreo.

## **B. Estratificación de los bosques de estudio**

Se realizó la clasificación no supervisada de la imagen satelital procesada de PLANET de 4.7 m de resolución en el programa ArcGIS, para estraer y delimitar las áreas del Bosque muy denso (BMD), se hizo la depuración de las áreas que no corresponden a la cobertura de los bosques *Polylepis*, luego se vectorizo el estrato y se delimitó manualmente el estrato de Bosque denso (BDE) siguiendo las áreas de cobertura arbórea que muestra la imagen del Google Earth y de la clasificación no supervisada realizado anteriormente.

### **3.4.3. Etapa en campo: Recolección de muestras de biomasa y suelo**

Considerando la metodología de Arévalo (2003), se identificaron las actividades a desarrollar en cada bosque de estudio. Por ello, la metodología incluyó lo siguiente:

#### **A. Selección y caracterización de las áreas de muestreo**

Se realizó salidas a campo para describir el estado y uso actual de los bosques, mediante la descripción propia de los pobladores, guardaparques y opinión de especialistas, asimismo por la observación in situ, mapas de ubicación e imágenes satelitales de Google Earth, Landsat 8 y PLANET, para establecer las parcelas de muestreo en el bosque de *Polylepis* de Llaca a 4092 m.s.n.m y el bosque de *Polylepis* de Quillcayhuanca a 3826 m.s.n.m, los cuales pertenecen a la zona núcleo del Parque Nacional Huascarán, ubicados en las quebradas Llaca y Quillcayhuanca (SERNANP, 2020).

## **Figura 11**

*Identificación, selección y caracterización de los sitios de estudio*

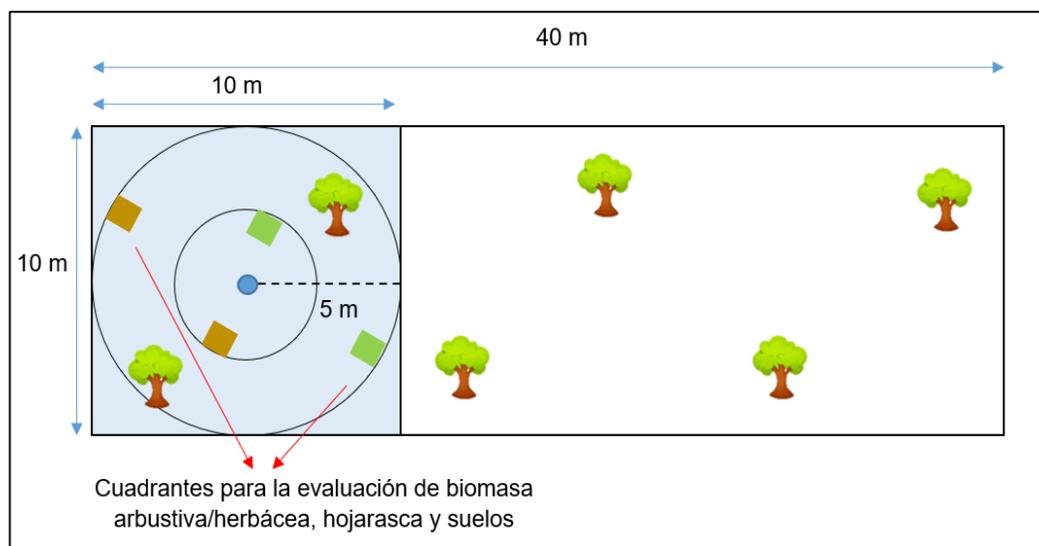


## B. Instalación de parcelas de estudio para determinar carbono

Consistió en localizar las parcelas de estudio con un GPS para establecer los vértices y distancias, para realizar la instalación de 8 parcelas con dimensiones de 10 m x 40 m (400 m<sup>2</sup>), dirigidas al norte y este de cada bosque de estudio, siguiendo la metodología del Centro Internacional para la Investigación en Agroforestería (ICRAF, 2009) y el Protocolo N°1 de Monitoreo para determinar el carbono en zonas alto andinos (Calderón et al., 2013), que se ajustó al siguiente esquema:

**Figura 12**

*Establecimiento de parcelas de muestreo*



## C. Método para la medición de biomasa

Para la medición de biomasa se aplicó el Método Indirecto (no destructivo), que consistió en tomar muestras de la biomasa vegetal total que conforma la biomasa aérea, biomasa arbustiva/herbácea y biomasa de hojarasca de los bosques de estudio (Arévalo et al., 2003), que se describen a continuación:

### 1. Biomasa aérea

Está conformada por la vegetación arbórea, el muestreo consistió en la toma de medidas del diámetro a la altura del pecho (DAP) a 1.30 m de altura aproximadamente desde el nivel del suelo de los árboles y arbustos mayores a 2.5 cm de diámetro, dentro de las parcelas de 400 m<sup>2</sup> (ICRAF, 2003).

Por factores logísticos, zonas de difícil acceso y por la homogeneidad que se identificó in situ de cada bosque de estudio, se tomaron entre 30 a 40 individuos distribuidos en la parcela de 400 m<sup>2</sup> de acuerdo a los rangos de diámetros esperados considerando también por lo menos 3 a 4 ramificaciones para cada árbol de estudio.

**Tabla 9**

*Rango de diámetros esperados*

N° de rango	Diámetros esperados (cm)
1	Menores de 10
2	Entre 10 y 20
3	Mayores de 20

**Figura 13**

*Medición de diámetro de los árboles *Polylepis**



## 2. Biomasa arbustiva y herbácea

Se llevaron a cabo dos muestreos dentro de la subparcela de 10 m x 10 m, que consistió en la colecta de especies arbustivas y herbáceas con diámetros menores a 2.5 cm dentro de un cuadrante de madera de 1 m x 1 m de tamaño, donde se registró el peso fresco de la muestra por 1 m<sup>2</sup>. Se extrajo una sub muestra para medir el peso fresco, la cual fue almacenada en sobres de papel codificadas según cada punto de muestreo, y luego se transportó al laboratorio de la Facultad de Ciencias del Ambiente (B-302) de la UNASAM. En dicho laboratorio, se procedió a secar las sub muestras frescas en un horno estufa a una temperatura de 150°C aproximadamente durante 24 horas para obtener el peso seco de la muestra (Arévalo et al., 2003).

### Figura 14

*Colecta de muestras de biomasa arbustiva y herbácea*



### 3. Biomasa de la Hojarasca

Se realizó dos muestreos dentro de la sub parcela de 10 m x 10 m que consistió en la colecta de todas las hojarasca (ramas, flores, escamas, hojas, etc.) en un cuadrante hecho de madera de tamaño 50 cm x 50 cm, donde se registró el peso fresco total por 0.25 m<sup>2</sup>. Se extrajo una sub muestra para registrar el peso fresco y se colocó en sobres de papel codificadas según cada punto de muestreo y luego se transportó al laboratorio de la Facultad de Ciencias del Ambiente (B-302). En dicho laboratorio, se procedió a secar las sub muestras frescas en un horno estufa a una temperatura de 100°C aproximadamente durante 24 horas para obtener el peso seco de la muestra (Arévalo et al., 2003).

**Figura 15**

*Colecta de muestras de la hojarasca*



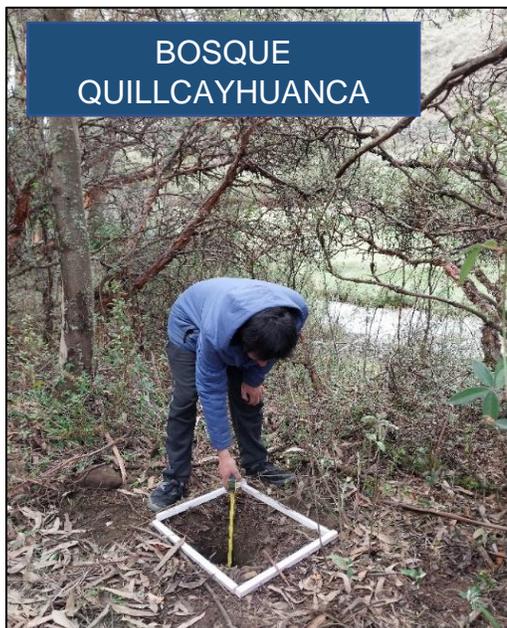
#### 4. Método de medición de densidad aparente y muestreo de suelo

Se tomo dos muestras de suelo de cada bosque de estudio en cada parcela de 400 m<sup>2</sup>, que consistió en la división de una sub parcela de 10 m x 10 m, y mediante aplicación del método circular de muestreo aleatorio, se tomó dos muestras de suelo conformados por calicatas de 50 cm de profundidad, en horizontes de 0 - 25 cm y 25 - 50 cm (Arévalo et al., 2003).

En cada horizonte de muestreo se extrajo una muestra representativa de aproximadamente de 1kg de suelo, esto se debe a que durante la extracción en cada calita, se encontró piedras y raíces que dificultaron una extracción representativa de la muestra, por esa razón se procedió a recoger una cantidad elevada de muestra de suelo.

#### Figura 16

*Colecta de muestras de suelo por horizontes*



### **3.4.4. Etapa en laboratorio: Análisis de muestras de biomasa y suelo**

#### **A. Proceso de secado de muestras de biomasa vegetal**

De la cantidad de muestras frescas extraídas en campo, se extrajo sub muestras de biomasa arbustiva y hojarasca que se almacenaron en sobres de papel para el proceso de secado en un horno estufa a una temperatura de 100°C a 150°C durante 24 horas y obtener el peso seco de cada sub muestra de arbustiva y hojarasca (Arévalo et al., 2003).

Luego se empleó una balanza analítica para medir el peso seco de las sub muestras de biomasa de arbustiva y hojarasca y estimar con el peso, la cantidad total de carbono contenido en biomasa vegetal total de cada bosque de estudio.

#### **B. Proceso de secado de muestras de suelo**

Se realizó el cernido de las muestras de suelo para remover residuos extraños a la muestra y se extrajo sub muestras que se almacenaron en sobres de papel para el proceso de secado en un horno estufa a una temperatura de 150°C por 24 horas y obtener el peso seco de cada sub muestra de suelo (Arévalo et al., 2003).

Se empleó un recipiente de forma cilíndrica de volumen conocido para medir peso seco de las sub muestras de suelo y mediante el método del cilindro uhland se determinó densidad aparente del suelo en unidades de (g/cm<sup>3</sup>). Luego se extrajo sub muestras secas de 500 gr de cada horizonte de 25 cm por punto de muestreo, que fueron codificados y trasladados al laboratorio de análisis de suelos de la Universidad Nacional Agraria La Molina, para obtener los datos del porcentaje de carbono orgánico total de las muestras secas a través del método Walkley – Black y determinar la cantidad de carbono contenido en el suelo de cada bosque de estudio.

#### **3.4.5. Etapa en gabinete: Determinación de carbono orgánico y CO<sub>2</sub> en biomasa y suelo**

Consistió en el procesamiento de datos de biomasa total aérea, arbustiva, hojarasca y suelo, luego empleando ecuaciones y el factor de conversión 45% de biomasa a unidades de carbono, se realizó el cálculo de la cantidad carbono orgánico almacenado en el bioma vegetal total y suelo mediante la metodología estandarizada del Centro Internacional para la Investigación en Agroforestería (ICRAF). Para determinar el carbono fijado (CO<sub>2</sub>) en la biomasa vegetal y suelo se aplicó la fórmula propuesta por Arévalo et al. (2003), donde el carbono fijado representa un 45% del peso de la biomasa total establecido en la Guía de buenas prácticas del IPCC (2006), que está conformado por las siguientes fórmulas:

##### **1. Biomasa vegetal total**

De acuerdo con Mac Dicken (1997), la biomasa vegetal total constituye la sumatoria de la biomasa total arbórea, biomasa arbustiva y herbácea, biomasa de la hojarasca y la biomasa subterránea, teniendo la siguiente formula:

$$\mathbf{BVT\ (t/ha)\ =\ (BAVT\ +\ BA/H\ +\ Bh\ +\ Bs)}$$

Donde:

BVT = Biomasa vegetal total

BAVT = Biomasa total árboles vivos

BA/H = Biomasa arbustiva y herbácea

Bh = Biomasa de la hojarasca

Bs = Biomasa subterránea

#### **A. Biomasa arbórea (kg/árbol)**

En el estudio se empleó la fórmula hecha por Espinoza y Quispe (2013) para el caso de la especie *Polylepis*, representado de la siguiente manera:

$$\text{BA (kg/árbol)} = 0.069411 \text{ DAP}^{2.35996}$$

Donde:

BA = Biomasa arbórea

Constante 1 = 0.06941

Constante 2 = 2.35996

DAP = Diámetro a la altura del pecho en cm

#### **B. Biomasa arbórea total (t/ha)**

Para determinar la biomasa arbórea total en unidades de toneladas por hectárea se realizó la suma de cada biomasa total de todos los árboles medidos de cada muestra por parcela de muestreo (Arévalo et al., 2003), representado de la siguiente manera:

$$\text{BAVT (t/ha)} = \text{BTAV} * 0.025$$

Donde:

BAVT = Biomasa de cada árbol vivo en t/ha

BTAV = Biomasa total en la parcela de muestreo

0.25 = Factor de conversión a t/ha para la parcela de 10 m x 40 m (400 m<sup>2</sup>).

## 2. Biomasa arbustiva y herbácea (t/ha)

Para determinar la biomasa arbustiva y herbácea en unidades de toneladas por hectárea se empleó los valores del peso fresco y seco de cada muestra por cuadrante de muestreo (Arévalo et al., 2003), teniendo lo siguiente:

$$BA/H (t/ha) = ((PSM/PFM) \times PFT) \times 0.01$$

Donde:

BA/H = Biomasa de la materia seca de arbustiva y herbácea

PSM = Peso seco de la muestra

PFM = Peso fresco de la muestra

PFT = Peso fresco total por 1 m<sup>2</sup>

0.01 = Factor de conversión a t/ha para el cuadrante de 1 m<sup>2</sup>

## 3. Biomasa de hojarasca (t/ha)

Para determinar la biomasa de hojarasca en unidades de toneladas por hectárea se empleó los valores del peso fresco y seco de cada muestra por cuadrante de muestreo (Arévalo et al., 2003), teniendo lo siguiente:

$$Bh (t/ha) = ((PSM/PFM) \times PFT) \times 0.04$$

Donde:

Bh = Biomasa de la materia seca de la hojarasca

PSM = Peso seco de la muestra

PFM = Peso fresco de la muestra

PFT = Peso fresco total por 0.25 m<sup>2</sup>

0.04 = Factor de conversión a t/ha para el cuadrante de 0.25 m<sup>2</sup>

#### 4. Biomasa subterránea (t/ha)

Para determinar la biomasa subterránea que está conformada por las raíces de la vegetación existente en unidades de toneladas por hectárea de los bosques de estudio, se empleó el valor de la biomasa vegetal total aérea representado por la sumatoria de biomasa arbórea, biomasa arbustiva y herbácea y hojarasca, considerando aproximadamente el 30% que representa la proporción entre la biomasa arriba del suelo y de las raíces (Mac Dicken, 1997), teniendo lo siguiente:

$$\text{BVTa (t/ha)} = \text{BAVT} + \text{BA/H} + \text{Bh (1)}$$

Donde:

BVTa = Biomasa vegetal total aérea

BAVT = Biomasa de cada árbol vivo

BA/H = Biomasa de la materia seca de arbustiva y herbácea

Bh = Biomasa de la materia seca de la hojarasca

Luego de calcular la biomasa área se procede a aplica la siguiente fórmula:

$$\text{Bs (t/ha)} = \text{BVTa} * 0.30 \text{ (2)}$$

Donde:

Bs = Biomasa subterránea

BVTa = Biomasa vegetal total aérea

Factor de conversión = 0.30

BVTa = Biomasa vegetal total aérea

#### 5. Cálculo de carbono orgánico de cada biomasa vegetal (t/ha)

Para determinar el carbono en la biomasa arbórea, arbustiva y herbácea, hojarasca y subterránea en unidades de toneladas de carbono por hectárea se

empleó el valor estándar propuesto por el IPCC (2006) de 45% que equivale a una fracción de carbono de 0.45 para cada tipo de biomasa, teniendo las siguientes fórmulas:

$$\mathbf{C\text{-}BAVT = BA * 0.45 \text{ (1)}}$$

$$\mathbf{C\text{-}BA/H = BA/H * 0.45 \text{ (2)}}$$

$$\mathbf{C\text{-}Bh = Bh * 0.45 \text{ (3)}}$$

$$\mathbf{C\text{-}Bs = Bs * 0.45 \text{ (4)}}$$

Donde:

C-BA = Carbono orgánico de biomasa arbórea

C-BA/H = Carbono orgánico de biomasa arbustiva y herbácea

C-Bh = Carbono orgánico de biomasa de hojarasca

C-Bs = Carbono orgánico de biomasa subterránea

Factor de conversión de IPCC = 0.45

## **6. Proceso de cálculo de carbono en suelo (t/ha)**

Para determinar el carbono en el suelo en unidades de toneladas de carbono por hectárea se empleó el valor de peso de volumen y el promedio de carbono orgánico de suelo (Arévalo et al., 2003) teniendo la siguiente fórmula:

$$\mathbf{COS \text{ (t/ha)} = (PSv * \%CLA) / 100}$$

Donde:

COS = Carbono en suelo en (t/ha)

PSv = Peso del volumen de suelo

%CLA = Carbono orgánico estimado en laboratorio (%)

Factor de conversión = 100

Para determinar los valores de las anteriores variables, se tiene lo siguiente:

### **A. Proceso de cálculo de la densidad aparente del suelo (g/cm<sup>3</sup>)**

Para determinar la densidad aparente del suelo se aplicó el método Uhland, donde se utilizó los valores de peso seco de suelo dentro del cilindro entre el volumen del cilindro constante, teniendo la siguiente fórmula:

$$DA \text{ (g/cm}^3\text{)} = PSC/VC$$

Donde:

DA = Densidad aparente en g/cm<sup>3</sup>

PSC = Peso seco del suelo dentro del cilindro

VC = Volumen del cilindro (constante)

### **B. Proceso de cálculo del peso del volumen del suelo por horizonte (t/ha)**

Para determinar la densidad aparente peso del volumen del suelo por hectárea, se utilizó los valores de densidad aparente por cada horizonte de muestreo (Arévalo et al., 2003), teniendo la siguiente fórmula:

$$PSv \text{ (t/ha)} = DA * Eh * 10000$$

Donde:

PSv = Peso del volumen de suelo en (t/ha)

DA = Densidad aparente de suelo

Eh = Espesor del horizonte del suelo

Constante = 10000

### **7. Proceso de cálculo del carbono en la biomasa vegetal total (t/ha)**

Para determinar el carbono en la biomasa vegetal total en unidades de toneladas de carbono por hectárea se empleó el valor estándar propuesto por el IPCC (2006) de 45% que equivale a una fracción de carbono de 0.45 de la biomasa total, teniendo la siguiente fórmula:

$$CBVT \text{ (t/ha)} = BVT * 0.45$$

Donde:

CBVT = Carbono en la biomasa vegetal total en (t/ha)

BVT = Biomasa vegetal total

Factor de conversión de IPCC = 0.45

### **8. Proceso de cálculo del carbono orgánico total del ecosistema (tC/ha)**

Se determinó mediante la suma del carbono orgánico almacenado en la biomasa vegetal total y en suelo (Arévalo et al., 2003), teniendo la siguiente fórmula:

$$\text{CT (tC/ha)} = \text{CBVT} + \text{COS}$$

Donde:

CT = Carbono orgánico total del sistema de uso de tierra en (t/ha)

CBVT = Carbono orgánico en la biomasa vegetal total

COS = Carbono orgánico en el suelo

### **9. Proceso de cálculo del carbono fijado del ecosistema (tCO<sub>2</sub>)**

Para estimar el CO<sub>2</sub> del ecosistema en toneladas se empleó los pesos moleculares (44/12) de carbono, teniendo en cuenta que una tonelada de carbono equivale a 3.67 toneladas de dióxido de carbono equivalente (CO<sub>2</sub>e), según el IPCC (2006). Por lo tanto, se aplicó la siguiente fórmula:

$$\text{CDE (tCO}_2\text{e)} = \text{CT} * 3.67$$

Donde:

CDE = Cantidad de dióxido de carbono fijado del ecosistema en t

CT = Carbono total del sistema de uso de tierra en t

Fator de conversión de carbono = 3.67

## 10. Proceso de cálculo del valor económico de captura de carbono

Después de calcular la cantidad de dióxido de carbono fijado del ecosistema, se estimó el valor económico mediante el método de precios de mercado actual para el Perú, según la Guía de Valoración del Patrimonio Natural (MINAM, 2016), teniendo la siguiente fórmula:

$$VE = CDE \times P$$

Donde:

VE = Valoración económica en tCO<sub>2</sub>

CDE = Cantidad de dióxido de carbono fijado del ecosistema en tCO<sub>2</sub>

P = Precio del mercado utilizado para CO<sub>2</sub> fijado en US\$

### 3.5. Instrumentos validados de recolección de datos

Los datos fueron recopilados en fichas de registro, plantillas de Excel, fotografías y se usaron métodos como herramientas de software de ingeniería, equipos de medición, entre otros, respaldados por otras investigaciones.

### 3.6. Plan de procesamiento y análisis estadístico de la información

Para el manejo estadístico de los datos recolectados en la presente investigación, se emplearon las siguientes herramientas:

- a. ArcGIS: Identificación de coordenadas de ubicación, delimitación de áreas de estudio, clasificación no supervisada, elaboración de mapas de ubicación.
- b. PLANET: Imágenes satelitales de resolución 4.7 m, clasificación de estratos de bosques, cálculo de áreas de estudio.
- c. MS Excel: Procesamiento de datos en plantillas, elaboración de tablas y gráficos estadísticos, pruebas estadísticas.
- d. Google Colab: Elaboración de gráficos de barras con programación Python.
- e. Mendeley: Elaboración de citas y referencias bibliográficas automáticas en APA 7ma edición.

