

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Ambiental

Tesis

**Almacenamiento de carbono y tasa de eficiencia  
neta de ecosistemas en turberas, dentro de la  
Reserva Paisajística Nor Yauyos Cochabamba 2020**

Katherinne Yomira Hilario Curisínche

Para optar el Título Profesional de  
Ingeniera Ambiental

Huancayo, 2023

Repositorio Institucional Continental  
Tesis digital



Esta obra está bajo una Licencia "Creative Commons Atribución 4.0 Internacional" .

# ALMACENAMIENTO DE CARBONO Y TASA DE EFICIENCIA NETA DE ECOSISTEMAS EN TURBERAS, DENTRO DE LA RESERVA PAISAJÍSTICA NOR YAUYOS COCHAS 2020

## INFORME DE ORIGINALIDAD

18%

INDICE DE SIMILITUD

17%

FUENTES DE INTERNET

4%

PUBLICACIONES

7%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

## FUENTES PRIMARIAS

1	<a href="http://repositorio.lamolina.edu.pe">repositorio.lamolina.edu.pe</a> Fuente de Internet	3%
2	<a href="http://repositorio.continental.edu.pe">repositorio.continental.edu.pe</a> Fuente de Internet	3%
3	<a href="http://repositorio.unjfsc.edu.pe">repositorio.unjfsc.edu.pe</a> Fuente de Internet	2%
4	Submitted to Universidad Continental Trabajo del estudiante	2%
5	<a href="http://repositorio.ucss.edu.pe">repositorio.ucss.edu.pe</a> Fuente de Internet	1%
6	<a href="http://www.inaigem.gob.pe">www.inaigem.gob.pe</a> Fuente de Internet	1%
7	<a href="http://www.unep.org">www.unep.org</a> Fuente de Internet	<1%
8	<a href="http://www.ramsar.org">www.ramsar.org</a> Fuente de Internet	<1%

9	<a href="http://docplayer.es">docplayer.es</a> Fuente de Internet	<1 %
10	<a href="http://hdl.handle.net">hdl.handle.net</a> Fuente de Internet	<1 %
11	Submitted to unjbg Trabajo del estudiante	<1 %
12	<a href="http://www.researchgate.net">www.researchgate.net</a> Fuente de Internet	<1 %
13	<a href="http://revistas.unjbg.edu.pe">revistas.unjbg.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
14	<a href="http://tesis.pucp.edu.pe">tesis.pucp.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
15	<a href="http://biblioteca.inia.cl">biblioteca.inia.cl</a> Fuente de Internet	<1 %
16	<a href="http://repositorio.uct.edu.pe">repositorio.uct.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
17	<a href="http://cdn.www.gob.pe">cdn.www.gob.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
18	<a href="http://www.scribd.com">www.scribd.com</a> Fuente de Internet	<1 %
19	Submitted to Universidad Nacional del Centro del Peru Trabajo del estudiante	<1 %
20	<a href="http://repositorio.ucv.edu.pe">repositorio.ucv.edu.pe</a>	

Fuente de Internet

<1 %

21

[www.jaujamiperu.com](http://www.jaujamiperu.com)

Fuente de Internet

<1 %

22

[repositorio.ups.edu.pe](http://repositorio.ups.edu.pe)

Fuente de Internet

<1 %

23

[repositorio.uncp.edu.pe](http://repositorio.uncp.edu.pe)

Fuente de Internet

<1 %

24

[repositorio.ute.edu.ec](http://repositorio.ute.edu.ec)

Fuente de Internet

<1 %

25

[epdf.pub](http://epdf.pub)

Fuente de Internet

<1 %

26

[www.tandfonline.com](http://www.tandfonline.com)

Fuente de Internet

<1 %

27

Domínguez Ramirez Marco Ulises. "Análisis de la cimentación de una planta de nitrógeno en el estado de Campeche", TESIUNAM, 2001

Publicación

<1 %

28

[qdoc.tips](http://qdoc.tips)

Fuente de Internet

<1 %

29

[www.icj-cij.org](http://www.icj-cij.org)

Fuente de Internet

<1 %

30

[www.repositorio.unu.edu.pe](http://www.repositorio.unu.edu.pe)

Fuente de Internet

<1 %

31	<a href="http://repositorio.uap.edu.pe">repositorio.uap.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
32	<a href="http://www.jne.gob.pe">www.jne.gob.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
33	<a href="http://www.perfumalia.net">www.perfumalia.net</a> Fuente de Internet	<1 %
34	Cuevas Reyes Pablo. "Patrones de riqueza de especies de insectos formadores de agallas en una selva baja caducifolia", TESIUNAM, 2004 Publicación	<1 %
35	<a href="http://core.ac.uk">core.ac.uk</a> Fuente de Internet	<1 %
36	<a href="http://files.eric.ed.gov">files.eric.ed.gov</a> Fuente de Internet	<1 %
37	<a href="http://www.scielo.org.co">www.scielo.org.co</a> Fuente de Internet	<1 %
38	Hernández García Gamaliel. "Procesamiento de la información para los permisionarios de energía eléctrica en la Dirección de Estadística y Balances Energéticos de la Secretaría de Energía", TESIUNAM, 2017 Publicación	<1 %
39	<a href="http://backend.aprende.sep.gob.mx">backend.aprende.sep.gob.mx</a> Fuente de Internet	<1 %

40	<a href="http://dokumen.pub">dokumen.pub</a> Fuente de Internet	<1 %
41	<a href="http://oceanrep.geomar.de">oceanrep.geomar.de</a> Fuente de Internet	<1 %
42	<a href="http://wilbert.kobv.de">wilbert.kobv.de</a> Fuente de Internet	<1 %
43	<a href="http://www.aeat.org">www.aeat.org</a> Fuente de Internet	<1 %
44	<a href="http://www.fao.org">www.fao.org</a> Fuente de Internet	<1 %
45	<a href="http://issuu.com">issuu.com</a> Fuente de Internet	<1 %
46	<a href="http://repositorio.udaff.edu.pe">repositorio.udaff.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
47	<a href="http://repositorio.undac.edu.pe">repositorio.undac.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
48	<a href="http://repositorio.unh.edu.pe">repositorio.unh.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
49	<a href="http://repositorio.unsa.edu.pe">repositorio.unsa.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
50	<a href="http://revistas.unal.edu.co">revistas.unal.edu.co</a> Fuente de Internet	<1 %
51	<a href="http://www.ccmss.org.mx">www.ccmss.org.mx</a> Fuente de Internet	<1 %

52	<a href="http://www.ceda.org.ec">www.ceda.org.ec</a> Fuente de Internet	<1 %
53	<a href="http://www.clubensayos.com">www.clubensayos.com</a> Fuente de Internet	<1 %
54