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS

#### 4.1. Carbono orgánico de biomasa vegetal y suelo

Los resultados de la estimación de carbono orgánico en biomasa vegetal y suelo se constituyen en base al procesamiento previo de las 16 muestras de biomasa arbórea, arbustiva/herbácea y de hojarasca así como las 32 muestras de suelo a 50 cm recolectados en las parcelas de 400 m<sup>2</sup> distribuidas en los estratos de cada bosque de estudio.

##### 4.1.1. Biomasa arbórea y carbono orgánico almacenado

Durante los trabajos en campo se midieron los árboles de *Polylepis* de las 16 parcelas de muestreo, donde se determinó el valor promedio de biomasa arbórea total por estrato, luego se determinó el carbono total por estrato de cada bosque de estudio empleando el valor estándar propuesto por el IPCC (2006) de 45% que se muestra en la siguiente tabla:

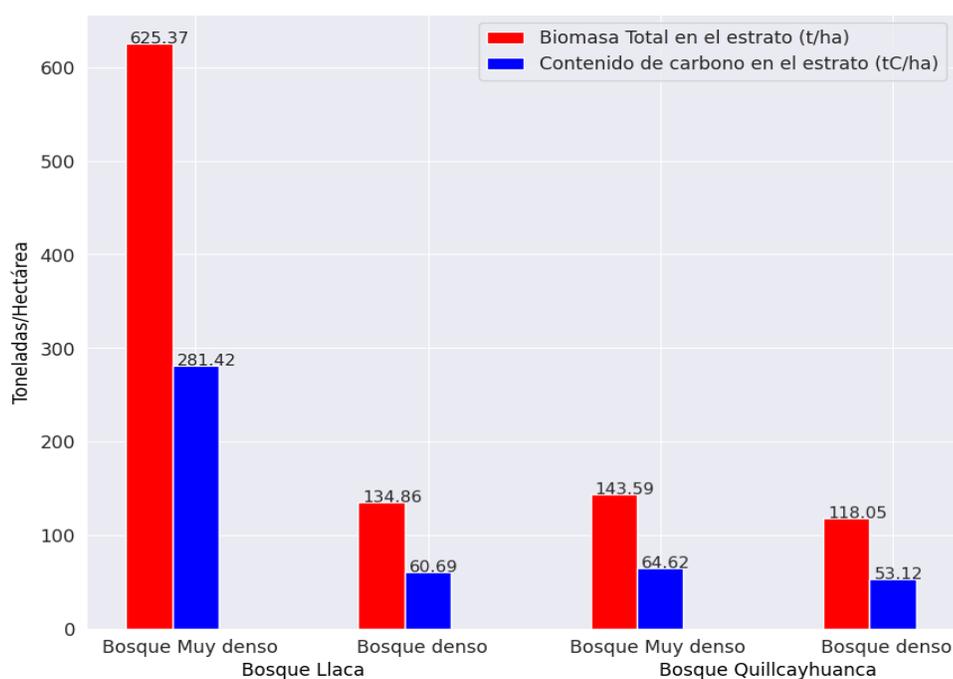
#### Tabla 10

*Contenido de biomasa arbórea y carbono orgánico*

Bosque Llaca					
Estrato	Área del Estrato (ha)	Biomasa arbórea		Carbono en biomasa arbórea	
		BA (t/ha)	BA (t)	C-BA (t/ha)	C-BA (tC)
Bosque muy denso	17.02	625.37	10644.08	281.42	4789.84
Bosque denso	32.12	134.86	4332.43	60.69	1949.59
<b>TOTAL</b>	<b>49.15</b>	<b>760.2</b>	<b>14976.51</b>	<b>342.1</b>	<b>6739.43</b>
Bosque Quillcayhuanca					
Bosque muy denso	1.31	143.59	187.61	64.62	84.42
Bosque denso	5.65	118.05	667	53.12	300.15
<b>TOTAL</b>	<b>6.96</b>	<b>261.6</b>	<b>854.6</b>	<b>117.7</b>	<b>384.57</b>

Figura 17

Cantidad total de biomasa arbórea y carbono orgánico por estrato



La cantidad total de carbono almacenado en la biomasa arbórea del bosque Llaca fue de 342.1 tC/ha y en el bosque Quillcayhuanca de 117.74 tC/ha, según los resultados en el estrato muy denso del bosque Llaca se registró la mayor cantidad de 281.42 tC/ha, que los demás estratos de estudio.

#### 4.1.2. Biomasa arbustiva/herbácea y carbono orgánico

La cantidad total de carbono almacenado en la biomasa arbustiva y herbácea del bosque Llaca fue de 6.2 tC/ha y en el bosque Quillcayhuanca de 5.79 tC/ha, según los resultados en tC/ha, ambos bosques presentan cantidades similares tanto en el área total y en cada estrato de estudio, como se aprecia en la Figura 18.

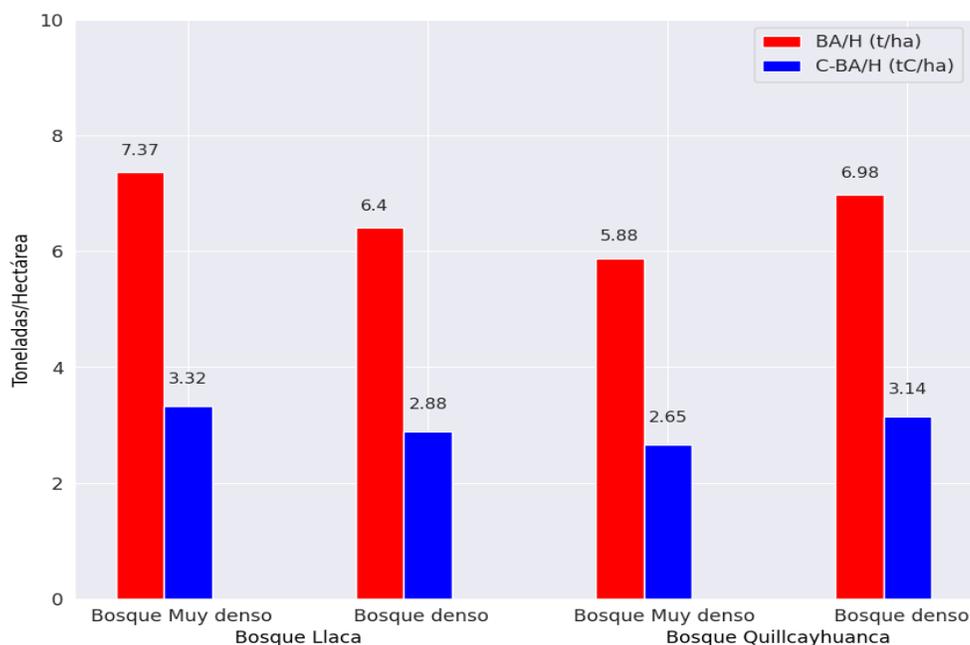
**Tabla 11**

*Contenido de biomasa arbustiva/herbácea y carbono orgánico*

Estrato	Área del Estrato (ha)	Biomasa arbustiva/herbácea		Carbono en biomasa arbustiva/herbácea	
		BA/H (t/ha)	BA/H (t)	C-BA/H (tC/ha)	C- BA/H (tC)
<b>Bosque muy denso</b>	17.02	7.37	125.42	3.32	56.44
<b>Bosque denso</b>	32.12	6.4	205.75	2.88	92.59
<b>TOTAL</b>	<b>49.15</b>	<b>13.77</b>	<b>331.17</b>	<b>6.20</b>	<b>149.03</b>
<b>Bosque Quillcayhuanca</b>					
<b>Bosque muy denso</b>	1.31	5.88	7.68	2.65	3.46
<b>Bosque denso</b>	5.65	6.98	39.44	3.14	17.75
<b>TOTAL</b>	<b>6.96</b>	<b>12.86</b>	<b>47.13</b>	<b>5.79</b>	<b>21.21</b>

**Figura 18**

*Cantidad total de biomasa arbustiva/herbácea y carbono orgánico por estrato*



#### 4.1.3. Biomasa de hojarasca y carbono orgánico

La cantidad total de carbono orgánico almacenado en la biomasa de hojarasca del bosque Llaca fue de 28.72 tC/ha y en el bosque Quillcayhuanca de 19.5 tC/ha, ambos bosques presentan diferencias mínimas en las cantidades tanto en el área total y en cada estrato de estudio, como se aprecia en la Figura 19.

**Tabla 12**

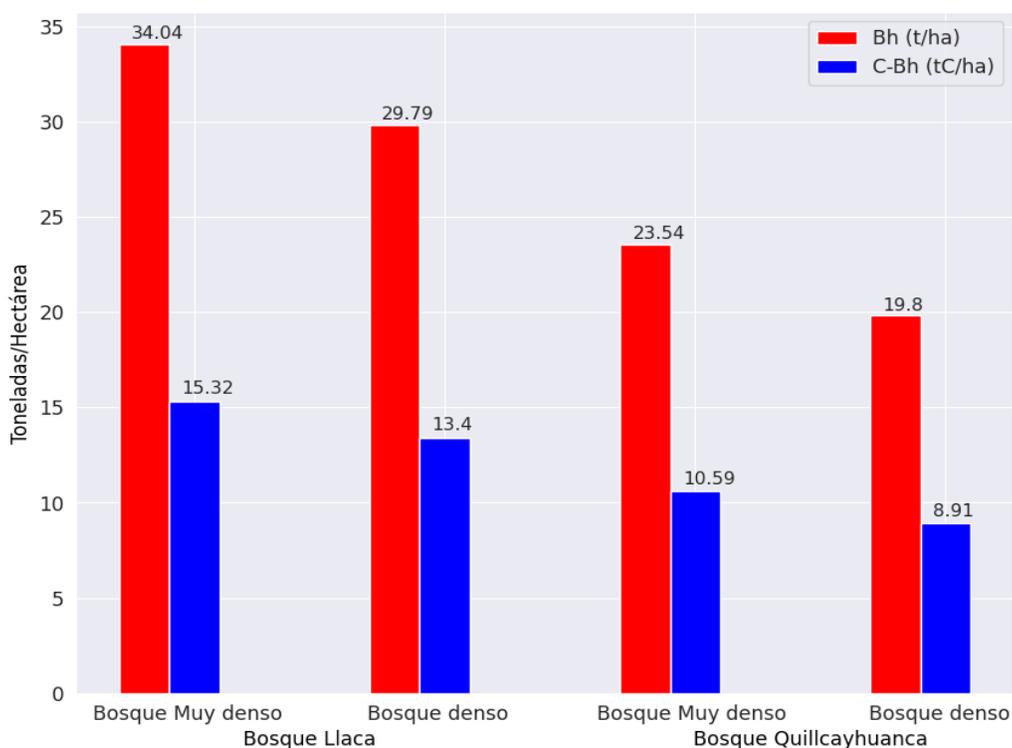
*Contenido de biomasa de la hojarasca y carbono orgánico*

Estrato	Área del Estrato (ha)	Bosque Llaca			
		Biomasa de hojarasca		Carbono en biomasa de hojarasca	
		Bh (t/ha)	Bh (t)	C-Bh (t/ha)	C-Bh (tC)
Bosque muy denso	17.02	34.04	579.34	15.32	260.7
Bosque denso	32.12	29.79	956.95	13.4	430.63
<b>TOTAL</b>	<b>49.15</b>	<b>63.83</b>	<b>1536.29</b>	<b>28.72</b>	<b>691.33</b>
Bosque Quillcayhuanca					

<b>Bosque muy denso</b>	1.31	23.54	30.75	10.59	13.84
<b>Bosque denso</b>	5.65	19.8	111.85	8.91	50.33
<b>TOTAL</b>	<b>6.96</b>	<b>43.33</b>	<b>142.6</b>	<b>19.5</b>	<b>64.17</b>

**Figura 19**

*Cantidad total de biomasa de hojarasca y carbono orgánico por estrato*



#### 4.1.4. Biomasa subterránea y carbono orgánico

La cantidad total de carbono orgánico almacenado en la biomasa subterránea del bosque Llaca fue de 113.56 tC/ha y en el bosque Quillcayhuanca de 42.91 tC/ha, se evidencia que el bosque Llaca registra más de la mitad de carbono en la biomasa subterránea que el bosque Quillcayhuanca, teniendo la mayor cantidad en el estrato muy denso de 90.02 tC/ha.

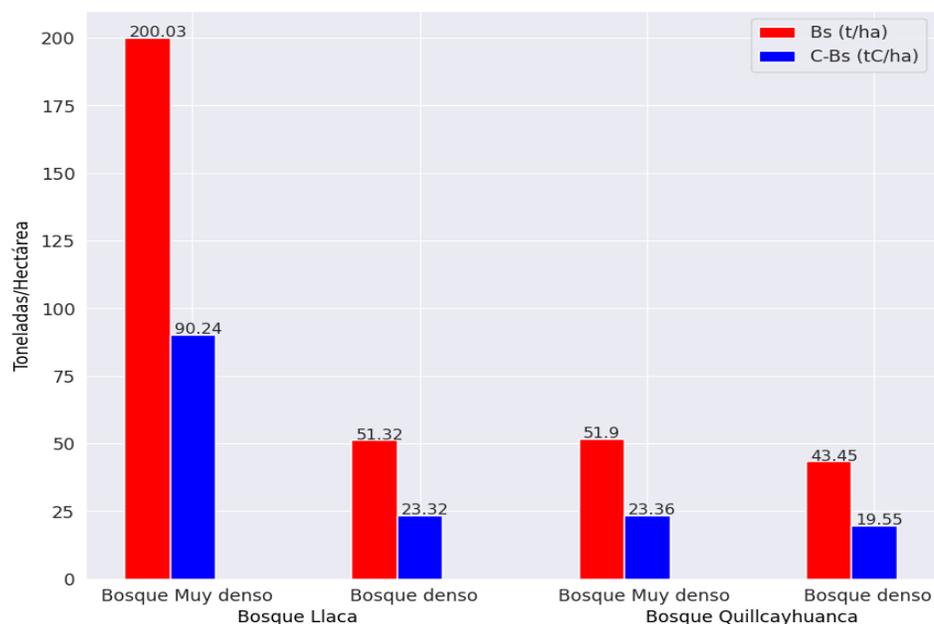
**Tabla 13**

*Contenido de biomasa subterránea y carbono orgánico*

<b>Bosque Llaca</b>					
<b>Estrato</b>	<b>Área del estrato (ha)</b>	<b>Biomasa subterránea</b>		<b>Carbono en biomasa subterránea</b>	
		<b>Bs (t/ha)</b>	<b>Bs (t)</b>	<b>C-Bs (tC/ha)</b>	<b>C-Bs (tC)</b>
<b>Bosque muy denso</b>	17.02	200.03	3404.66	90.02	1532.09
<b>Bosque denso</b>	32.12	51.32	1648.54	23.09	741.84
<b>TOTAL</b>	<b>49.15</b>	<b>251.35</b>	<b>5053.19</b>	<b>113.11</b>	<b>2273.94</b>
<b>Bosque Quillcayhuanca</b>					
<b>Bosque muy denso</b>	1.31	51.90	67.81	23.36	30.52
<b>Bosque denso</b>	5.65	43.45	245.49	19.55	110.47
<b>TOTAL</b>	<b>6.96</b>	<b>95.35</b>	<b>313.3</b>	<b>42.91</b>	<b>140.98</b>

**Figura 20**

*Cantidad total de biomasa subterránea y carbono orgánico por estrato*



#### 4.1.5. Biomasa vegetal total y carbono orgánico almacenado

La cantidad total de carbono orgánico en la biomasa vegetal total del bosque Llaca fue de 490.59 tC/ha, teniendo en el bosque muy denso 390.29 tC/ha y bosque denso 100.30 tC/ha, en caso del bosque Quillcayhuanca fue de 185.94 tC/ha, teniendo en el bosque muy denso 101.21 tC/ha y bosque denso 84.73 tC/ha. Ante ello se evidencia que el bosque Llaca almacena mayor cantidad de carbono en el componente vegetal que el bosque Quillcayhuanca, teniendo la mayor cantidad en el estrato muy denso.

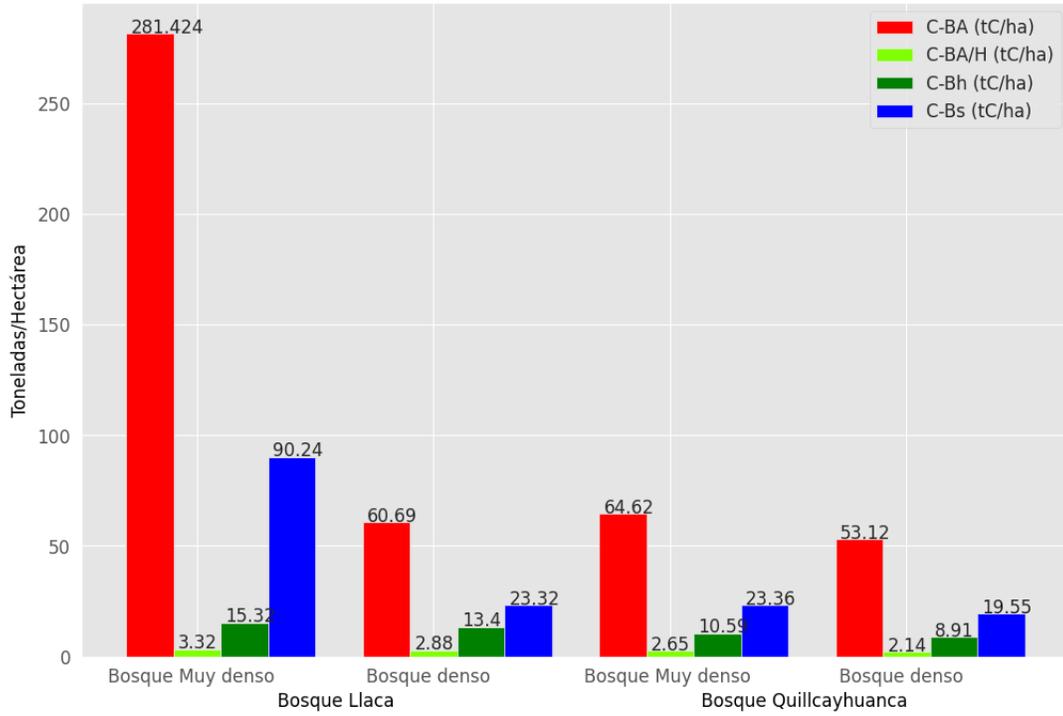
**Tabla 14**

*Carbono orgánico de la biomasa vegetal total por estrato*

<b>Bosques de estudio</b>	<b>Estratos</b>	<b>Área de Estrato (ha)</b>	<b>CBVT (tC/ha)</b>	<b>CBVT (tC)</b>
<b>Bosque Llaca</b>	Bosque muy denso	17.0	390.29	6639.08
	Bosque denso	32.1	100.30	3214.65
	<b>TOTAL</b>	<b>49.15</b>	<b>490.59</b>	<b>9853.73</b>
<b>Bosque Quillcayhuanca</b>	Bosque muy denso	1.31	101.21	132.23
	Bosque denso	5.65	84.73	478.70
	<b>TOTAL</b>	<b>6.96</b>	<b>185.94</b>	<b>610.93</b>

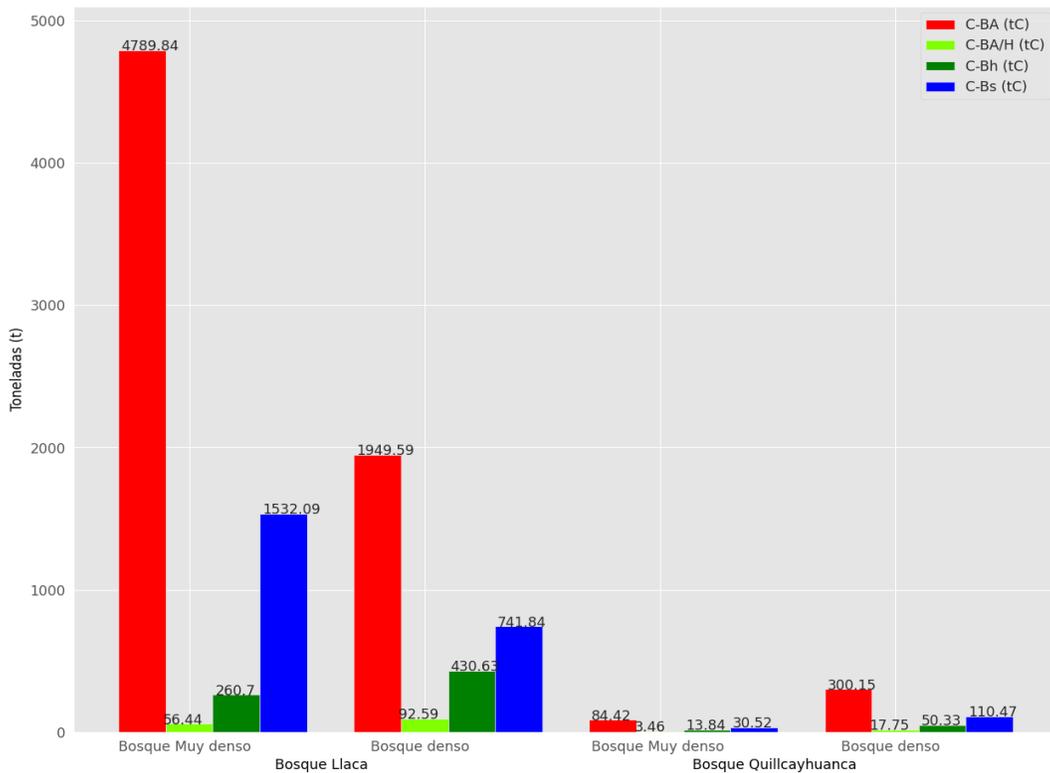
**Figura 21**

*Cantidad de carbono orgánico de la biomasa vegetal total (tC/ha)*



**Figura 22**

*Cantidad de carbono orgánico de la biomasa vegetal total (tC)*



#### 4.1.6. Cantidad de carbono orgánico en el suelo

##### A. Densidad aparente del suelo ( $\text{g/cm}^3$ )

Para determinar la densidad aparente del suelo se aplicó el método Uhlund, luego los valores obtenidos se promediaron por cada estrato y a 50 cm de horizonte de suelo de los bosques de estudio.

**Tabla 15**

*Densidad aparente del suelo a 50 cm de horizonte por estrato (t/ha)*

Bosques de estudio	Estratos	Densidad aparente
		( $\text{g/cm}^3$ )
	Bosque muy denso	1.01
<b>Bosque Llaca</b>	Bosque denso	1.00
<b>Bosque Quillcayhuanca</b>	Bosque muy denso	1.10
	Bosque denso	1.07

##### B. Peso del volumen de suelo (t/ha)

En base a los cálculos realizados, tener en cuenta que el peso del volumen de suelo (PSv) es constante debido al promedio general de la densidad aparente por cada estrato de los bosques de estudio.

**Tabla 16**

*Peso del volumen de suelo a 50 cm de horizonte por estrato (t/ha)*

Bosques de estudio	Estratos	Peso del volumen de suelo
		PSv (t/ha)
	Bosque muy denso	5037.72
<b>Bosque Llaca</b>	Bosque denso	5020.34
<b>Bosque Quillcayhuanca</b>	Bosque muy denso	5519.49
	Bosque denso	5361.53

### C. Estimación del porcentaje de carbono orgánico en el suelo

Para determinar el carbono orgánico en el suelo de cada parcela de muestreo por estrato, se empleó el peso de volumen de suelo y el promedio del porcentaje de carbono orgánico de las 64 muestras de suelo determinado en el análisis de suelo en laboratorio. Luego los valores obtenidos se promediaron para cada estrato, teniendo los siguientes resultados:

**Tabla 17**

*Promedio de carbono orgánico en el suelo por estrato (%)*

Bosques de estudio	Estratos	Promedio de carbono orgánico en el suelo
		CO (%)
Bosque Llaca	Bosque muy denso	9.51
	Bosque denso	2.79
Bosque Quillcayhuanca	Bosque muy denso	4.48
	Bosque denso	4.67

### D. Estimación del total de carbono orgánico en el suelo

Con los valores de peso de volumen, promedio de carbono orgánico de suelo y área de cada estrato, se determinó el total de carbono orgánico en el suelo de cada bosque en toneladas de carbono, teniendo los siguientes resultados:

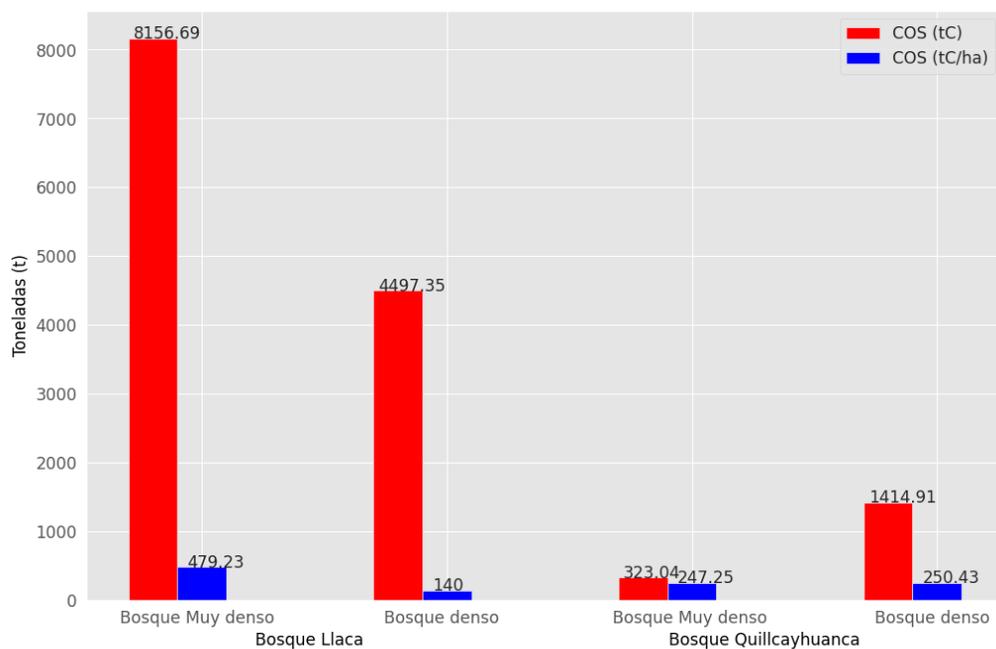
**Tabla 18**

*Cantidad total de carbono orgánico en el suelo por estrato*

Bosques de estudio	Estratos	Área de Estrato (ha)	Carbono en el suelo	
			COS (tC/ha)	COS (tC)
Bosque Llaca	Bosque muy denso	17.0	479.23	8156.69
	Bosque denso	32.1	140.00	4497.35
Bosque Quillcayhuanca	Bosque muy denso	1.31	247.25	323.04
	Bosque denso	5.65	250.43	1414.91

**Figura 23**

*Cantidad total de carbono orgánico en el suelo*



#### 4.2. Carbono orgánico total en el sistema de uso de la tierra (tC/ha)

Se determinó mediante la suma del total de carbono almacenado en la biomasa vegetal y en suelo de cada bosque de estudio, teniendo los siguientes resultados:

**Tabla 19**

*Cantidad total de carbono orgánico en los bosques de estudio (tC/ha)*

Bosques de estudio	Área de bosque (ha)	Carbono de la biomasa vegetal total	Carbono del suelo total	Carbono total del ecosistema
		CBVT (tC/ha)	COS (tC/ha)	CT (tC/ha)
Bosque Llaca	49.15	490.59	619.23	1109.81
Bosque Quillcayhuanca	6.96	185.94	497.68	683.61

**Tabla 20**

*Cantidad total de carbono orgánico en los bosques de estudio (tC)*

Bosques de estudio	Área de bosque (ha)	Carbono de la biomasa vegetal total	Carbono del suelo total	Carbono total del ecosistema
		CBVT (tC)	COS (tC)	CT (tC)
Bosque Llaca	49.15	9853.73	12654.03	22507.76
Bosque Quillcayhuanca	6.96	610.93	1737.95	2348.88

**Tabla 21**

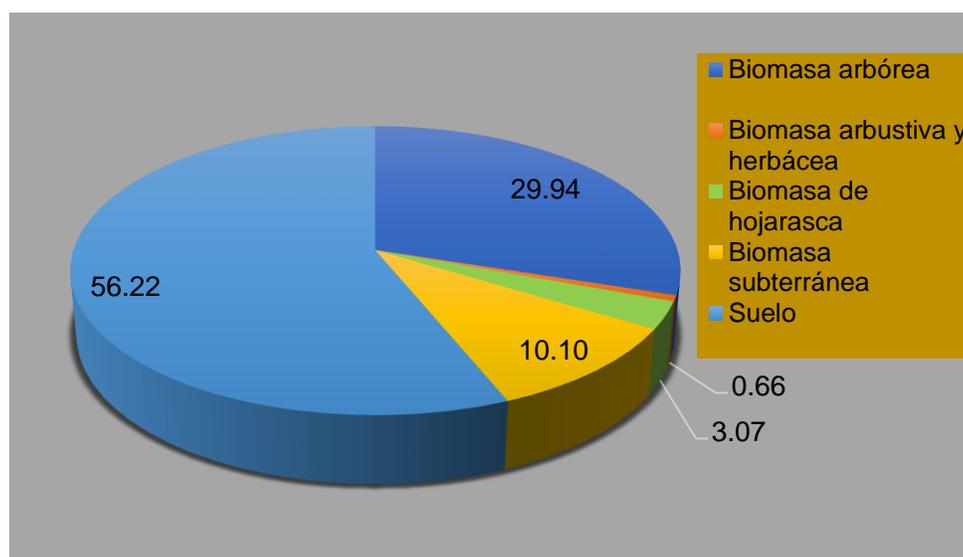
*Cantidad de carbono orgánico de todas las fuentes del bosque Llaca (tC)*

BOSQUE LLACA		
Fuentes	Cantidad total de carbono	
	(tC)	(%)
biomasa de la vegetación arbórea	6739.43	29.94
biomasa de la vegetación arbustiva y herbácea	149.03	0.66
biomasa de la vegetación de hojarasca	691.33	3.07
biomasa de la vegetación subterránea	2273.94	10.10
<b>biomasa vegetal total</b>	<b>9853.73</b>	<b>-</b>
<b>suelo</b>	<b>12654.03</b>	<b>56.22</b>
<b>TOTAL</b>	<b>22507.76</b>	<b>100.00</b>

En la tabla se observa que el carbono orgánico total almacenado en la biomasa vegetal es de 9853.73 tC y en el suelo de 12654.03 tC, teniendo un total de 22507.76 tC en el bosque Llaca.

**Figura 24**

*Cantidad total de carbono orgánico en el bosque Llaca (%)*



Según la figura, se evidencia que en el área total del bosque Llaca, los componentes que conforman el carbono orgánico total se distribuyen de la siguiente manera: la biomasa arbórea representa el 29.94%, la biomasa arbustiva y herbácea constituye el 0.66%, la biomasa de hojarasca abarca el 3.07%, la biomasa subterránea contribuye con el 10.10%, y el suelo representa el 56.22%.

**Tabla 22**

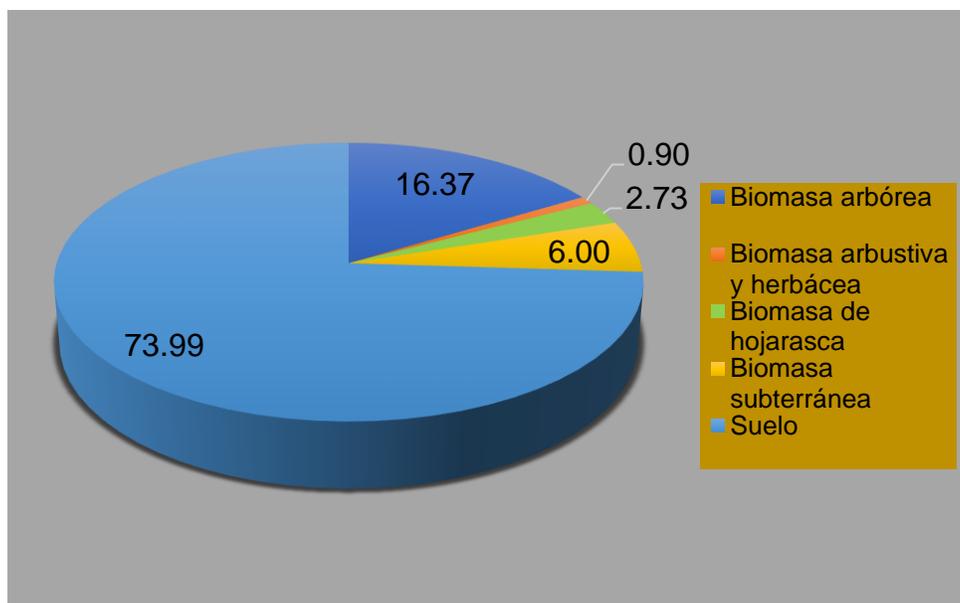
*Cantidad de carbono orgánico de todas las fuentes del bosque Quillcayhuanca (tC)*

<b>BOSQUE QUILLCAYHUANCA</b>		
<b>Fuentes</b>	<b>Cantidad total de carbono</b>	
	<b>(tC)</b>	<b>(%)</b>
<b>biomasa de la vegetación arbórea</b>	384.57	16.37
<b>biomasa de la vegetación arbustiva y herbácea</b>	21.21	0.90
<b>biomasa de la vegetación de hojarasca</b>	64.17	2.73
<b>biomasa de la vegetación subterránea</b>	140.98	6.00
<b>biomasa vegetal total</b>	<b>610.93</b>	-
<b>Suelo</b>	<b>1737.95</b>	<b>73.99</b>
<b>TOTAL</b>	<b>2348.88</b>	<b>100.00</b>

En la tabla se observa que el carbono total amacorado en la biomasa vegetal es de 610.93 tC y en el suelo de 1737.95 tC, teniendo un total de 2348.88 tC en el bosque Quillcayhuanca.

**Figura 25**

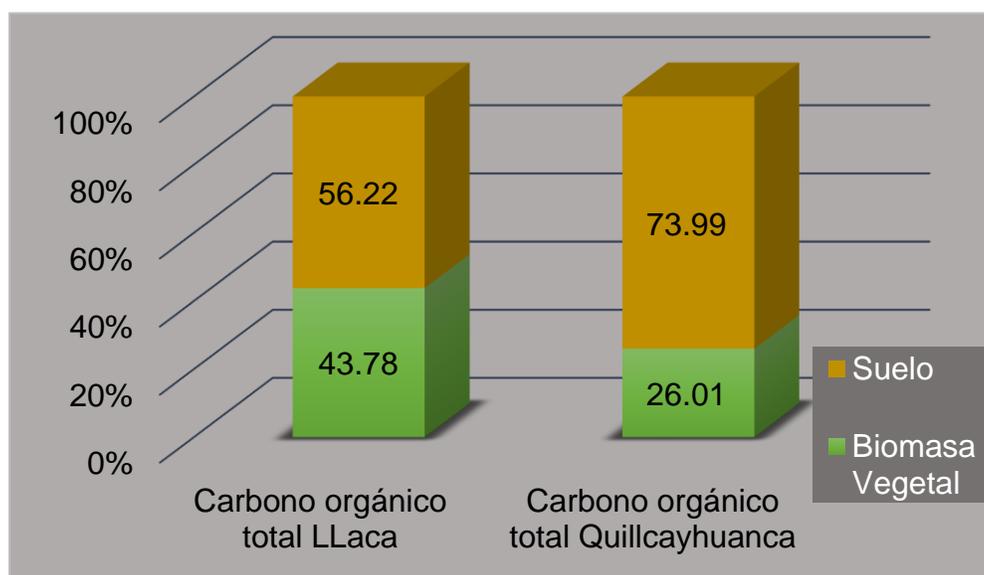
*Cantidad total de carbono orgánico en el bosque Quillcayhuanca (%)*



En la figura, se observa que en toda el área del bosque Quillcayhuanca, la distribución de la biomasa vegetal total está compuesta de la siguiente manera: la biomasa arbórea constituye el 16.37%, la biomasa arbustiva y herbácea representa el 0.90%, la biomasa de hojarasca es el 2.73%, la biomasa subterránea abarca el 6.00%, y el suelo contribuye con el 73.99%, todos estos porcentajes en relación con el carbono orgánico total.

**Figura 26**

*Cantidad total de carbono orgánico de los bosques de estudio (%)*



En la figura, se observa que en toda el área del bosque Llaca, la biomasa vegetal total constituye el 43.78% y el suelo representa el 56.22% del carbono orgánico total. Por otro lado, en el bosque Quillcayhuanca, la biomasa vegetal total representa el 26.01%, mientras que el suelo constituye el 73.99% del carbono orgánico total.

#### 4.3. Carbono fijado del ecosistema (tCO<sub>2</sub>)

Para determinar el servicio ambiental de carbono fijado de cada bosque de estudio, se multiplico los valores de carbono orgánico total almacenado por 3.67 toneladas de CO<sub>2</sub> (obtenido en función de los pesos moleculares del carbono y del CO<sub>2</sub> de (44/12), teniendo los siguientes resultados:

**Tabla 23**

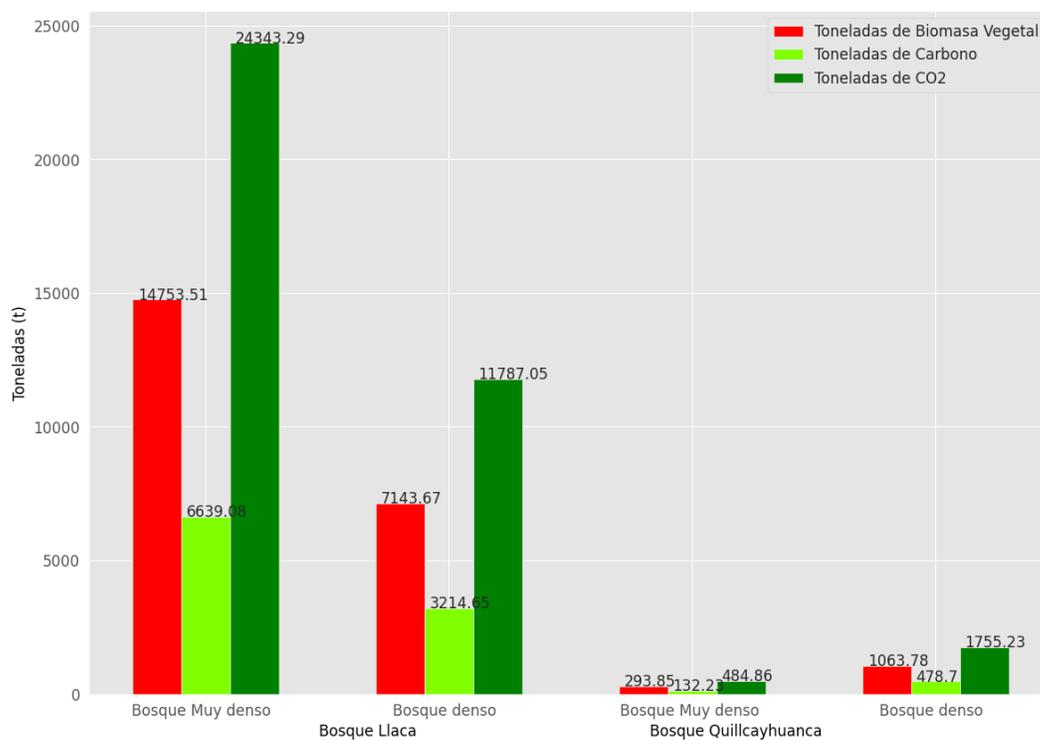
*Cantidad total de carbono fijado de los bosques de estudio (tCO<sub>2</sub>)*

Bosques de estudio	Área de bosque (ha)	Carbono total almacenado (tC)	Factor de conversión (CO <sub>2</sub> )	Carbono fijado del ecosistema CDE (tCO <sub>2</sub> )
<b>Bosque Llaca</b>	49.15	22507.76	3.67	82528.46
<b>Bosque Quillcayhuanca</b>	6.96	2348.88	3.67	8612.57

En la tabla se observa, que el valor de captura de carbono en el bosque Llaca es de 82528.46 tCO<sub>2</sub> y del bosque Quillcayhuanca de 8612.57 tCO<sub>2</sub>.

**Figura 27**

*Cantidad total de biomasa vegetal, carbono orgánico almacenado y CO<sub>2</sub> fijado (t)*



En la figura, se observa que la cantidad total de carbono orgánico es menor que la biomasa vegetal total, pero si expresamos este carbono como gas CO<sub>2</sub> el valor es mayor que la cantidad biomasa vegetal total producida por los bosques de estudio.

#### 4.4. Valor económico de carbono fijado en el ecosistema

Para determinar el valor económico de captura de carbono se empleó el precio social de carbono de US\$ 30 estimado para un escenario actual proyectado hasta el año 2025 y US\$ 43 proyectado para el año 2030 (Pica et al., 2024), teniendo los siguientes resultados:

**Tabla 24**

*Valor económico de los bosques de estudio (tCO<sub>2</sub>e/\$)*

bosques de estudio	Área (ha)	Carbono fijado del ecosistema CDE (tCO <sub>2</sub> )	Valor económico	Valor económico
			VE (tCO <sub>2</sub> e/\$)	VE (tCO <sub>2</sub> e/\$)
			US\$ 30 (2025)	US\$ 43 (2030)
<b>Bosque Llaca</b>	49.15	82528.46	2 475 853.85	3 548 723.86
<b>Bosque Quillcayhuanca</b>	6.96	8612.57	258 377.12	370 340.53

En la tabla, se observa que el valor económico de servicio ambiental de captura de carbono del bosque Llaca para un escenario actual es de 2 475 853.85 tCO<sub>2</sub>e/\$ (2025) y para un escenario futuro 3 548 723.86 tCO<sub>2</sub>e/\$ (2030), en el caso del bosque Quillcayhuanca para un escenario actual es de 258,377.12 tCO<sub>2</sub>e/\$ (2025) y para un escenario futuro de 370,340.53 tCO<sub>2</sub>e/\$ (2030), por lo tanto para el presente estudio con fines de proyección del precio del carbono y mitigación del cambio climático, se toma el valor económico de servicio ambiental de captura de carbono estimado para un escenario futuro de 2030.

## CAPÍTULO V

### DISCUSIÓN DE RESULTADOS

#### 5.1. Cantidad de carbono orgánico en la biomasa vegetal total

##### 5.1.1. Cantidad de carbono almacenado en la biomasa arbórea

En el presente estudio, la cantidad total de carbono almacenado en la biomasa arbórea del bosque Llaca fue de 342.1 tC/ha, teniendo para el bosque muy denso 281.42 tC/ha y bosque denso 60.69 tC/ha, en el caso del bosque Quillcayhuanca fue de 117.74 tC/ha, teniendo para el bosque muy denso 64.62 tC/ha y bosque denso 53.12 tC/ha. Respecto a los valores totales de biomasa arbórea del bosque Llaca comparado con resultados de otras investigaciones es relativamente superior y de la plantación de Quillcayhuanca es inferior al encontrado en: plantaciones de Eucalipto y Pino de 11 años de edad en Cochatama donde se reportó 142.34 tC/ha y 141.8 tC/ha respectivamente (Bernachea, 2019), con el estudio en sistemas agroforestales de selva alta, que registro 66.603 tC/ha (Hidalgo, 2009), el bosque de Podocarpus de Huamantanga que registro 274.2476 tC/ha (Guevara, 2023) y a estudios realizados en el bosque *Polylepis* de Llaca donde se registro 52.77 tC/ha en el bosque muy denso, 27.09 tC/ha bosque denso, 5.06 tC/ha en bosque disperso con un total de 87.92 tC/ha para todo el bosque de estudio (Espinoza y Quispe, 2013; Mosquera, 2018).

Por otro lado, la diferencia de valores obtenidos de los dos estratos y del área total de cada bosque es debido a su estado de conservación, genética de especies, cobertura vegetal, edad, DAP y composición (Ali et al., 2022), ya que en el bosque Llaca predomina mayor cantidad de especies endémicas de *Polylepis weberbaueri* y *Gynoxys* que tienen valores de DAP superiores de 7cm hasta 46 cm por su antigüedad, comparado con el bosque Quillcayhuanca que presenta menor cantidad de especies de *Polylepis albicans*, *Polylepis racemosa* y *Polylepis weberbaueri* pero con presencia de Eucalipto debido a la presión antrópica del lugar y de DAP que varía de 4 cm hasta 30 cm en su composición (Vidal y Azpilicueta, 2016).

Por lo tanto, la diferencia de valores estimados de carbono en la biomasa arbórea de los bosques de estudio con los estudios consultados, se debe también a las diferencias de estructura, altura de árbol, manejo de uso de tierra, edad, densidad, DAP, conservación y de características del tipo de especie de árbol como el caso del Podocarpus, Eucalipto y Pino que presentan un crecimiento acelerado y son árboles de mayor altura, condiciones climáticas y edáficas del sitio donde crecen, lo que favorece la producción de volúmenes más elevados de biomasa para estas especies.

### **5.1.2. Cantidad de carbono almacenado en la biomasa arbustiva y herbácea**

En el presente estudio, la cantidad total de carbono almacenado en la biomasa arbustiva y herbácea del bosque Llaca fue de 6.2 tC/ha, teniendo para el bosque muy denso 3.32 tC/ha y bosque denso 2.88 tC/ha, en el caso del bosque Quillcayhuanca fue de 5.79 tC/ha, teniendo para el bosque muy denso 2.65 tC/ha y bosque denso 3.14 tC/ha. Respecto a los valores totales ambos bosques presentan cantidades superiores comparado con: el estudio de sistemas agroforestales de selva alta, que reportó 0.373 tC/ha (Hidalgo, 2009), los bosques secundarios de 15 años en Pucallpa que registro 2.21 tC/ha (Alegre et al., 1998) y del estudio realizado en el bosque *Polylepis* de Llaca donde se registro 1.98 tC/ha en el bosque muy denso, 2.30 tC/ha bosque denso, 0.71 tC/ha en estrato bosque disperso con un total de todo el bosque de estudio de 1.66 tC/ha (Mosquera, 2018), estas diferencias

se debe a que los bosques de estudio contienen un alta riqueza de vegetación arbustiva y herbácea que permite mayor almacenamiento de carbono que los sistemas agroforestales y bosques secundarios.

Los valores de carbono total almacenado en la biomasa arbustiva y herbácea del bosque Llaca representan una alta contribución de carbono orgánico en la biomasa vegetal, debido a que mantiene mayor cobertura vegetal y baja tasa de recambio que implica una moderada descomposición de su biomasa arbustiva y herbácea y una lenta liberación de carbono al suelo y atmósfera, a diferencia del bosque Quillcayhuanca que presenta cantidades similares respecto a la cantidad total y a nivel de estratos, muestra una concentración baja de carbono. Esto se debe, que en las zonas de muestreo, el terreno estaba cubierto principalmente por gramíneas y especies autóctonas locales que generan una competencia intensa entre la vegetación no nativa arbórea y la presencia significativa de materia orgánica de origen vacuno, así como al efecto del sobrepastoreo, factores que reducen el almacenamiento de carbono en la biomasa herbácea y arbustiva.

Por lo tanto, los valores de carbono almacenado en biomasa arbustiva y herbácea son mayores a lo registrado en las investigaciones consultadas, debido a que en su entorno presentan poca competencia de vegetación arbórea, buenas condiciones climáticas de temperatura y precipitación que favorecen en el mayor ritmo de crecimiento de la vegetación y lenta descomposición de la materia orgánica y también por la condición humedad que caracteriza estos bosques de *Polylepis* que tiende a favorecer un mayor almacenamiento de carbono orgánico en la biomasa arbustiva y herbácea.

### **5.1.3. Cantidad de carbono almacenado en la biomasa de hojarasca**

En el presente estudio, la cantidad total de carbono orgánico almacenado en la biomasa de hojarasca del bosque Llaca fue de 28.72 tC/ha, teniendo en el bosque muy denso 15.32 tC/ha y bosque denso 13.4 tC/ha, en el caso del bosque Quillcayhuanca fue de 19.5 tC/ha, teniendo en el bosque muy denso 10.59 tC/ha y bosque denso 8.91 tC/ha. Respecto a los valores totales ambos bosques presentan

cantidades superiores a lo encontrado en: el bosque de *Podocarpus* de Huamantanga que registro 16.03 tC/ha (Guevara, 2023); el bosque de *Polylepis* de Tumpa que registro 6.791 tC/ha (Antivo, 2018) y al estudio realizado en el bosque *Polylepis* de Llaca donde se registro 10.44 tC/ha en el bosque muy denso, 9.63 tC/ha bosque denso 1.37 tC/ha y en el bosque disperso con el total de 10.44 tC/ha (Mosquera, 2018).

Los valores altos de carbono de hojarasca del bosque Llaca se debe a su conservación, antigüedad y mayor extensión de cobertura en el estrato denso y muy denso que le permite tener una mayor acumulación de hojarasca rica en lignina y compuestos fenólicos que se descompone lentamente y retiene más carbono, comparado con el bosque Quillcayhuanca que presenta menor cantidad de carbono de hojarasca debido a su reducida extensión de cobertura en el estrato denso y muy denso, poca cantidad de árboles de *Polylepis*, presencia de árboles de diferentes especies que reducen las concentraciones de nitrógeno y del fósforo importante almacenamiento de carbono, por la constante presión antrópica del lugar como incendios, tala y sobrepastoreo que reducen la generación de hojarasca y la velocidad de su descomposición (Lavelle y Spain, 2005).

#### **5.1.4. Cantidad de carbono almacenado en la biomasa subterránea**

La cantidad total de carbono orgánico almacenado en la biomasa subterránea equivale al 30% de la suma de las contribuciones de carbono de la biomasa aérea total (Mac Dicken, 1997), ante la aplicación de ese principio la cantidad de carbono total en la biomasa subterránea del bosque Llaca fue de 113.56 tC/ha, teniendo en el bosque muy denso 90.24 tC/ha y bosque denso 23.32 tC/ha, en el caso del bosque Quillcayhuanca fue de 42.91 tC/ha, teniendo en el bosque muy denso 23.36 tC/ha y bosque denso 19.55 tC/ha. Respecto a los valores totales ambos bosques presentan cantidades superiores, pero cantidades similares a nivel de estrato muy denso y estrato denso con excepción del valor obtenido en el estrato muy denso del bosque Llaca que resulta muy alta a lo encontrado en: el bosque de *Podocarpus* de Huamantanga que registró 26.49 tC/ha (Guevara, 2023); el bosque de *Polylepis* de Tumpa registro 14.26 tC/ha (Antivo, 2018), los sistemas agroforestales de selva alta,

donde registro 21.78 tC/ha (Hidalgo, 2009) y al estudio realizado en el bosque *Polylepis* de Llaca donde se registro 19.56 tC/ha en el bosque muy denso 11.71 tC/ha, bosque denso 2.14 tC/ha, en bosque disperso con el total de 33.40 tC/ha (Mosquera, 2018).

Por ello, se puede manifestar que el valor alto de carbono total en biomasa subterránea del bosque Llaca se debe a su antigüedad, conservación, raíces gruesas y mayor extensión de cobertura en el estrato denso y muy denso que le permite tener una mayor acumulación de biomasa vegetal total y tasa de recambio lento para retener más carbono (Cairns et al., 1997), comparado con el bosque Quillcayhuanca presenta una menor cantidad de carbono de biomasa subterránea debido a su reducida extensión de cobertura en el estrato denso y muy denso, por el constante sobrepastoreo y extracción selectiva del lugar que provocan un menor desarrollo de su estructura radicular caracterizadas por sus raíces finas, rápida tasa de descomposición de materia orgánica que exhiben el rápido recambio (crecimiento y mortalidad), que contribuye a la poca producción de biomasa aérea y menos retención de carbono en la biomasa subterránea (Cairns et al., 1997).

Por lo tanto, la diferencia de los valores de biomasa subterránea registrados en el estudio con las investigaciones en sistemas agroforestales y bosques secundarios, se debe a que las especies de *Polylepis* pueden desarrollar mayor biomasa radicular debido a su antigüedad, conservación, raíces finas o gruesas, mayor extensión de cobertura vegetal y a la existencia de especies nativas únicas que contribuyen a una mayor concentración de carbono en su biomasa subterránea. Además, estas características pueden variar por las diferencias en las cantidades de biomasa vegetal aérea que tiene cada bosque, por las características climáticas propias de cada lugar y por la composición del componente vegetal presente en el estudio.

## 5.2. Cantidad total de carbono almacenado en el suelo

A partir de los resultados del análisis de laboratorio de la cantidad de carbono orgánico de suelo se realizó el promedio del porcentaje de carbono orgánico para

cada horizonte de 50 cm obteniendo para el bosque Llaca el 7.83% de carbono orgánico total promedio que equivale a 619.23 tC/ha de carbono total de suelo, teniendo para el bosque muy denso 479.23 tC/ha y bosque denso 140 tC/ha, en el caso del bosque Quillcayhuanca fue de 4.55% de carbono orgánico total promedio que equivale 497.68 tC/ha de carbono total de suelo, teniendo para el bosque muy denso 247.25 tC/ha y bosque denso 250.43 tC/ha.

El carbono total obtenido en suelo de los bosques de estudio es superior comparado con resultados obtenidos en estudios similares como: el bosque de *Podocarpus* de Huamantanga que registro 153.5857 tC/ha de carbono en el suelo a una profundidad de 60 cm (Guevara, 2023), el bosque de *Polylepis* de Tumpa que reportó 321.982 tC/ha de carbono en el suelo a una profundidad de 50 cm (Antivo, 2018), al estudio de sistemas agroforestales de selva alta, que registro 123.181 tC/ha de carbono en suelo a una 1 m de profundidad (Hidalgo, 2009), por otro lado las cantidades de carbono total de suelo de bosque Llaca y Quillcayhuanca son inferiores respecto al estudio realizado en el bosque *Polylepis* de Llaca donde se registro 1165.8 tC/ha a 75 cm de profundidad de suelo, esto debido a la cantidad alta de carbono en suelo del bosque disperso de 476.13 tC/ha (Mosquera, 2018) que lo diferencia de los resultados del presente estudio.

Asimismo ante las comparaciones efectuadas con las investigaciones consultadas, se evidencia que la cantidad de carbono orgánico presente en el suelo será constantemente mayor a la cantidad de carbono orgánico contenido en la biomasa vegetal total. Esta diferencia se atribuye a diversos factores, como el tipo de vegetación predominante, las variaciones climáticas que incluyen precipitación, temperatura y humedad, la entrada y preservación de residuos orgánicos en el ecosistema, la composición de las plantas, la diversidad de especies vegetales, el uso del suelo y sus propiedades específicas, tales como pH que oscila entre 4.5 y 6.5 (ligeramente ácido), textura y contenido de arcilla. Además, la capacidad del suelo para formar minerales como Arcillas, Óxidos de Hierro y Aluminio, Fosfatos, Sulfatos, Carbonatos y Silicatos, desempeña un papel fundamental en la estabilización del carbono orgánico en el suelo (Suárez, 2000).

Por lo tanto, las cantidades altas de carbono total almacenado en el suelo de los bosques de estudio se debe principalmente al factor de uso actual del suelo y manejo forestal, ya que de acuerdo a la descripción de los sitios tanto el bosque Llaca y Quillcayhuanca pertenecen a las zonas de protección estricta y de uso especial del PNH donde existe poca intervención antrópica y mayor conservación de estos ecosistemas, razón por el cual presentan altas cantidades de materia orgánica y carbono en el suelo. Asimismo considerar que en la mayoría de estudios, el carbono orgánico se concentra de 30 a 50 cm de profundidad a nivel de superficie del suelo, lo que es importante en el manejo de los bosques ya que estas profundidades incluyen la capa superficial del suelo más propensa a un daño durante la cosecha y siembra de árboles en diferentes ecosistemas de bosques (Ecoplexity, 2010).

### 5.3. Cantidad total de carbono almacenado en los bosques de estudio

En el presente estudio, la cantidad total de carbono orgánico en el sistema de uso de la tierra (biomasa vegetal total más suelo) del bosque Llaca fue de 1109.81 tC/ha, teniendo en el bosque muy denso 869.52 tC/ha y bosque denso 240.29 tC/ha, en el caso del bosque Quillcayhuanca fue de 683.61 tC/ha, teniendo en el bosque muy denso 348.46 tC/ha y bosque denso 335.15 tC/ha. Respecto a los valores totales ambos bosques presentan cantidades superiores, pero cantidades similares a nivel de estrato muy denso y estrato denso con excepción de la cantidad registrada en el estrato muy denso del bosque Llaca que resulta muy alta comparado con: el bosque de *Podocarpus* de Huamantanga que registro 340.187 tC/ha (Guevara, 2023), el bosque de *Polylepis* de Tumpa que registro 383.800 tC/ha (Antivo, 2018), y al estudio en sistemas agroforestales de selva alta, el cual registro 217.564 tC/ha (Hidalgo, 2009).

Por otro lado la cantidad total carbono orgánico en el sistema de uso de la tierra del bosque Llaca y Quillcayhuanca son inferiores respecto al estudio realizado en el bosque *Polylepis* de Llaca que registro un valor total de 1310.56 tC/ha para 3 estratos (Mosquera, 2018), pero comparado a nivel de los estratos del bosque muy denso y denso, la cantidad total es similar en ambos estudios, el cual evidencia que

el bosque Llaca mantiene constante las reservas totales de carbono dentro de su ecosistema.

Por lo tanto, los cantidades altas del carbono total en los bosques de estudio se debe a la mayor densidad de vegetación que contribuye a una alta tasa de biomasa vegetal que presentan dentro de su ecosistema, por el clima y la altitud donde crecen y desarrollan, alto recambio de materia orgánica en la superficie de su suelo, por la resistencia ante presiones naturales y antrópicas como el cambio del clima, la tala excesiva, incendios, alta cantidad de biodiversidad existente y por la antigüedad de su ecosistema.

#### **5.4. Cantidad total de CO<sub>2</sub> fijado en los bosques de estudio**

En el presente estudio, la cantidad total de CO<sub>2</sub> fijado del bosque Llaca fue de 82,528.46 tCO<sub>2</sub>, teniendo para la biomasa vegetal total de 36,130.34 tCO<sub>2</sub> y suelo de 46,398.12 tCO<sub>2</sub>; en el bosque Quillcayhuanca fue de 8,612.57 tCO<sub>2</sub>, teniendo en la biomasa vegetal total de 2,240.09 tCO<sub>2</sub> y suelo de 6,372.48 tCO<sub>2</sub>. Respecto a los valores totales de CO<sub>2</sub> fijado del bosque Llaca es relativamente superior y del bosque Quillcayhuanca es inferior al encontrado en: el bosque de *Polylepis* de Cotahuasi que registro 32,695.71 tCO<sub>2</sub> (Quicaño, 2019), los sistemas agroforestales de selva alta, que registro 11 497 555.84 tCO<sub>2</sub> (Hidalgo, 2009), en el bosque *Polylepis* de Llaca donde se registro 18,138.26 tCO<sub>2</sub> en el estudio de Quispe y Espinoza (2013) y 31,105.60 tCO<sub>2</sub> en el estudio de Mosquera (2018). Por otro lado, la cantidad total de CO<sub>2</sub> fijado del bosque Llaca y Quillcayhuanca son inferiores respecto al estudio del bosque Buenaventura de Ecuador que registro 607,239.54 tCO<sub>2</sub> (Maza, 2019).

Por lo tanto, la gran cantidad de CO<sub>2</sub> fijado en los bosques de estudio se debe a la diversidad de especies de genero *Polylepis*, estructura de sus raíces, biomasa vegetal, suelo, edad y madures del bosque que contribuye a una mayor fijación de carbono que influye a una mayor eficiencia en el proceso de fotosíntesis generado por sus árboles jóvenes y en el mayor almacenamiento total de carbono de sus árboles maduros (Cadena y Ángeles, 2005), además por su importante función en

la regulación del carbono que ayuda a reducir la cantidad de emisión de CO<sub>2</sub> de manera local, convirtiendo a estos ecosistemas en valiosos sumideros de CO<sub>2</sub> para la preservación de la biodiversidad y mitigación del cambio climático actual.

### 5.5. Valoración económica de CO<sub>2</sub> fijado en el ecosistema

En el presente estudio, se determinó el valor económico de la cantidad total de carbono en base al valor de CO<sub>2</sub> fijado y del precio social de mercado de (US\$ 30) para un escenario actual proyectado hasta el año 2025 y (US\$ 43) para un escenario futuro proyectado para el año 2030 (Pica et al., 2024), obteniendo un valor económico total de captura de carbono para el bosque Llaca de US\$ 2 475 853.85 tCO<sub>2</sub>e (2025) y US\$ 3 548 723.85 tCO<sub>2</sub>e (2030), asimismo para el bosque Quillcayhuanca fue de US\$ 258,377.11 tCO<sub>2</sub>e (2025) y US\$ 370,340.53 tCO<sub>2</sub>e (2030).

El valor económico de captura de carbono del bosque Llaca y Quillcayhuanca es superior al encontrado en: estudios realizados en el bosque de *Polylepis* de Cotahuasi que registro con el precio promedio de carbono (US\$ 12.63/tC) propuesto por SENSECO (2019) el valor de US\$ 112,547.62 tCO<sub>2</sub>e (Quicaño, 2019), en los bosques plantados de eucalipto y pino de Cochatama registro con el precio de (US\$ 23.24/tC) propuesto por SENSECO (2019) el valor de US\$ 48,390.8 tCO<sub>2</sub>e (Bernachea, 2019), en el bosque *Polylepis* de Llaca que registro con la cifra conservadora (US\$ 13.12/tC) propuesto por Baldoceda (2001) el valor de US\$ 111,412.81 tCO<sub>2</sub>e (Mosquera, 2018). Por otro lado, la cantidad total de valor económico del bosque Llaca y Quillcayhuanca son inferiores respecto a los estudios del bosque buenaventura de Ecuador donde registro para un escenario optimista (US\$ 20/tC) el valor de \$ 12 144 790.84 tCO<sub>2</sub>e (Maza, 2019) y en los sistemas agroforestales de selva alta donde registro con una cifra conservadora (US\$ 13.12/tC) propuesto por Baldoceda (2001) el valor total de US\$ 150 847 932.68 tCO<sub>2</sub>e (Hidalgo, 2009).

Ante ello, la diferencia entre el valor económico del bosque Llaca y Quillcayhuanca con otros estudios, se debe a la gran influencia significativa de

factores locales, métodos de medición y estimación, criterios de conservación y desarrollo, precios de mercado del carbono actual, proyecciones de emisiones nacionales, tasas de descuento social utilizadas nacionalmente, experiencias previas en el cálculo del PSC, el PIB (PPA) per cápita nacional más actualizado y la trayectoria de crecimiento de PIB (PPA) per cápita y características específicas de los ecosistemas para determinar el valor económico de la captura de carbono.

Por lo tanto, respecto al valor económico total de captura de carbono del bosque Llaca y Quillcayhuanca, tienen una gran importancia, por su relevancia en la lucha contra la mitigación del cambio climático actual, el cual permitirá generar estrategias de forestación y reforestación con especies alto andinos para la toma de decisiones en políticas de conservación, postulación a mercados de carbono nacional, proyectos regulación y huella de carbono, gestión de carbono en comunidades y población vulnerables a riesgos climáticos, protección de los ecosistemas de montaña del PNH, recursos económicos para conservar los bosques a futuro, resaltando la necesidad de considerar la diversidad de contextos regionales y nacionales al evaluar el valor de los servicios ambientales y así determinar un precio social del carbono que permita demostrar el verdadero valor económico de fijación de CO<sub>2</sub> generado por los bosques naturales y plantaciones alto andinas en el Perú, el cual este acorde a los precios de carbono del mercado internacional y las recomendaciones del IPCC.

## CAPITULO VI

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 6.1. Conclusiones

La cantidad total de carbono orgánico almacenado en el bosque *Polylepis* de la Quebrada Llaca es significativamente más alta comparado con el bosque de *Polylepis* de la Quebrada Quillcayhuanca. En la biomasa vegetal total, el bosque de Llaca registra 490.59 tC/ha y en suelo 619.23 tC/ha, mientras que el bosque de Quillcayhuanca tiene 185.94 tC/ha y suelo de 497.68 tC/ha, ante ello se evidencia que la cantidad de carbono en el suelo es mayor que la biomasa vegetal en ambos ecosistemas.

El bosque de *Polylepis* de la Quebrada Llaca muestra una cantidad mayor de almacenamiento de carbono orgánico en el estrato del bosque muy denso, alcanzando 869.52 tC/ha, en comparación con el bosque de *Polylepis* de la Quebrada Quillcayhuanca, que tiene 348.46 tC/ha en el mismo estrato. Sin embargo, en el estrato bosque denso, el bosque de Quillcayhuanca tiene reservas ligeramente superiores, alcanzando los 335.15 tC/ha, al bosque *Polylepis* de la Quebrada Llaca que presenta 240.29 tC/ha.

La reserva total de carbono orgánico almacenado en el bosque *Polylepis* de la Quebrada Llaca asciende a 1,109.81 tC/ha que equivale a 22,507.76 tC de área

total del bosque (49.15 ha) y en el caso del bosque de *Polylepis* de la Quebrada Quillcayhuanca presenta 683.61 tC/ha que equivale a 2,348.88 tC del área total del bosque (6.96 ha), estos valores indican que existe un alto potencial de reservas de carbono en ambos ecosistemas.

Se evaluó la cantidad de porcentaje de la reserva total de carbono orgánico en el bosque *Polylepis* de la Quebrada Llaca donde el 9,853.73 tC equivale a 43.78% del carbono almacenado en la biomasa vegetal total y 12,654.03 tC equivale a 56.22% de carbono en el suelo que representa el área total del bosque (49.15 ha); y del bosque de *Polylepis* de la Quebrada Quillcayhuanca el 610.93 tC equivale a 26.01% del carbono en la biomasa vegetal total y 1,737.95 tC equivale a 73.99% de carbono en el suelo que representa el área total del bosque (6.96 ha).

Se determinó la cantidad total de CO<sub>2</sub> fijado para el bosque de *Polylepis* de la Quebrada Llaca que asciende a 82,528.46 tCO<sub>2</sub>, para un área total de (49.15 ha), teniendo en la biomasa vegetal total de 36,130.34 tCO<sub>2</sub> y suelo de 46,398.12 tCO<sub>2</sub>; en el bosque de *Polylepis* de la Quebrada Quillcayhuanca fue de 8,612.57 tCO<sub>2</sub> para un área total de (6.96 ha), encontrándose para la biomasa vegetal un total de 2,240.09 tCO<sub>2</sub> y en suelo de 6,372.48 tCO<sub>2</sub>, estos valores indican que existe mayor fijación de CO<sub>2</sub> en el sustrato del suelo de ambos ecosistemas.

El valor económico total del servicio ambiental de CO<sub>2</sub> fijado se determinó a partir del precio social de carbono de (US\$ 43) para un escenario futuro proyectado para el año 2030, donde el bosque *Polylepis* de la Quebrada Llaca contribuyó con Llaca de US\$ 3 548 723.85 tCO<sub>2</sub>e (2030), mientras que el bosque de *Polylepis* de la Quebrada Quillcayhuanca aportó US\$ 370,340.53 tCO<sub>2</sub>e (2030), estos valores representan la importancia del valor económico de captura de carbono de los bosques de estudio para la mitigación de la variación climática futura.

Los bosques estudiados, a pesar de sus diferencias en si son naturales (Llaca) o plantados (Quillcayhuanca), su extensión y la presión antrópica, son excelentes reguladores y presentan un alto potencial para fijar el CO<sub>2</sub> y almacenarlo como carbono en el ecosistema. Esto los convierte en importantes sumideros naturales

de carbono. Si son gestionados expansivamente en zonas alto andinas, contribuirían a regular mayores concentraciones de carbono generados por las fuentes de contaminación de empresas mineras, incendios forestales de origen antropológico y por el tránsito vehicular a nivel regional. Además, ayudarán a mantener la regulación hídrica, conservar la biodiversidad en los ecosistemas de montaña, reducir el carbono negro en glaciares, reducir la gran cantidad de concentración de gases de efecto invernadero (GEI) en la atmósfera; y, sobre todo, contrarrestar los impactos del cambio climático actual.

## 6.2. Recomendaciones

Con los datos obtenidos y con la metodología usada en el presente estudio se recomienda postular al mercado voluntario de carbono, para obtener financiamiento que permita crear programas de regulación de carbono orgánico y desarrollo de proyectos de conservación y forestación con especies nativas de *Polylepis*.

Implementar y desarrollar programas de participación comunitaria que involucren a comunidades locales para la ejecución de proyectos para generar bonos de carbono, para la restauración de áreas afectadas y degradadas de bosques *Polylepis*, para aumentar la eficiencia de la capacidad de bosques alto andinos en el almacenamiento y captura de carbono.

Generar programas y prácticas de forestación de la especie *Polylepis* que involucre a instituciones educativas el cual permita que los estudiantes y docentes, realicen la siembra de árboles nativos y conozcan las propiedades de regulación de carbono para la sostenibilidad y mantenimiento de los bosques alto andinos del PNH.

Implementar programas que brinden incentivos económicos a comunidades locales para participar en prácticas de siembra de árboles de especies *Polylepis* nativos y demás especies forestales de manera sostenible para la conservación de bosques alto andinos en el Perú.

Realizar capacitaciones y talleres educativos dirigidos a comunidades locales, turistas y público en general sobre la importancia de preservación y el valor ecosistémico que tienen los bosques de *Polylepis*.

Realizar el monitoreo continuo del estado actual de los bosques *Polylepis* para evaluar las cantidades de almacenamiento y captura de carbono en el componente vegetal y suelo, así como los impactos ambientales que persisten en su ecosistema.

Implementar un plan estándar para la determinación de carbono orgánico producido por bosques alto andinos en las políticas nacionales, en la estrategia nacional de cambio climático y el plan maestro del PNH, con la finalidad de generar oportunidades de compensación por los servicios ambientales de estos bosques y que pueden ser utilizados para financiar proyectos que ayuden a reducir los impactos del cambio climático en Perú.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALEGRE, J. A.; Ricse, C. Palm. (1998). Informe de discusiones Proyecto ASB-Carbono en Sistemas de Uso de la Tierra. *Documento de circulación interna Yaremagua, Loreto, Peru*, 2.
- Ali, S., Khan, S. M., Siddiq, Z., Ahmad, Z., Ahmad, K. S., Abdullah, A., ... & Abd\_Allah, E. F. (2022). Carbon sequestration potential of reserve forests present in protected national parks. *Journal of King Saud University-Science*, 10197.
- Alvarez, G. (2008). *Modelos alométricos para la estimación de biomasa aérea de dos especies nativas en plantaciones forestales del trópico de Cochabamba, Bolivia*. Tesis de Maestría Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza CATIE. Turrialba, Costa Rica.
- Amescua, A. V. M., & Sandoval, A. Y. (2004). La captura de carbono en bosques: ¿una herramienta para la gestión ambiental? *Gaceta Ecológica*, (70), 5-56.
- Ames-Martínez, F. N., Quispe-Melgar, H. R., & Renison, D. (2021). Conservation status assessment of the highest forests in the world: *Polylepis flavipila* forests as a case study. *Neotropical Biodiversity*. 7(1)(160-169).
- Antivo, T., & Martín, A. (2018). Estimación del potencial de captura de carbono de las especies de flora predominante de la parte alta del bosque de la comunidad campesina de Tumpa—provincia de Yungay, 2018.
- Aparicio J. (2010). *Estimación de la captura de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), por la especie Schinus molle L. (molle), en el corredor vial Callejón de Huaylas – Provincia de Yungay*. UNASAM-FCAM.
- Aranibar, L. F. M. (2015). Estado actual del bosque de *Polylepis* y su eficiencia en la captura de CO<sub>2</sub> en la provincia Tarata, departamento de Tacna. *Revista Ciencia & Desarrollo*, 19(36-43).
- Arévalo, L., Alegre J., Palm, CH. (2003). *Manual de las reservas totales de carbono en los diferentes sistemas de uso de la tierra en Perú*. Publicación de STCCGIAR Ministerio de agricultura. Pucallpa, Perú, Miguel Alvares.
- Arroyave-Maya, M. D. P., Posada-Posada, M. I., Nowak, D. J., & Hoehn, R. E. (2019). *Remoción de contaminantes atmosféricos por el bosque urbano en el valle de Aburrá* (Vols. 22(1), 5-16). Colombia forestal.
- Avendaño Hernández, D. M.; M. Acosta Mireles; F. Carrillo Anzures & J. D. Etchevers Barra. (2009). Estimación de biomasa y carbono en un bosque de *Abies religiosa*. *Revista fitotecnia mexicana*, 32(3), 233-238.

- Avila,G. (2000). *Fijación y almacenamiento de carbono en sistemas de café bajo sombra, a pleno sol, sistemas silvopastoriles y pasturas a pleno sol. Tesis* (Vol. 99 p). Turrialba, Costa Rica.
- Balvanera, P. (2012). Los servicios ecosistémicos que ofrecen los bosques tropicales. *Ecosistemas*, 21(1-2).
- Benavides, H. O. (2007). *Información técnica sobre Gases de Efecto Invernadero y el cambio climático*. IDEAM. Obtenido de <https://doi.org/IDEAM-METEO/008-2007>
- 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. Recuperado el Enero de 2024, de <http://repositorio.udh.edu.pe/handle/123456789/1776>
- Boza, E.; Quispe-Melgar, H. R. y Kessler, M. (2019). Reevaluación taxonómica el complejo *Polylepis sericea* (Rosaceae), con descripción de una nueva especie. 44(2), 324-334.
- Brown, S. (1996). *Estimating Biomass and Biomass Change of Tropical Forests: A Primer*.
- Brown, S. (1997b). *Bosques y cambio climático y la función de los bosques como sumideros de carbono*. Antalya, Turquía.
- Brown, S. (2002). *Measuring carbon in forests: Current status and future challenge*. In *Environmental Pollution*. Obtenido de [https://doi.org/10.1016/S0269-7491\(01\)00212-3](https://doi.org/10.1016/S0269-7491(01)00212-3)
- Cadena, M. O. I. & P. G. Ángeles. (2005). Almacenes de carbono en hojarasca en bosques manejados de *Pinus patula* en Zacualtipán, Hidalgo. In *Memoria de Resúmenes del VII Congreso Mexicano de Recursos Forestales*. (C. F. Chihuahua., Ed.)
- Cairns, M. Brown, S., Helmer, E., Baumgardner, E. (1997). Root biomass allocation in the world's upland. (*Oecologia*, Ed.) 111(1-11).
- Calderón, M., Romero-Saltos, H., Cuesta, F., Pinto, E., & Báez, S. (2013). *Monitoreo de contenidos y flujos de carbono en gradientes altitudinales altoandinos. Protocolo 1- Versión 1*.
- Carvalho-Resende, T., Gibbs, D., Harris, N., & Osipova, E. (2023). Bosques del Patrimonio Mundial: sumideros de carbono bajo presión.

- Centro de Investigación de la Universidad del Pacífico (CIUP). (2016). Estimación del Precio Social del Carbono para la Evaluación Social de Proyectos en el Perú. Ministerio de Economía y Finanzas. Perú .
- Congreso de la República del Perú. (2021). *El potencial del precio al carbono: inversiones más limpias, mayor competitividad y gestión de riesgos climáticos*. Comisión Especial de Cambio Climático (2020-2021).
- Conservación Internacional Perú. (2019). ¿Qué es REDD+? Recuperado el Enero de 2024, de <https://www.conservation.org/peru/noticias/2019/10/29/que-es-redd>
- Convención Marco de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC). (1992). Obtenido de <https://unfccc.int/resource/docs/convkp/convsp.pdf>
- Cuellar, J. y. (2016). Dinámica del carbono almacenado en los diferentes sistemas de uso de la tierra en el Perú. (I. N. INIA, Ed.)
- Culqui Mirano, L. E. (2015). *Reserva de carbono en un sistema silvopastoril compuesto de Pinus patula y herbáceas nativas*.
- ECOAN. ( 2005). Evaluación de la biodiversidad de los Bosques de Polylepis del Corredor de Conchucos – Huaraz.
- El Centro Mundial Agroforestal (ICRAF). (2009). *Guía para la determinación de carbono en pequeñas propiedades rurales*. Obtenido de <http://apps.worldagroforestry.org/downloads/Publications/PDFS/B16293.pdf>
- Espinoza, B. y Quispe, A. (2013). *Determinación de las reservas de carbono en la biomasa aérea de Polylepis spp. en la Quebrada Llaca – Parque Nacional Huascarán*. UNASAM-FCAM.
- FAO. (2000). *Sistemas de Uso de la Tierra en los Trópicos Húmedos y la Emisión y Secuestro de CO2*. World Soil Resources Reports 88. Rome.
- Fjeldså, J., and M. Kessler. (2004). Conservación de la biodiversidad de los bosques de Polylepis de las tierras altas de Bolivia. (U. c. Andes, Ed.)
- Fuentealba, B., & Sevillano, C. S. (2016). Experiencias de rehabilitación comunitaria con queñual (Polylepis sp.) en el Departamento de Ancash, Perú. Más allá de la ecología de la restauración: perspectivas sociales en América Latina y el Caribe. 318.
- Gamarra, J. (2001). *Estimación del contenido de carbono en plantaciones de Eucalyptus Globulus Labill, en Junin, Perú*. Obtenido de [https://www.uach.cl/externos/procarbono/pdf/simposio\\_carbono/35\\_Gamarr a.PDF](https://www.uach.cl/externos/procarbono/pdf/simposio_carbono/35_Gamarr a.PDF)

- Gibbs, H. K., Brown, S., Niles, J. O., & Foley, J. A. (2007). *Monitoring and estimating tropical forest carbon stocks: making REDD a reality* (Vols. 2, 1–13). Environmental Research Letters.
- Gobierno Regional de Ancash (GRA). (2016). *Estrategia Regional de Cambio Climático (ERCC) 2016-2021*. Obtenido de <http://siar.minam.gob.pe/ancash/normas/estrategia-regional-cambio-climatico-ancash>
- Goldstein, G., Meinzer, F. & F. Rada. (1994). Environmental biology of a tropical treeline species, *Polylepis sericea*. (C. Tropical alpine environments: Plants form and function. Cambridge University Press, Ed.) 129-149.
- Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. (2005). *La captación y el almacenamiento de dióxido de carbono*. Obtenido de [https://archive.ipcc.ch/pdf/special-reports/srccs/srccs\\_spm\\_ts\\_sp.pdf](https://archive.ipcc.ch/pdf/special-reports/srccs/srccs_spm_ts_sp.pdf)
- Guevara Davila, C. J. (2023). Estimación de la Reserva de Carbono Almacenado en el Área de Conservación Municipal Bosque de Huamantanga–Jaén. Recuperado el Enero de 2024, de <http://repositorio.unj.edu.pe/handle/UNJ/533>
- Hernandez, Roberto, Fernandez, Carlos y Batista, Maria. (2010). *Metodología de la investigación*. ISBN 9786071502919.
- Hidalgo, P. (2009). *Determinación de las reservas totales de carbono en un sistema agroforestal de la selva alta de Tingo María*. UNFV.
- Hoch, G. & C. Körner. (2005). Growth, demography and carbon relations of *Polylepis* trees at the world's highest treeline. *Functional Ecology*, 19, 941-951.
- Houghton, R. A. (2003). Why are estimates of the terrestrial carbon balance so different? *Global Biogeochemical Cycles*.
- ICRAF. (2003). *Centro Mundial de Agroforestería (ICRAF)*.
- INAIGEM. (2016). *Monitoreo Glaciológico-Informe Técnico N°03*. Huaraz.
- Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña – (INAIGEM). (2016). *Identificación y georreferenciación de áreas de investigación en la sub cuenca río casca quebrada llaca*. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/837/83725698009.pdf>
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2006). Capítulo 2: Metodologías genéricas aplicables a múltiples categorías de uso de la tierra. Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero. Volumen 4. Agricultura, silvicultura y otros usos de la

- tierra. Obtenido de <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/spanish/index.html>
- IPCC. (2003a). *Definitions and methodological options to inventory emissions from direct human-induced degradation of forests and devegetation of other vegetation types*. (K. J. (eds.) IPCC-IGES, Ed.) En: Penman, J., Gytarsky, M., Krug, T., Kruger, D., Pipatti, R., Buendia, L., Miwa, K., Ngara, T., Tanabe, K., Wagner, F.
- IPCC. (2005). *la captación y el almacenamiento de dióxido de carbono*. Obtenido de [https://archive.ipcc.ch/pdf/special-reports/srccs/srccs\\_spm\\_ts\\_sp.pdf](https://archive.ipcc.ch/pdf/special-reports/srccs/srccs_spm_ts_sp.pdf)
- IPCC. (2005). *Special Report on Carbon Dioxide Capture and Storage : Technical Summary*. Intergovernmental Panel on Climate Change.
- IPCC. (2022). *Sexto informe de evaluación del IPCC: Cambio Climático 2022*. Obtenido de <https://www.unep.org/es/resources/informe/sexto-informe-de-evaluacion-del-ipcc-cambio-climatico-2022>
- Kessler, M. (2006). Bosques de *Polylepis*. Botánica económica de los Andes Centrales. 11(110-120).
- Kessler, M. y.-L. (2006). *Taxonomical and distributional notes on Polylepis (Rosaceae)*. *Organisms Diversity and Evolution*.
- Lapeyre, T., Alegre, J., & Arévalo, L. (2004). *Determinación de las reservas de Carbono de la Biomasa Aérea, en Diferentes Sistemas de uso de la Tierra en San Martín, Perú*. .
- López Valenzuela, G. C. A. (2015). *Valoración económica del servicio ambiental de captura de carbono en el Fundo Violeta (Distrito de Tahuamanu-Madre de Dios)*.
- Martel C, L Cairampoma. (2012). *Cuantificación del carbono almacenado en formaciones vegetales amazónicas en "CICRA", Madre de Dios (Perú)*. *Ecología Aplicada*. doi:DOI: 10.21704/rea.v11i1-2.426
- Martín L. Salvador Poma. (2024). Consulta al Ing. Martín Salvador Poma sobre la plantación de especies *Polylepis* de la Quebrada Quillcayhuanca y de la identificación de especies *Polylepis* en la Quebrada Llaca, en la oficina del PNH-Sernanp-Huaraz.
- Maza Valle, W. F. (2019). *Valoración económica del servicio ambiental de secuestro de carbono para garantizar la sostenibilidad del bosque Buenaventura, Ecuador*. Recuperado el Enero de 2024, de <https://cybertesis.unmsm.edu.pe/handle/20.500.12672/10845>

- Medina, C. E., Medina, Y. K., & Bocardo, E. F. (2020). Valoración económica del secuestro y almacenamiento de carbono en la puna seca del suroeste del Perú. *Bosque (Valdivia)*. 41(2)(165-172).
- Mendoza W., Cano A. y Vento R. (2010). *Bosques de Polylepis de la Reserva Nacional de Salina y Aguada Blanca , Arequipa y Moquegua, Perú*. Diversidad Biológica de la Reserva Nacional de Salinas y Aguada Blanca. Arequipa-Moquegua. Zeballos H.; Ochoa José A. y Lopez E. Editores. Desco, PROFONANPE, SERNANP. Lima. Obtenido de <http://www.descosur.org.pe/wp-content/uploads/2014/12/DiversidadRNSAB1.pdf>
- Mendoza, W. y Cano, A. (2011). Diversidad del género *Polylepis* (Rosaceae, Sanguisorbeae) en los Andes peruanos. *Revista Peruana de Biología*, 18, 197-200.
- MINAM, V. (2015). Mapa Nacional de Cobertura Vegetal-Memoria Descriptiva. Ministerio del Ambiente. *Lima: Dirección General de Evaluación, Valoración y Financiamiento del Patrimonio Natural.*, 105 .
- Ministerio del Ambiente - MINAM. (2016). *Estrategia Nacional sobre Bosques y Cambio Climático (ENBCC)* . Obtenido de <https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2016/07/ESTRATEGIA-NACIONAL-SOBRE-BOSQUES-Y-CAMBIO-CLIM%C3%81TICO-DECRETO-SUPREMO-007-2016-MINAM11.pdf>
- Ministerio del Ambiente (MINAM). (2010). *Segunda comunicación nacional del Perú a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático. National Communications*. Lima. Obtenido de <http://libelula.com.pe/wp-content/uploads/2014/10/SCNCC-MINAM.pdf>
- Ministerio del Ambiente (MINAM). (2014). *Ley 30215 - Ley de Mecanismos de Retribución por Servicios Ecosistémicos*. El Peruano,526501–526503. Obtenido de [http://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2014/06/ley\\_302105\\_MRSE.pdf](http://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2014/06/ley_302105_MRSE.pdf)
- Ministerio del Ambiente (MINAM). (2016). Guía de Valoración Económica del Patrimonio Natural. Obtenido de <https://www.minam.gob.pe/patrimonio-natural/wp-content/uploads/sites/6/2013/10/GVEPN-30-05-16-baja.pdf>
- Ministerio del Ambiente (MINAM). (2016a). *Estrategia Nacional sobre Bosques y Cambio Climático*. Obtenido de <https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2016/07/ESTRATEGIA-NACIONAL-SOBRE-BOSQUES-Y-CAMBIO-CLIM%C3%81TICO-DECRETO-SUPREMO-007-2016-MINAM11.pdf>

- Miranda, T.; Machado, R.; Machado, H.; Brunet, J. y Duquesne, P. (2008). *Valoración económica de bienes y servicios ambientales en dos ecosistemas de uso ganadero* (Vols. 26(3):187-189). Zootecnia Tropical.
- Mollocondo Turpo, M. N., & Aguilar Atamari, L. E. (2019). *Estimación de la captura de CO2 en plantaciones forestales de Polylepissp, Cupressus spp y Eucaliptus globulus, para mitigar el cambio climático en el Centro de Producción San Juan de Potojani–Puno,2018.*
- Mosquera De La Cruz, R. (2018). *Determinación de las reservas totales de carbono en el bosque de polylepisspp., quebrada de Llaca–Parque Nacional Huascarán, 2014.*
- Muhati, G. L., Olago, D., & Olaka, L. (2018). Quantification of carbon stocks in Mount Marsabit Forest Reserve, a sub-humid montane forest in northern Kenya under anthropogenic disturbance. *Global Ecology and Conservation*(14, e00383).
- Ordóñez, J. A. (1999). *Captura de carbono en un bosque templado: el caso de San Juan Nuevo, Michoacán. Director.* Obtenido de <https://doi.org/10.1002/hyp.8021>
- Ordoñez, J. A., & Masera, O. (2001). *Captura de carbono ante el cambio climático* (Vols. Vol. 7(núm. 1), 11). Madera y Bosques.
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). (2014). *El estado de los bosques del mundo 2014 Potenciar los beneficios socioeconómicos de los bosques.* Roma, Italia.
- Organización Meteorológica Mundial (OMM). (2018). *Boletín de la OMM sobre los gases de efecto invernadero. N°14, 8.*
- Ortiz, A. M., & Riascos, L. D. (2006). *Almacenamiento y fijación de carbono del sistema Agroforestal cacal Theobroma cacao L. y Laurel Cordia alliodora (Ruiz & Pavón) Oken en la Reserva Indígena de Talamanca, Coata Rica.* Universidad de Nariño.
- OSINFOR. (2024). Servicios Ambientales. Recuperado el Enero de 2024, de <https://www.osinfor.gob.pe/servicios-ambientales/>
- Phillips OL, RJW Brienen, RAINFOR. (2017). *Carbon uptake by mature Amazon forests has mitigated Amazon nations' carbon emissions. Carbon Balance Manage* (Vol. 12: 1). Obtenido de DOI: 10.1186/s13021-016-0069-2
- Pica-Téllez, A , Cid, F, Dittborn R , Frenette E. (2024). Estimación del precio social del carbono para la evaluación de la inversión pública en países de América Latina y el Caribe . *Informe Final: Cálculo del Precio Social del Carbono para el Perú - Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL).*

- Quicaño Caceres, L. J. (2019). *Estimación de las reservas potenciales de carbono como servicios ecosistémicos en el bosque de Polylepis sp (Zona de Recuperación) de la Reserva Paisajística "Subcuenca del Cotahuasi"-2018.*
- Quispe, A. (2002). *Estado actual de la información sobre recursos forestales y cambio en el uso de la tierra.* Obtenido de <http://www.fao.org/DOCREP.htm>.
- Romoleroux K, Tandalla DC, Erler R, et al. (2016). Plantas vasculares de los bosques de Polylepis en los páramos de Oyacachi. Quito, Ecuador.
- Rugnitz Tito, M., Chacón León, M., & Porro, R. (2009). *Guía para la determinación de carbono en pequeñas propiedades rurales (No. F61 R8). Ministerio de Agricultura.* Lima (Peru).
- RÜGNITZ, M.T., CHACÓN, M. y PORRO, R. (2009). Guía para la determinación de carbono en pequeñas propiedades rurales. (P. Primera edición - Lima, Ed.) 79.
- Ruiz, C., Rodríguez, G., Leyva, J., & Enríquez, J. (2014). *Metodologías para estimar biomasa y carbono en especies forestales de México.* Naturaleza y Desarrollo. Obtenido de <https://www.ciidiroaxaca.ipn.mx/revista/sites/www.ciidiroaxaca.ipn.mx.revista/files/>
- Sampieri h., R; Fernandez C., C. & M. Baptista L. (2010). *Metodología de la Investigación* (Vol. Quinta Edición). (s. m. Editores, Ed.) Editorial McGRAW-Hill/Interamericana .
- Sarcca YR. (2017). *Valoración económica del servicio ecosistémico de secuestro y almacenamiento de carbono en el bosque de Polylepis del Pichu pichu, Arequipa- 2016. Tesis de Ingeniero Ambiental. Arequipa, Perú .* Facultad de Ingeniería de Procesos, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa.
- Schlegel, B; Gayoso, J; Guerra, J. (2002). *Manual de procedimientos para inventarios de carbono en ecosistemas forestales* (Vol. s.e. 17p). Valdivia, Chile.
- Segovia-Salcedo, M. C. (2011). Los riesgos de la reforestación de los páramos con especies exóticas: el caso de Polylepis racemosa. *Propuestas Andinas* 4. Condesan.
- Segovia-Salcedo, M. C., Caiza Guamba, J. C., Kessler, M., Ramsay, P. M., Boza Espinoza, T. E., Renison, D., ... & Romoleroux, K. (2021). ¿Cómo avanzar en la conservación de los bosques de Polylepis y su diversidad biológica? 7(1), 318-326.

- SERNANP. (2020). Mapa de Zonificación del Parque Nacional Huascarán. Obtenido de <https://geoportal.sernanp.gob.pe/categorias-mapa-tematico/zonificacion-interna-de-anp/>
- Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado (Sernanp)- Parque nacional Huascarán (2011). «Plan maestro 2010-2015». Servicio. (s.f.). (2017). «Actualización del plan maestro del PNH periodo 2017-2021».
- Sevillano-Ríos, C. Steven, Amanda D. Rodewald, and Laura V. Morales. (2018). Ecology and conservation of Polylepis birds: what do we know about this increasingly vulnerable community? *Ecología Austral*, 28.01bis (2018), 216-228.
- Tan, K. T., Lee, K. T., Mohamed, A. R., & Bhatia, S. (2009). *Palm oil: Addressing issues and towards sustainable development* (Vol. 13(2)). Renewable and Sustainable Energy Reviews. Obtenido de <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2007.10.001>
- Torres, R., J. M. & A. Guevara. (2002). El potencial de México para la producción de servicios ambientales: captura de carbono y desempeño hidráulico. *Gaceta ecológica*, (63), 40-59.
- Trinidad C, E Ortiz. (2019). *Precio al carbono en el Perú: transición energética y justicia climática*. (S. P. Adenauer, Ed.) Lima, Perú: In Trinidad C ed.
- Ubillús. (2014). Contenido del carbono almacenado del suelo en el cultivo de naranja (citrus sinensis) y pastizal a diferentes profundidades en el predio San Carlos MABY. (S. S. Jorge, Ed.) 43.
- Verma, P., Siddiqui, A. R., Mourya, N. K., & Devi, A. R. (2024). Forest carbon sequestration mapping and economic quantification infusing MLPnn-Markov Chain and InVEST carbon model in askot wildlife sanctuary, Western Himalaya. *Ecological Informatics*, 79, 102428.
- Vidal, D. O., & Azpilicueta, O. J. S. (2016). Bosques de Polylepis como Bancos Genéticos para la Restauración Ecológica de los Ecosistemas de Montaña. *Revista de Glaciares y Ecosistemas de Montaña*((1), 5-5), 111.

## ANEXOS

### Anexo 1. Registro y procesamiento de datos

**Tabla 25**

*Análisis de carbono en la biomasa arbórea del bosque Llaca*

<b>Carbono en la biomasa arbórea del bosque Llaca</b>				
<b>Estrato bosque muy denso (BMD)</b>				
<b>PARCELAS</b>	<b>DAP (cm)</b>		<b>BA (kg/árbol)</b>	<b>BA (t/ha)</b>
<b>PA-01</b>	Máximo	37	4362.34	109.06
	Mínimo	12		
<b>PA-02</b>	Máximo	43	6470.47	161.76
	Mínimo	16		
<b>PA-03</b>	Máximo	46	3776.47	94.41
	Mínimo	10		
<b>PA-04</b>	Máximo	32	4274.14	106.85
	Mínimo	19		
<b>PA-05</b>	Máximo	29	2759.21	68.98
	Mínimo	13		
<b>PA-06</b>	Máximo	37	3372.20	84.31
	Mínimo	7		
<b>Total</b>			<b>25014.84</b>	<b>625.37</b>
<b>Estrato Bosque denso (BDE)</b>				
<b>PA-07</b>	Máximo	39	2039.31	50.98
	Mínimo	9		
<b>PA-08</b>	Mínimo	38	3355.20	83.88
	Máximo	11		
<b>Total</b>			<b>5394.51</b>	<b>134.86</b>

**Tabla 26**

*Análisis de carbono en la biomasa arbórea del bosque Quillcayhuanca*

<b>Carbono en la biomasa arbórea del bosque Quillcayhuanca</b>				
<b>Estrato bosque muy denso (BMD)</b>				
<b>PARCELAS</b>	<b>DAP (cm)</b>		<b>BA (kg/árbol)</b>	<b>BA (t/ha)</b>
<b>PB-01</b>	Máximo	22	1099.29	27.48
	Mínimo	9		
<b>PB-02</b>	Máximo	18	794.69	19.87
	Mínimo	7		
<b>PB-04</b>	Máximo	22	1075.08	26.88
	Mínimo	7		
<b>PB-07</b>	Máximo	20	1231.17	30.78
	Mínimo	6		
<b>PB-08</b>	Máximo	27	1543.50	38.59
	Mínimo	8		
<b>Total</b>			<b>5743.73</b>	<b>143.59</b>
<b>Estrato Bosque denso (BDE)</b>				
<b>PB-03</b>	Máximo	25	1476.26	36.91
	Mínimo	9		
<b>PB-05</b>	Máximo	14	286.04	7.15
	Mínimo	5		
<b>PB-06</b>	Máximo	30	2959.81	74.00
	Mínimo	12		
<b>Total</b>			<b>4722.11</b>	<b>118.05</b>

**Tabla 27**

*Análisis de carbono en la biomasa arbustiva/herbácea del bosque Llaca*

<b>Carbono en la biomasa arbustiva/herbácea del bosque Llaca</b>						
<b>Estrato bosque muy denso (BMD)</b>						
<b>Parcela</b>	<b>Sub muestra</b>	<b>Biomasa arbustiva y herbácea peso fresco (g/m<sup>2</sup>)</b>	<b>Peso fresco sub muestra (gramos)</b>	<b>Peso seco sub muestra (gramos)</b>	<b>Biomasa arbustiva y herbácea peso seco (BA/H) (t/ha)</b>	<b>CO-BA/H (tC/ha)</b>
<b>1</b>	PA01-MA01	1371	988	605	8.4	3.78
	PA01-MA02	1393	936	566	8.42	3.79
<b>2</b>	PA02-MA01	1258	609	431	8.9	4.01
	PA02-MA02	1031	557	325	6.02	2.71
<b>3</b>	PA03-MA01	1024	749	489	6.69	3.01
	PA03-MA02	1041	761	510	6.98	3.14
<b>4</b>	PA04-MA01	1226	864	590	8.37	3.77
	PA04-MA02	1185	711	405	6.75	3.04
<b>5</b>	PA05-MA01	1154	733	326	5.13	2.31
	PA05-MA02	1093	692	371	5.86	2.64
<b>6</b>	PA06-MA01	1405	882	476	7.58	3.41
	PA06-MA02	1685	984	545	9.33	4.2
<b>Total</b>		<b>14866</b>	<b>9466</b>	<b>5639</b>	<b>88.43</b>	<b>39.79</b>
<b>Promedio</b>		<b>1238.83</b>	<b>788.83</b>	<b>469.92</b>	<b>7.37</b>	<b>3.32</b>
<b>Estrato Bosque denso (BDE)</b>						
<b>7</b>	PA07-MA01	960.00	831.00	442.00	5.11	2.30
	PA07-MA02	1315.00	612.00	348.00	7.48	3.36
<b>8</b>	PA08-MA01	1137.00	835.00	570.00	7.76	3.49
	PA08-MA02	957.00	686.00	378.00	5.27	2.37
<b>Total</b>		<b>4369.00</b>	<b>2964.00</b>	<b>1738.00</b>	<b>25.62</b>	<b>11.53</b>
<b>Promedio</b>		<b>1092.25</b>	<b>741.00</b>	<b>434.50</b>	<b>6.40</b>	<b>2.88</b>

**Tabla 28**

*Análisis de carbono en la biomasa de hojarasca del bosque Llaca*

<b>Carbono en la biomasa de hojarasca del bosque Llaca</b>						
<b>Estrato bosque muy denso (BMD)</b>						
<b>Parcela</b>	<b>Sub muestra</b>	<b>Hojarasca peso fresco (g/0.25m<sup>2</sup>)</b>	<b>Peso fresco sub muestra (gramos)</b>	<b>Peso seco sub muestra final (gramos)</b>	<b>Biomasa Hojarasca peso seco (Bh) (t/ha)</b>	<b>CO-Bh (tC/ha)</b>
<b>1</b>	PA01-MH01	1582.00	988.00	723.00	46.31	20.84
	PA01-MH02	1279.00	901.00	680.00	38.61	17.38
<b>2</b>	PA02-MH01	1059.00	671.00	420.00	26.51	11.93
	PA02-MH02	1014.00	625.00	495.00	32.12	14.46
<b>3</b>	PA03-MH01	950.00	726.00	470.00	24.60	11.07
	PA03-MH02	1034.00	752.00	331.00	18.21	8.19
<b>4</b>	PA04-MH01	1115.00	734.00	535.00	32.51	14.63
	PA04-MH02	1146.00	711.00	520.00	33.53	15.09
<b>5</b>	PA05-MH01	1149.00	792.00	546.00	31.68	14.26
	PA05-MH02	1174.00	692.00	580.00	39.36	17.71
<b>6</b>	PA06-MH01	1028.00	855.00	640.00	30.78	13.85
	PA06-MH02	1622.00	945.00	790.00	54.24	24.41
<b>Total</b>		<b>14152.00</b>	<b>9392.00</b>	<b>6730.00</b>	<b>408.46</b>	<b>183.81</b>
<b>Promedio</b>		<b>1179.33</b>	<b>782.67</b>	<b>560.83</b>	<b>34.04</b>	<b>15.32</b>
<b>Estrato Bosque denso (BDE)</b>						
<b>7</b>	PA07-MH01	846.00	594.00	490.00	27.92	12.56
	PA07-MH02	1142.00	897.00	482.00	24.55	11.05
<b>8</b>	PA08-MA01	1240.00	831.00	680.00	40.59	18.26
	PA08-MA02	951.00	612.00	420.00	26.11	11.75
<b>Total</b>		<b>4179.00</b>	<b>2934.00</b>	<b>2072.00</b>	<b>119.15</b>	<b>53.62</b>
<b>Promedio</b>		<b>1044.75</b>	<b>733.50</b>	<b>518.00</b>	<b>29.79</b>	<b>13.40</b>

**Tabla 29**

*Análisis de carbono en la biomasa arbustiva/herbácea del bosque Quillcayhuanca*

<b>Carbono en la biomasa arbustiva/herbácea del bosque Quillcayhuanca</b>						
<b>Estrato bosque muy denso (BMD)</b>						
<b>Parcela</b>	<b>Sub muestra</b>	<b>Biomasa arbustiva y herbácea peso fresco (g/m<sup>2</sup>)</b>	<b>Peso fresco sub muestra (gramos)</b>	<b>Peso seco sub muestra (gramos)</b>	<b>Biomasa arbustiva y herbácea peso seco (BA/H) (t/ha)</b>	<b>CO-BA/H (tC/ha)</b>
<b>1</b>	PB01-MA01	985.00	502.00	359.00	7.04	3.17
	PB01-MA02	1140.00	417.00	326.00	8.91	4.01
<b>2</b>	PB02-MA01	1146.00	594.00	279.00	5.38	2.42
	PB02-MA02	1367.00	694.00	247.00	4.87	2.19
<b>4</b>	PB04-MA01	991.00	663.00	201.00	3.00	1.35
	PB04-MA02	1005.00	522.00	225.00	4.33	1.95
<b>7</b>	PB07-MA01	1539.00	881.00	426.00	7.44	3.35
	PB07-MA02	1514.00	777.00	378.00	7.37	3.31
<b>8</b>	PB08-MA01	1175.00	950.00	395.00	4.89	2.20
	PB08-MA02	1516.00	853.00	313.00	5.56	2.50
<b>Total</b>		<b>12378.00</b>	<b>6853.00</b>	<b>3149.00</b>	<b>58.80</b>	<b>26.46</b>
<b>Promedio</b>		<b>1237.80</b>	<b>685.30</b>	<b>314.90</b>	<b>5.88</b>	<b>2.65</b>
<b>Estrato Bosque denso (BDE)</b>						
<b>3</b>	PB03-MA01	961.00	586.00	252.00	4.13	1.86
	PB03-MA02	1075.00	786.00	326.00	4.46	2.01
<b>5</b>	PB05-MA01	2283.00	1406.00	582.00	9.45	4.25
	PB05-MA02	992.00	688.00	301.00	4.34	1.95
<b>6</b>	PB06-MA01	2681.00	1105.00	503.00	12.20	5.49
	PB06-MA02	1342.00	1031.00	561.00	7.30	3.29
<b>Total</b>		<b>9334.00</b>	<b>5602.00</b>	<b>2525.00</b>	<b>41.89</b>	<b>18.85</b>
<b>Promedio</b>		<b>1555.67</b>	<b>933.67</b>	<b>420.83</b>	<b>6.98</b>	<b>3.14</b>

**Tabla 30**

*Análisis de carbono en la biomasa de hojarasca del bosque Quillcayhuanca*

<b>Carbono en la biomasa de hojarasca del bosque Quillcayhuanca</b>						
<b>Estrato bosque muy denso (BMD)</b>						
<b>Parcela</b>	<b>Sub muestra</b>	<b>Hojarasca peso fresco (g/0.25m<sup>2</sup>)</b>	<b>Peso fresco sub muestra (gramos)</b>	<b>Peso seco sub muestra final (gramos)</b>	<b>Biomasa Hojarasca peso seco (Bh) (t/ha)</b>	<b>CO-Bh (tC/ha)</b>
<b>1</b>	PB01-MH01	807.00	662.00	291.00	14.19	6.39
	PB01-MH02	1060.00	675.00	341.00	21.42	9.64
<b>2</b>	PB02-MH01	1340.00	759.00	349.00	24.65	11.09
	PB02-MH02	988.00	648.00	277.00	16.89	7.60
<b>4</b>	PB04-MH01	820.00	563.00	242.00	14.10	6.34
	PB04-MH02	831.00	495.00	163.00	10.95	4.93
<b>7</b>	PB07-MH01	1953.00	1024.00	434.00	33.11	14.90
	PB07-MH02	1532.00	1204.00	429.00	21.83	9.83
<b>8</b>	PB08-MH01	2016.00	1450.00	625.00	34.76	15.64
	PB08-MH02	2110.00	1340.00	690.00	43.46	19.56
<b>Total</b>		<b>13457.00</b>	<b>8820.00</b>	<b>3841.00</b>	<b>235.36</b>	<b>105.91</b>
<b>Promedio</b>		<b>1345.70</b>	<b>882.00</b>	<b>384.10</b>	<b>23.54</b>	<b>10.59</b>
<b>Estrato Bosque denso (BDE)</b>						
<b>3</b>	PB03-MH01	999.00	623.00	185.00	11.87	5.34
	PB03-MH02	1102.00	636.00	318.00	22.04	9.92
<b>5</b>	PB05-MH01	1149.00	752.00	366.00	22.37	10.07
	PB05-MH02	534.00	330.00	101.00	6.54	2.94
<b>6</b>	PB06-MH01	1514.00	1112.00	672.00	36.60	16.47
	PB06-MH02	1040.00	771.00	359.00	19.37	8.72
<b>Total</b>		<b>6338.00</b>	<b>4224.00</b>	<b>2001.00</b>	<b>118.78</b>	<b>53.45</b>
<b>Promedio</b>		<b>1056.33</b>	<b>704.00</b>	<b>333.50</b>	<b>19.80</b>	<b>8.91</b>



	PA05-MS02-1	0-25	628.32	793	554	0.8817	5.34
	PA05-MS02-2	25-50	628.32	775	590	0.9390	2.45
<b>6</b>	PA06-MS01-1	0-25	628.32	1327	736	1.1714	34.17
	PA06-MS01-2	25-50	628.32	1320	721	1.1475	32.28
	PA06-MS02-1	0-25	628.32	1296	880	1.4006	26.11
	PA06-MS02-2	25-50	628.32	1242	831	1.3226	26.42
<b>Total</b>						<b>24.18</b>	<b>228.31</b>
<b>Promedio</b>						<b>1.01</b>	<b>9.51</b>
<b>Estrato Bosque denso (BDE)</b>							
<b>7</b>	PA07-MS01-1	0-25	628.32	843	663	1.0552	2.14
	PA07-MS01-2	25-50	628.32	840	629	1.0011	3.36
	PA07-MS02-1	0-25	628.32	824	602	0.9581	2.18
	PA07-MS02-2	25-50	628.32	861	645	1.0265	3.40
<b>8</b>	PA08-MS01-1	0-25	628.32	823	662	1.0536	1.90
	PA08-MS01-2	25-50	628.32	847	609	0.9693	4.15
	PA08-MS02-1	0-25	628.32	816	643	1.0234	2.29
	PA08-MS02-2	25-50	628.32	782	594	0.9454	2.89
<b>Total</b>						<b>8.03</b>	<b>22.31</b>
<b>Promedio</b>						<b>1.00</b>	<b>2.79</b>

**Tabla 32**

*Análisis de carbono en suelo del bosque Quillcayhuanca*

Carbono en suelo del bosque Quillcayhuanca							
Estrato bosque muy denso (BMD)							
Parcela	Sub muestra	Profundidad (cm)	Volumen del Cilindro (cm <sup>3</sup> )	Peso fresco de la muestra (g)	Peso seco dentro cilindro (g)	Densidad Aparente (g/cm <sup>3</sup> )	Porcentaje de carbono orgánico laboratorio (%)
1	PB01-MS01-1	0-25	628.32	998	805	1.2812	7.71
	PB01-MS01-2	25-50	628.32	985	873	1.3894	4.98
	PB01-MS02-1	0-25	628.32	995	768	1.2223	3.01
	PB01-MS02-2	25-50	628.32	993	833	1.3258	2.29
2	PB02-MS01-1	0-25	628.32	911	712	1.1332	4.63
	PB02-MS01-2	25-50	628.32	896	738	1.1746	2.85
	PB02-MS02-1	0-25	628.32	884	672	1.0695	6.65
	PB02-MS02-2	25-50	628.32	880	733	1.1666	2.49
4	PB04-MS01-1	0-25	628.32	792	572	0.9104	6.01
	PB04-MS01-2	25-50	628.32	871	643	1.0234	3.01
	PB04-MS02-1	0-25	628.32	925	684	1.0886	5.46
	PB04-MS02-2	25-50	628.32	939	725	1.1539	1.82
7	PB07-MS01-1	0-25	628.32	892	654	1.0409	5.62
	PB07-MS01-2	25-50	628.32	905	719	1.1443	2.37
	PB07-MS02-1	0-25	628.32	883	710	1.1300	6.01
	PB07-MS02-2	25-50	628.32	887	708	1.1268	5.34
8	PB08-MS01-1	0-25	628.32	884	441	0.7019	1.38

	PB08-MS01-2	25-50	628.32	911	664	1.0568	6.17
	PB08-MS02-1	0-20	628.32	905	567	0.9024	7.08
	PB08-MS02-2	20-40	628.3185 31	915	651	1.0361	4.71
	<b>Total</b>					<b>22.08</b>	<b>89.59</b>
	<b>Promedio</b>					<b>1.10</b>	<b>4.48</b>
	<b>Estrato Bosque denso (BDE)</b>						
<b>3</b>	PB03-MS01-1	0-25	628.32	855	712	1.1332	3.01
	PB03-MS01-2	25-50	628.32	829	674	1.0727	13.76
	PB03-MS02-1	0-25	628.32	813	638	1.0154	3.92
	PB03-MS02-2	25-50	628.32	770	568	0.9040	1.98
<b>5</b>	PB05-MS01-1	0-25	628.32	863	682	1.0854	7.44
	PB05-MS01-2	25-50	628.32	891	687	1.0934	4.19
	PB05-MS02-1	0-25	628.32	915	638	1.0154	8.07
	PB05-MS02-2	25-50	628.32	875	677	1.0775	3.68
<b>6</b>	PB06-MS01-1	0-25	628.32	889	644	1.0250	4.87
	PB06-MS01-2	25-50	628.32	891	680	1.0823	2.29
	PB06-MS02-1	0-25	628.32	918	713	1.1348	1.54
	PB06-MS02-2	25-50	628.32	910	772	1.2287	1.31
	<b>Total</b>					<b>12.87</b>	<b>56.05</b>
	<b>Promedio</b>					<b>1.07</b>	<b>4.67</b>

**Tabla 33**

*Análisis del peso de suelo del bosque Llaca*

<b>Peso de suelo del bosque Llaca</b>			
<b>Estrato bosque muy denso (BMD)</b>			
<b>Ps (m)</b>	<b>DA (g/cc)</b>	<b>Constante</b>	<b>PVs (t/ha)</b>
<b>0.00-0.25</b>	1.01	10000	2518.86
<b>0.25-0.50</b>	1.01	10000	2518.86
<b>0.00-0.50</b>	<b>1.01</b>	<b>10000</b>	<b>5037.72</b>
<b>Estrato Bosque denso (BDE)</b>			
<b>Ps (m)</b>	<b>DA (g/cc)</b>	<b>Constante</b>	<b>PVs (t/ha)</b>
<b>0.00-0.25</b>	1.00	10000	2510.17
<b>0.25-0.50</b>	1.00	10000	2510.17
<b>0.00-0.50</b>	<b>1.00</b>	<b>10000</b>	<b>5020.34</b>

**Tabla 34**

*Análisis del peso de suelo del bosque Quillcayhuanca*

<b>Peso de suelo del bosque Quillcayhuanca</b>			
<b>Estrato bosque muy denso (BMD)</b>			
<b>Ps (m)</b>	<b>DA (g/cc)</b>	<b>Constante</b>	<b>PVs (t/ha)</b>
<b>0.00-0.25</b>	1.10	10000	2759.75
<b>0.25-0.50</b>	1.10	10000	2759.75
<b>0.00-0.50</b>	<b>1.10</b>	<b>10000</b>	<b>5519.49</b>
<b>Estrato Bosque denso (BDE)</b>			
<b>Ps (m)</b>	<b>DA (g/cc)</b>	<b>Constante</b>	<b>PVs (t/ha)</b>
<b>0.00-0.25</b>	1.07	10000	2680.77
<b>0.25-0.50</b>	1.07	10000	2680.77
<b>0.00-0.50</b>	<b>1.07</b>	<b>10000</b>	<b>5361.53</b>

**Tabla 35**

*Análisis de carbono por horizonte de suelo del bosque Llaca*

<b>Carbono por horizonte de suelo del bosque Llaca</b>					
<b>Estrato bosque muy denso (BMD)</b>					
Horizonte suelo (cm)	Área del bosque (ha)	PVs (t/ha)	CO (%)	CO/PVs (tC/ha)	Total CO/PVs (tC)
<b>0.00 - 0.25</b>	17.0	2518.86	9.51	239.6	4078.3
<b>0.25 - 0.50</b>	17.0	2518.86	9.51	239.6	4078.3
<b>0.00 - 0.50</b>	<b>17.0</b>	<b>5037.72</b>	<b>9.51</b>	<b>479.23</b>	<b>8156.69</b>
<b>Estrato Bosque denso (BDE)</b>					
<b>0.00 - 0.25</b>	32.1	2510.17	2.79	70.0	2248.7
<b>0.25 - 0.50</b>	32.1	2510.17	2.79	70.0	2248.7
<b>0.00 - 0.50</b>	<b>32.1</b>	<b>5020.34</b>	<b>2.79</b>	<b>140.00</b>	<b>4497.35</b>

*Nota:* El peso del volumen de suelo es igual porque se determinó en base al promedio general de la densidad aparente de cada estrato.

**Tabla 36**

*Análisis de carbono por horizonte de suelo del bosque Quillcayhuanca*

<b>Carbono por horizonte de suelo del bosque Quillcayhuanca</b>					
<b>Estrato bosque muy denso (BMD)</b>					
Horizonte suelo (cm)	Área del bosque (ha)	PVs (t/ha)	CO (%)	CO/PVs (tC/ha)	Total CO/PVs (tC)
<b>0.00 - 0.25</b>	1.31	2759.75	4.48	123.6	161.5
<b>0.25 - 0.50</b>	1.31	2759.75	4.48	123.6	161.5
<b>0.00 - 0.50</b>	<b>1.31</b>	<b>5519.49</b>	<b>4.48</b>	<b>247.25</b>	<b>323.04</b>
<b>Estrato Bosque denso (BDE)</b>					
<b>0.00 - 0.25</b>	5.65	2680.77	4.67	125.2	707.5
<b>0.25 - 0.50</b>	5.65	2680.77	4.67	125.2	707.5
<b>0.00 - 0.50</b>	<b>5.65</b>	<b>5361.53</b>	<b>4.67</b>	<b>250.43</b>	<b>1414.91</b>

*Nota:* El peso del volumen de suelo es igual porque se determinó en base al promedio general de la densidad aparente de cada estrato.

**Tabla 37**

*Análisis de carbono en la biomasa vegetal total aérea de los bosques de estudio*

<b>Bosque Llaca</b>				
<b>Estrato</b>	<b>Biomasa Arbórea (t/ha)</b>	<b>Biomasa Arbustiva y Herbácea (t/ha)</b>	<b>Biomasa de Hojarasca (t/ha)</b>	<b>Biomasa vegetal total aérea (t/ha)</b>
<b>Bosque muy denso</b>	625.37	7.37	34.04	666.78
<b>Bosque denso</b>	134.86	6.40	29.79	171.06
<b>TOTAL</b>	<b>760.23</b>	<b>13.77</b>	<b>63.83</b>	<b>837.83</b>
<b>Bosque Quillcayhuanca</b>				
<b>Bosque muy denso</b>	143.59	5.88	23.54	173.01
<b>Bosque denso</b>	118.05	6.98	19.80	144.83
<b>TOTAL</b>	<b>261.65</b>	<b>12.86</b>	<b>43.33</b>	<b>317.84</b>

**Tabla 38**

*Análisis de carbono en la biomasa Subterránea de los bosques de estudio*

<b>Bosque Llaca</b>					
<b>Estrato</b>	<b>Biomasa vegetal total aérea (t/ha)</b>	<b>Factor de Conversión Subterránea</b>	<b>Biomasa subterránea (t/ha)</b>	<b>Factor de conversión IPCC</b>	<b>Carbono en la biomasa subterránea (tC/ha)</b>
<b>Bosque muy denso</b>	666.78	0.3	200.03	0.45	90.02
<b>Bosque denso</b>	171.06	0.3	51.32	0.45	23.09
<b>TOTAL</b>	<b>837.83</b>		<b>251.35</b>		<b>113.11</b>
<b>Bosque Quillcayhuanca</b>					
<b>Bosque muy denso</b>	173.01	0.3	51.90	0.45	23.36
<b>Bosque denso</b>	144.83	0.3	43.45	0.45	19.55
<b>TOTAL</b>	<b>317.84</b>		<b>95.35</b>		<b>42.91</b>

**Tabla 39**

*Análisis de la biomasa Vegetal total de los bosques de estudio*

<b>Bosque Llaca</b>					
<b>Estrato</b>	<b>BA (tC/ha)</b>	<b>BA/H (tC/ha)</b>	<b>Bh (tC/ha)</b>	<b>Bs (tC/ha)</b>	<b>BVT (tC/ha)</b>
<b>Bosque muy denso</b>	625.37	7.37	34.04	200.03	866.81
<b>Bosque denso</b>	134.86	6.40	29.79	51.32	222.37
<b>TOTAL</b>	<b>760.23</b>	<b>13.77</b>	<b>63.83</b>	<b>251.35</b>	<b>1089.18</b>
<b>Bosque Quillcayhuanca</b>					
<b>Bosque muy denso</b>	143.59	5.88	23.54	51.90	224.91
<b>Bosque denso</b>	118.05	6.98	19.80	43.45	188.28
<b>TOTAL</b>	<b>261.65</b>	<b>12.86</b>	<b>43.33</b>	<b>95.35</b>	<b>413.19</b>

**Tabla 40**

*Análisis de carbono en la biomasa Vegetal total de los bosques de estudio*

<b>Bosque Llaca</b>					
<b>Estrato</b>	<b>CO-BA (tC)</b>	<b>CO-BA/H (tC)</b>	<b>CO-Bh (tC)</b>	<b>CO-Bs (tC)</b>	<b>CO-BVT (tC)</b>
<b>Bosque muy denso</b>	4789.84	56.44	260.70	1532.09	6639.08
<b>Bosque denso</b>	1949.59	92.59	430.63	741.84	3214.65
<b>TOTAL</b>	<b>6739.43</b>	<b>149.03</b>	<b>691.33</b>	<b>2273.94</b>	<b>9853.73</b>
<b>Bosque Quillcayhuanca</b>					
<b>Bosque muy denso</b>	84.42	3.46	13.84	30.52	132.23
<b>Bosque denso</b>	300.15	17.75	50.33	110.47	478.70
<b>TOTAL</b>	<b>384.57</b>	<b>21.21</b>	<b>64.17</b>	<b>140.98</b>	<b>610.93</b>

**Tabla 41***Análisis de carbono fijado total del bosque de Llaca*

<b>Bosque Llaca</b>			
<b>Fuente de Medida</b>	<b>Carbono total almacenado (tC)</b>	<b>Factor de conversión (CO<sub>2</sub>)</b>	<b>CDE (tCO<sub>2</sub>)</b>
<b>Biomasa arbórea</b>	6739.43	3.67	24711.25
<b>Biomasa arbustiva y herbácea</b>	149.03	3.67	546.43
<b>Biomasa de hojarasca</b>	691.33	3.67	2534.89
<b>Biomasa subterránea</b>	2273.94	3.67	8337.77
<b>Biomasa Vegetal Total</b>	9853.73	3.67	36130.34
<b>Suelo</b>	12654.03	3.67	46398.12
<b>TOTAL</b>	<b>22507.76</b>		<b>82528.46</b>

**Tabla 42***Análisis de carbono fijado total del bosque de Quillcayhuanca*

<b>Bosque Quillcayhuanca</b>			
<b>Fuente de Medida</b>	<b>Carbono total almacenado (tC)</b>	<b>Factor de conversión (CO<sub>2</sub>)</b>	<b>CDE (tCO<sub>2</sub>)</b>
<b>Biomasa arbórea</b>	384.57	3.67	1410.10
<b>Biomasa arbustiva y herbácea</b>	21.21	3.67	77.76
<b>Biomasa de hojarasca</b>	64.17	3.67	235.29
<b>Biomasa subterránea</b>	140.98	3.67	516.94
<b>Biomasa Vegetal Total</b>	610.93	3.67	2240.09
<b>Suelo</b>	1737.95	3.67	6372.48
<b>TOTAL</b>	<b>2348.88</b>		<b>8612.57</b>

## Anexo 2. Panel Fotográfico

Foto 1. Ubicación de las áreas de muestreo (Bosque Llaca)



Foto 2. Ubicación de las áreas de muestreo (Bosque Quillcayhuanca)



Foto 3. Delimitación de parcelas y medición de DAP de árboles *Polylepis* (Bosque Llaca)



Foto 4. Delimitación de parcelas y medición de DAP de árboles *Polylepis* (Bosque Quillcayhuanca)



Foto 5. Recolección de muestras de biomasa vegetal (Bosque Llaca)



Foto 6. Recolección de muestras de biomasa vegetal (Bosque Quillcayhuanca)



Foto 7. Recolección de muestras de suelo (Bosque Llaca)



Foto 8. Recolección de muestras de suelo (Bosque Quillcayhuanca)



Foto 9. Tratamiento de muestras frescas de biomasa vegetal y suelo en laboratorio



Foto 10. Secado de muestras frescas de biomasa vegetal y suelo en estufa durante 24 horas



Foto 11. Muestras secas de biomasa Arbustiva y herbácea del bosque Llaca



Foto 12. Muestras secas de biomasa Arbustiva y herbácea del bosque Quillcayhuanca

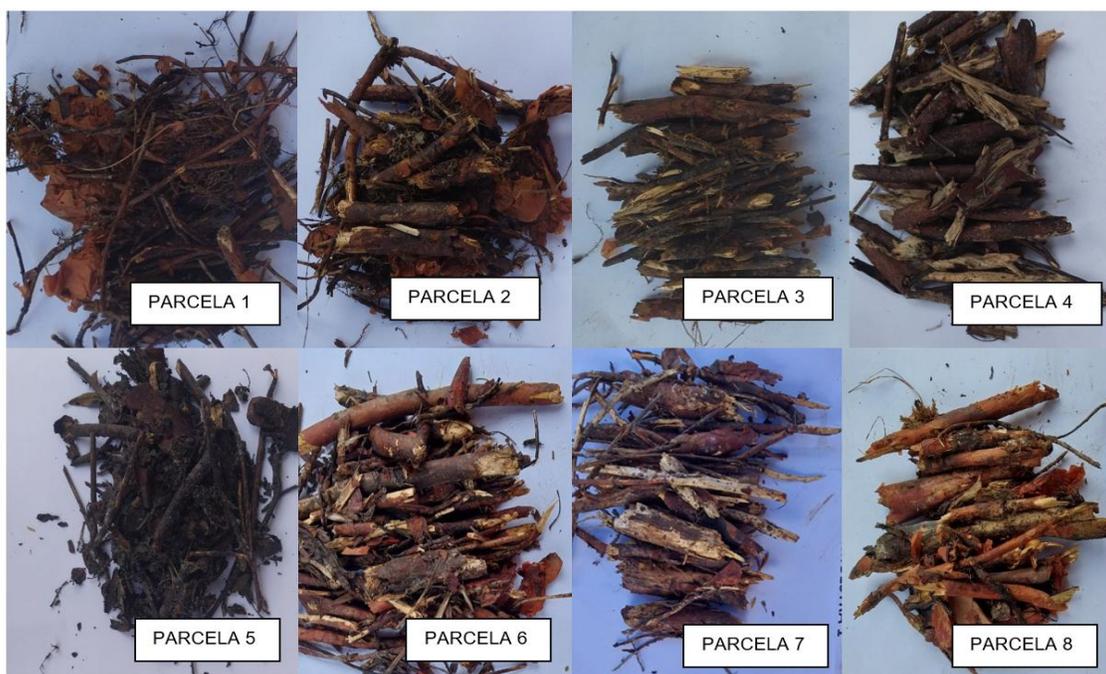


Foto 13. Muestras secas de biomasa de Hojarasca del bosque Llaca



Foto 14. Muestras secas de biomasa de Hojarasca del bosque Quillcayhuanca



Foto 15. Muestras secas de suelo del bosque Llaca



Foto 16. Muestras secas de suelo del bosque Quillcayhuanca



### Anexo 3. Resultados de análisis de biomasa vegetal y suelo



UNIVERSIDAD NACIONAL SANTIAGO ANTÚNEZ DE MAYO  
DEL ESFUERZO DE SUS HIJOS DEPENDE EL PROGRESO DE LOS PUEBLOS



**FACULTAD DE CIENCIAS DEL AMBIENTE**  
SUSTENTANDO LA VIDA EN EL PLANETA  
Ciudad Universitaria Shancayán-Pabellón J - Teléfono (043) 640020 anexo 1104  
**HUARAZ - ANCASH - PERÚ**



"Año del Bicentenario, de la consolidación de nuestra Independencia, y de la conmemoración de las heroicas batallas de Junín y Ayacucho"

#### RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE PESO Y HUMEDAD DE BIOMASA ARBUSTIVA/HERBÁCEA Y HOJARASCA

**MUESTRA:** Biomasa arbustiva/herbácea y hojarasca

**MUESTREADO POR:** Eduardo Luisenrique Sánchez Carrión

**PROCESADO POR:** Eduardo Luisenrique Sánchez Carrión

**PROCEDENCIA:** Quebrada Llaca (PNH)-Independencia- Huaraz-Ancash

**REFERENCIA:** FCAM-BAH-01

**FECHA:** 17/01/2024

BIOMASA ARBUSTIVA Y HERBÁCEA DEL BOSQUE LLACA			
N° de Parcela	PESO FRESCO SUB MUESTRA (gramos)	PESO SECO SUB MUESTRA A ESTUFA 150 °C X 24 Hrs (gramos)	HUMEDAD (%)
PA01-MA01	988	605	38.77
PA01-MA02	936	566	39.53
PA02-MA01	609	331	45.65
PA02-MA02	557	325	41.65
PA03-MA01	749	489	34.71
PA03-MA02	761	510	32.98
PA04-MA01	864	590	31.71
PA04-MA02	711	405	43.04
PA05-MA01	733	326	55.53
PA05-MA02	692	371	46.39
PA06-MA01	882	476	46.03
PA06-MA02	984	545	44.61
PA07-MA01	831	442	46.81
PA07-MA02	612	328	46.41
PA08-MA01	835	570	31.74
PA08-MA02	686	378	44.90

BIOMASA DE HOJARASCA DEL BOSQUE LLACA			
N° de Parcela	PESO FRESCO SUB MUESTRA (gramos)	PESO SECO SUB MUESTRA A ESTUFA 150 °C X 24 Hrs (gramos)	HUMEDAD (%)
PA01-MH01	988	723	26.82
PA01-MH02	901	680	24.53
PA02-MH01	671	420	37.41
PA02-MH02	625	495	20.80
PA03-MH01	726	470	35.26
PA03-MH02	752	331	55.98
PA04-MH01	734	535	27.11
PA04-MH02	711	520	26.86
PA05-MH01	792	546	31.06
PA05-MH02	692	580	16.18
PA06-MH01	855	640	25.15
PA06-MH02	945	790	16.40
PA07-MH01	594	490	17.51
PA07-MH02	897	482	46.27
PA08-MH01	831	680	18.17
PA08-MH02	612	420	31.37

Dr. Edwin Julio Palomino Cadenas  
JEFE DE UNIDAD  
LABORATORIO DE CIENCIAS DEL AMBIENTE  
FCAM - UNASAM

E-mail: info@unasam.edu.pe





UNIVERSIDAD NACIONAL SANTIAGO ANTÚNEZ DE MAYO  
DEL ESFUERZO DE SUS HIJOS DEPENDE EL PROGRESO DE LOS PUEBLOS



**FACULTAD DE CIENCIAS DEL AMBIENTE**  
SUSTENTANDO LA VIDA EN EL PLANETA  
Ciudad Universitaria Shancayán-Pabellón J - Teléfono (043) 640020 anexo 1104  
HUARAZ - ANCASH - PERÚ



"Año del Bicentenario, de la consolidación de nuestra Independencia, y de la conmemoración de las heroicas batallas de Junín y Ayacucho"

### RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE PESO Y HUMEDAD DE BIOMASA ARBUSTIVA/HERBÁCEA Y HOJARASCA

**MUESTRA:** Biomasa arbustiva/herbácea y hojarasca

**MUESTREADO POR:** Eduardo Luisenrique Sánchez Carrión

**PROCESADO POR:** Eduardo Luisenrique Sánchez Carrión

**PROCEDENCIA:** Quebrada Quillcayhuanca (PNH)-Independencia- Huaraz-Ancash

**REFERENCIA:** FCAM-BAH-02

**FECHA:** 17/01/2024

BIOMASA ARBUSTIVA Y HERBÁCEA DEL BOSQUE QUILLCAYHUANCA			
N° de Parcela	PESO FRESCO SUB MUESTRA (gramos)	PESO SECO SUB MUESTRA A ESTUFA 150 °C X 24 Hrs (gramos)	HUMEDAD (%)
PB01-MA01	502	359	28.49
PB01-MA02	417	326	21.82
PB02-MA01	594	279	53.03
PB02-MA02	694	247	64.41
PB03-MA01	586	252	57.00
PB03-MA02	786	326	58.52
PB04-MA01	663	201	69.68
PB04-MA02	522	225	56.90
PB05-MA01	1406	582	58.61
PB05-MA02	688	301	56.25
PB06-MA01	1105	503	54.48
PB06-MA02	1031	561	45.59
PB07-MA01	881	426	51.65
PB07-MA02	777	378	51.35
PB08-MA01	950	395	58.42
PB08-MA02	853	313	63.31

BIOMASA DE HOJARASCA DEL BOSQUE QUILLCAYHUANCA			
N° de Parcela	PESO FRESCO SUB MUESTRA (gramos)	PESO SECO SUB MUESTRA A ESTUFA 150 °C X 24 Hrs (gramos)	HUMEDAD (%)
PB01-MH01	662	291	56.04
PB01-MH02	675	341	49.48
PB02-MH01	759	349	54.02
PB02-MH02	648	277	57.25
PB03-MH01	623	185	70.30
PB03-MH02	636	318	50.00
PB04-MH01	563	242	57.02
PB04-MH02	495	163	67.07
PB05-MH01	752	366	51.33
PB05-MH02	330	101	69.39
PB06-MH01	1112	672	39.57
PB06-MH02	771	359	53.44
PB07-MH01	1024	434	57.62
PB07-MH02	1204	429	64.37
PB08-MH01	1450	625	56.90
PB08-MH02	1340	690	48.51

Dr. Edwin Julio Palomino Cadenas  
JEFE DE UNIDAD  
LABORATORIO DE CIENCIAS DEL AMBIENTE  
FCAM - LINASAM

E-mail: [info@unasam.edu.pe](mailto:info@unasam.edu.pe)





"Año del Bicentenario, de la consolidación de nuestra Independencia, y de la conmemoración de las heroicas batallas de Junín y Ayacucho"

### RESULTADOS DEL ANÁLISIS Y DENSIDAD APARENTE DE SUELOS

**MUESTRA:** Biomasa arbustiva/herbácea y hojarasca

**MUESTREADO POR:** Eduardo Luisenrique Sánchez Carrión

**PROCESADO POR:** Eduardo Luisenrique Sánchez Carrión

**PROCEDENCIA:** Quebrada Llaca (PNH)-Independencia- Huaraz-Ancash

**REFERENCIA:** FCAM-BAD-01

**FECHA:** 17/01/2024

N° de Parcela	Sub muestra	Profundidad (cm)	Volumen del Cilindro (cm3)	Peso fresco de la muestra (g)	Peso seco dentro cilindro (g)	Humedad (%)	Densidad Aparente (g/cm3)
1	PA01-MS01-1	0-25	628.32	874	638	27.00	1.02
	PA01-MS01-2	25-50	628.32	839	611	27.18	0.97
	PA01-MS02-1	0-25	628.32	969	703	27.45	1.12
	PA01-MS02-2	25-50	628.32	798	521	34.66	0.83
2	PA02-MS01-1	0-25	628.32	892	601	32.62	0.96
	PA02-MS01-2	25-50	628.32	812	528	34.98	0.84
	PA02-MS02-1	0-25	628.32	871	553	36.51	0.88
	PA02-MS02-2	25-50	628.32	847	622	26.56	0.99
3	PA03-MS01-1	0-25	628.32	930	605	34.95	0.96
	PA03-MS01-2	25-50	628.32	833	543	34.81	0.86
	PA03-MS02-1	0-25	628.32	834	612	26.62	0.97
	PA03-MS02-2	25-50	628.32	912	701	23.14	1.12
4	PA04-MS01-1	0-25	628.32	751	569	24.23	0.91
	PA04-MS01-2	25-50	628.32	852	666	21.83	1.06
	PA04-MS02-1	0-25	628.32	826	643	22.15	1.02
	PA04-MS02-2	25-50	628.32	849	664	21.79	1.06
5	PA05-MS01-1	0-25	628.32	818	555	32.15	0.88
	PA05-MS01-2	25-50	628.32	784	546	30.36	0.87
	PA05-MS02-1	0-25	628.32	793	554	30.14	0.88
	PA05-MS02-2	25-50	628.32	775	590	23.87	0.94
6	PA06-MS01-1	0-25	628.32	1327	736	44.54	1.17
	PA06-MS01-2	25-50	628.32	1320	721	45.38	1.15
	PA06-MS02-1	0-25	628.32	1296	880	32.10	1.40
	PA06-MS02-2	25-50	628.32	1242	831	33.09	1.32
7	PA07-MS01-1	0-25	628.32	843	663	21.35	1.06
	PA07-MS01-2	25-50	628.32	840	629	25.12	1.00
	PA07-MS02-1	0-25	628.32	824	602	26.94	0.96
	PA07-MS02-2	25-50	628.32	861	645	25.09	1.03
8	PA08-MS01-1	0-25	628.32	823	662	19.56	1.05
	PA08-MS01-2	25-50	628.32	847	609	28.10	0.97
	PA08-MS02-1	0-25	628.32	816	643	21.20	1.02
	PA08-MS02-2	25-50	628.32	782	594	24.04	0.95

E-mail: info@unasam.edu.pe

**UNASAM LICENCIADA**  
-la primera en la región Ancash-



Dr. Edwin Julio Palomino Cabellos  
JEFE DE UNIDAD  
LABORATORIO DE CIENCIAS DEL AMBIENTE  
FCAM - UNASAM



UNIVERSIDAD NACIONAL SANTIAGO ANTÚNEZ DE MAYO  
DEL ESFUERZO DE SUS HIJOS DEPENDE EL PROGRESO DE LOS PUEBLOS



**FACULTAD DE CIENCIAS DEL AMBIENTE**  
SUSTENTANDO LA VIDA EN EL PLANETA

Ciudad Universitaria Shancayán-Pabellón J - Teléfono (043) 640020 anexo 1104  
**HUARAZ - ANCASH - PERÚ**



"Año del Bicentenario, de la consolidación de nuestra Independencia, y de la conmemoración de las heroicas batallas de Junín y Ayacucho"

### RESULTADOS DEL ANÁLISIS Y DENSIDAD APARENTE DE SUELOS

**MUESTRA:** Biomasa arbustiva/herbácea y hojarasca

**MUESTREADO POR:** Eduardo Luisenrique Sánchez Carrión

**PROCESADO POR:** Eduardo Luisenrique Sánchez Carrión

**PROCEDENCIA:** Quebrada Quillcayhuanca (PNH)-Independencia- Huaraz-Ancash

**REFERENCIA:** FCAM-BAD-02

**FECHA:** 17/01/2024

N° de Parcela	Sub muestra	Profundidad (cm)	Volumen del Cilindro (cm <sup>3</sup> )	Peso fresco de la muestra (g)	Peso seco dentro cilindro (g)	Humedad (%)	Densidad Aparente (g/cm <sup>3</sup> )
1	PB01-MS01-1	0-25	628.32	998	805	19.34	1.28
	PB01-MS01-2	25-50	628.32	985	873	11.37	1.39
	PB01-MS02-1	0-25	628.32	995	768	22.81	1.22
	PB01-MS02-2	25-50	628.32	993	833	16.11	1.33
2	PB02-MS01-1	0-25	628.32	911	712	21.84	1.13
	PB02-MS01-2	25-50	628.32	896	738	17.63	1.17
	PB02-MS02-1	0-25	628.32	884	672	23.98	1.07
	PB02-MS02-2	25-50	628.32	880	733	16.70	1.17
3	PB03-MS01-1	0-25	628.32	855	712	16.73	1.13
	PB03-MS01-2	25-50	628.32	829	674	18.70	1.07
	PB03-MS02-1	0-25	628.32	813	638	21.53	1.02
	PB03-MS02-2	25-50	628.32	770	568	26.23	0.90
4	PB04-MS01-1	0-25	628.32	792	572	27.78	0.91
	PB04-MS01-2	25-50	628.32	871	643	26.18	1.02
	PB04-MS02-1	0-25	628.32	925	684	26.05	1.09
	PB04-MS02-2	25-50	628.32	939	725	22.79	1.15
5	PB05-MS01-1	0-25	628.32	863	682	20.97	1.09
	PB05-MS01-2	25-50	628.32	891	687	22.90	1.09
	PB05-MS02-1	0-25	628.32	915	638	30.27	1.02
	PB05-MS02-2	25-50	628.32	875	677	22.63	1.08
6	PB06-MS01-1	0-25	628.32	889	644	27.56	1.02
	PB06-MS01-2	25-50	628.32	891	680	23.68	1.08
	PB06-MS02-1	0-25	628.32	918	713	22.33	1.13
	PB06-MS02-2	25-50	628.32	910	772	15.16	1.23
7	PB07-MS01-1	0-25	628.32	892	654	26.68	1.04
	PB07-MS01-2	25-50	628.32	905	719	20.55	1.14
	PB07-MS02-1	0-25	628.32	883	710	19.59	1.13
	PB07-MS02-2	25-50	628.32	887	708	20.18	1.13
8	PB08-MS01-1	0-25	628.32	884	441	50.11	0.70
	PB08-MS01-2	25-50	628.32	911	664	27.11	1.06
	PB08-MS02-1	0-20	628.32	905	567	37.35	0.90
	PB08-MS02-2	20-40	628.32	915	651	28.85	1.04

E-mail: info@unasam.edu.pe

UNASAM  
**LICENCIADA**  
¡La primero en la región Ancash!



Dr. Edwin Julio Palomino Cadenas  
JEFE DE UNIDAD  
LABORATORIO DE CIENCIAS DEL AMBIENTE  
FCAM - UNASAM



## Anexo 4. Resultados de análisis de carbono orgánico en suelo



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA  
FACULTAD DE AGRONOMIA  
LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES



### INFORME DE ANALISIS ESPECIAL EN SUELO

SOLICITANTE : EDUARDO LUISENRIQUE SANCHEZ CARRION  
PROCEDENCIA : ANCASH/ HUARAZ/ INDEPENDENCIA/ QUEBRADA LLACA  
REFERENCIA : H.R. 81101  
FACTURA : 10652  
FECHA : 20/11/2023

N. Lab.	CLAVE DE CAMPO	C %
6543	PA01-MS01-1	3.68
6544	PA01-MS01-2	6.61
6545	PA01-MS02-1	7.00
6546	PA01-MS02-2	7.00
6547	PA02-MS01-1	7.79
6548	PA02-MS01-2	8.50
6549	PA02-MS02-1	9.14
6550	PA02-MS02-2	6.25
6551	PA03-MS01-1	8.82
6552	PA03-MS01-2	7.32
6553	PA03-MS02-1	4.51
6554	PA03-MS02-2	4.35
6555	PA04-MS01-1	3.09
6556	PA04-MS01-2	2.25
6557	PA04-MS02-1	3.84
6558	PA04-MS02-2	3.64
6559	PA05-MS01-1	4.67
6560	PA05-MS01-2	3.09
6561	PA05-MS02-1	5.34
6562	PA05-MS02-2	2.45

N. Lab.	CLAVE DE CAMPO	C %
6563	PA06-MS01-1	34.17
6564	PA06-MS01-2	32.28
6565	PA06-MS02-1	26.11
6566	PA06-MS02-2	26.42
6567	PA07-MS01-1	2.14
6568	PA07-MS01-2	3.36
6569	PA07-MS02-1	2.18
6570	PA07-MS02-2	3.40
6571	PA08-MS01-1	1.90
6572	PA08-MS01-2	4.15
6573	PA08-MS02-1	2.29
6574	PA08-MS02-2	2.89



Dr. Constantino Calderón Mendoza  
Jefe de Laboratorio

#### Metodología Empleada:

1. Carbono orgánico: Método de Walkley y Black o del Dicromato de Potasio, oxidación del carbono orgánico con dicromato de potasio.

Av. La Molina s/n Campus UNALM  
Telf.: 614-7800 Anexo 222 Teléfono Directo: 349-5622  
Celular: 946-505-254  
e-mail: labsuelo@lamolina.edu.pe



## INFORME DE ANALISIS ESPECIAL EN SUELO

SOLICITANTE : EDUARDO LUISENRIQUE SANCHEZ CARRION  
PROCEDENCIA : ANCASH/ HUARAZ/ INDEPENDENCIA/ QUEBRADA QUILLCAYHUACA  
REFERENCIA : H.R. 81102  
FACTURA : 10652  
FECHA : 20/11/2023

N. Lab.	CLAVE DE CAMPO	C %
6575	PB01-MS01-1	7.71
6576	PB01-MS01-2	4.98
6577	PB01-MS02-1	3.01
6578	PB01-MS02-2	2.29
6579	PB02-MS01-1	4.63
6580	PB02-MS01-2	2.85
6581	PB02-MS02-1	6.65
6582	PB02-MS02-2	2.49
6583	PB03-MS01-1	3.01
6584	PB03-MS01-2	13.76
6585	PB03-MS02-1	3.92
6586	PB03-MS02-2	1.98
6587	PB04-MS01-1	6.01
6588	PB04-MS01-2	3.01
6589	PB04-MS02-1	5.46
6590	PB04-MS02-2	1.82
6591	PB05-MS01-1	7.44
6592	PB05-MS01-2	4.19
6593	PB05-MS02-1	8.07
6594	PB05-MS02-2	3.68

N. Lab.	CLAVE DE CAMPO	C %
6595	PB06-MS01-1	4.87
6596	PB06-MS01-2	2.29
6597	PB06-MS02-1	1.54
6598	PB06-MS02-2	1.31
6599	PB07-MS01-1	5.62
6600	PB07-MS01-2	2.37
6601	PB07-MS02-1	6.01
6602	PB07-MS02-2	5.34
6603	PB08-MS01-1	1.38
6604	PB08-MS01-2	6.17
6605	PB08-MS02-1	7.08
6606	PB08-MS02-2	4.71



Constantino Calderón Mendoza  
Jefe de Laboratorio

**Metodología Empleada:**

1. Carbono orgánico: Método de Walkley y Black o del Dicromato de Potasio, oxidación del carbono orgánico con dicromato de potasio.

Av. La Molina s/n Campus UNALM  
Telf.: 614-7800 Anexo 222 Teléfono Directo: 349-5622  
Celular: 946-505-254  
e-mail: labsuelo@lamolina.edu.pe

## Anexo 5. Resultados de identificación de especies vegetales de los bosques de estudio



UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS  
(Universidad del Perú, DECANA DE AMÉRICA)  
MUSEO DE HISTORIA NATURAL



“Año del Bicentenario, de la consolidación de nuestra Independencia, y de la conmemoración de las heroicas batallas de Junín y Ayacucho”

### CONSTANCIA N° 055-USM-MHN-2024

LA JEFA DEL HERBARIO SAN MARCOS (USM) DEL MUSEO DE HISTORIA NATURAL, DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS, DEJA CONSTANCIA QUE:

La muestra vegetal (fértil) recibida de **Eduardo Luisenrique Sanchez Carrión**, egresado de la Universidad Nacional Santiago Antunez de Mayolo ha sido estudiada y clasificada como: *Polylepis weberbaueri* Pilg. y tiene la siguiente posición taxonómica, según el Sistema de Clasificación APG IV (2016).

ORDEN : Rosales Bercht. & J. Presl

FAMILIA : Rosaceae Juss.

GÉNERO : *Polylepis Ruiz & Pav.*

ESPECIE : *Polylepis weberbaueri* Pilg.

Nombre vulgar: “BA-MV-01”

Procedencia: Quebrada Llaca (PNH), Independencia, Huaraz, Ancash

Determinado por: MSc. Wilfredo Mendoza.

Se extiende la presente constancia a solicitud de la parte interesada, para los fines que estime conveniente.

Lima, 19 de marzo de 2024

Dra. Joaquina Albán Castillo

JEFA DEL HERBARIO SAN MARCOS (USM)



UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS  
(Universidad del Perú, DECANA DE AMÉRICA)  
MUSEO DE HISTORIA NATURAL



“Año del Bicentenario, de la consolidación de nuestra Independencia, y de la conmemoración de las heroicas batallas de Junín y Ayacucho”

### CONSTANCIA N° 057-USM-MHN-2024

LA JEFA DEL HERBARIO SAN MARCOS (USM) DEL MUSEO DE HISTORIA NATURAL, DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS, DEJA CONSTANCIA QUE:

La muestra vegetal (fértil) recibida de **Eduardo Luisenrique Sanchez Carrión**, egresado de la Universidad Nacional Santiago Antunez de Mayolo ha sido estudiada y clasificada como: *Oreocallis grandiflora* (Lam.) R. Br. y tiene la siguiente posición taxonómica, según el Sistema de Clasificación APG IV (2016).

ORDEN : Proteales Juss. ex Bercht. & J. Presl

FAMILIA : Proteaceae Juss.

GÉNERO : *Oreocallis* R. Br.

ESPECIE : *Oreocallis grandiflora* (Lam.) R. Br.

Nombre vulgar: “BA-MV-03 (Saltaperico, cucharillo)”

Procedencia: Quebrada Quillcayhuanca (PNH), Independencia, Huaraz, Ancash

Determinado por: MSc. Hamilton Beltrán Santiago

Se extiende la presente constancia a solicitud de la parte interesada, para los fines que estime conveniente.

Lima, 19 de marzo de 2024

Dra. Joaquina Albán Castillo

JEFA DEL HERBARIO SAN MARCOS (USM)

Av. Arenales 1256, Jesús María, Lima, Perú  
Código postal Lima 15072

Celular: +51 947 245 652  
Lunes a Viernes 8:00 - 15:45

e-mail: [herbariousm@unmsm.edu.pe](mailto:herbariousm@unmsm.edu.pe)  
<https://museohn.unmsm.edu.pe/herbario.html>



UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS  
(Universidad del Perú, DECANA DE AMÉRICA)  
MUSEO DE HISTORIA NATURAL



“Año del Bicentenario, de la consolidación de nuestra Independencia, y de la conmemoración de las heroicas batallas de Junín y Ayacucho”

### CONSTANCIA N° 058-USM-MHN-2024

LA JEFA DEL HERBARIO SAN MARCOS (USM) DEL MUSEO DE HISTORIA NATURAL, DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS, DEJA CONSTANCIA QUE:

La muestra vegetal (fértil) recibida de **Eduardo Luisenrique Sanchez Carrión**, egresado de la Universidad Nacional Santiago Antunez de Mayolo ha sido estudiada y clasificada como: *Polylepis albicans* Pilg. y tiene la siguiente posición taxonómica, según el Sistema de Clasificación APG IV (2016).

ORDEN : Rosales Bercht. & J. Presl

FAMILIA : Rosaceae Juss.

GÉNERO : *Polylepis Ruiz & Pav.*

ESPECIE : *Polylepis albicans* Pilg.

Nombre vulgar: “BB-MV-01”

Procedencia: Quebrada Quillcayhuanca (PNH), Independencia, Huaraz, Ancash

Determinado por: MSc. Wilfredo Mendoza.

Se extiende la presente constancia a solicitud de la parte interesada, para los fines que estime conveniente.

Lima, 19 de marzo de 2024

Dra. Joaquina Albán Castillo

JEFA DEL HERBARIO SAN MARCOS (USM)

Av. Arenales 1256, Jesús María, Lima, Perú  
Código postal Lima 15072

Celular: +51 947 245 652  
Lunes a Viernes 8:00 - 15:45

e-mail: herbariوسm@unmsm.edu.pe  
<https://museohn.unmsm.edu.pe/herbario.html>



UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS  
(Universidad del Perú, DECANA DE AMÉRICA)  
MUSEO DE HISTORIA NATURAL



“Año del Bicentenario, de la consolidación de nuestra Independencia, y de la conmemoración de las heroicas batallas de Junín y Ayacucho”

### CONSTANCIA N° 059-USM-MHN-2024

LA JEFA DEL HERBARIO SAN MARCOS (USM) DEL MUSEO DE HISTORIA NATURAL, DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS, DEJA CONSTANCIA QUE:

La muestra vegetal (fértil) recibida de **Eduardo Luisenrique Sanchez Carrión**, egresado de la Universidad Nacional Santiago Antunez de Mayolo ha sido estudiada y clasificada como: *Polylepis racemosa* Ruiz & Pav. y tiene la siguiente posición taxonómica, según el Sistema de Clasificación APG IV (2016).

ORDEN : Rosales Bercht. & J. Presl

FAMILIA : Rosaceae Juss.

GÉNERO : *Polylepis Ruiz & Pav.*

ESPECIE : *Polylepis racemosa* Ruiz & Pav.

Nombre vulgar: “BB-MV-02 ”

Procedencia: Quebrada Quillcayhuanca (PNH), Independencia, Huaraz, Ancash

Determinado por: MSc. Wilfredo Mendoza.

Se extiende la presente constancia a solicitud de la parte interesada, para los fines que estime conveniente.

Lima, 19 de marzo de 2024

Dra. Joaquina Albán Castillo

JEFA DEL HERBARIO SAN MARCOS (USM)

Av. Arenales 1256, Jesús María, Lima, Perú  
Código postal Lima 15072

Celular: +51 947 245 652  
Lunes a Viernes 8:00 - 15:45

e-mail: herbariousm@unmsm.edu.pe  
<https://museohn.unmsm.edu.pe/herbario.html>



UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS  
(Universidad del Perú, DECANA DE AMÉRICA)  
MUSEO DE HISTORIA NATURAL



“Año del Bicentenario, de la consolidación de nuestra Independencia, y de la conmemoración de las heroicas batallas de Junín y Ayacucho”

### CONSTANCIA N° 060-USM-MHN-2024

LA JEFA DEL HERBARIO SAN MARCOS (USM) DEL MUSEO DE HISTORIA NATURAL, DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS, DEJA CONSTANCIA QUE:

La muestra vegetal (fértil) recibida de **Eduardo Luinrique Sanchez Carrión**, egresado de la Universidad Nacional Santiago Antunez de Mayolo ha sido estudiada clasificada como: *Gynoxys nitida* Muschl. y tiene la siguiente posición taxonómica, según el Sistema de Clasificación APG IV (2016).

ORDEN : Asterales Link

FAMILIA : Asteraceae Bercht. & J. Presl

GÉNERO : *Gynoxys* Cass.

ESPECIE : *Gynoxys nitida* Muschl.

Nombre vulgar: “BB-MV-03”

Procedencia: Quebrada Quillcayhuanca (PNH), Independencia, Huaraz, Ancash

Determinado por: Dr. Asunción Cano.

Se extiende la presente constancia a solicitud de la parte interesada, para los fines que estime conveniente.

Lima, 19 de marzo de 2024

Dra. Joaquina Albán Castillo

JEFA DEL HERBARIO SAN MARCOS (USM)

Av. Arenales 1256, Jesús María, Lima, Perú  
Código postal Lima 15072

Celular: +51 947 245 652  
Lunes a Viernes 8:00 - 15:45

e-mail: herbariousm@unmsm.edu.pe  
<https://museohn.unmsm.edu.pe/herbario.html>



UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS  
(Universidad del Perú, DECANA DE AMÉRICA)  
MUSEO DE HISTORIA NATURAL



“Año del Bicentenario, de la consolidación de nuestra Independencia, y de la conmemoración de las heroicas batallas de Junín y Ayacucho”

### CONSTANCIA N° 061-USM-MHN-2024

LA JEFA DEL HERBARIO SAN MARCOS (USM) DEL MUSEO DE HISTORIA NATURAL, DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS, DEJA CONSTANCIA QUE:

La muestra vegetal (fértil) recibida de **Eduardo Luisenrique Sanchez Carrión**, egresado de la Universidad Nacional Santiago Antunez de Mayolo ha sido estudiada y clasificada como: *Passiflora trifoliata* Cav. y tiene la siguiente posición taxonómica, según el Sistema de Clasificación APG IV (2016).

ORDEN : Malpighiales Juss. ex Bercht. & J. Presl

FAMILIA : Passifloraceae Juss. ex Roussel

GÉNERO : *Passiflora* L.

ESPECIE : *Passiflora trifoliata* Cav.

Nombre vulgar: “BB-MV-04 (Purush, Granadilla silvestre)”

Procedencia: Quebrada Quillcayhuanca (PNH), Independencia, Huaraz, Ancash

Determinado por: MSc. Hamilton Beltrán Santiago

Se extiende la presente constancia a solicitud de la parte interesada, para los fines que estime conveniente.

Lima, 19 de marzo de 2024

Dra. Joaquina Albán Castillo

JEFA DEL HERBARIO SAN MARCOS (USM)

Av. Arenales 1256, Jesús María, Lima, Perú  
Código postal Lima 15072

Celular: +51 947 245 652  
Lunes a Viernes 8:00 - 15:45

e-mail: herbariousm@unmsm.edu.pe  
<https://museohn.unmsm.edu.pe/herbario.html>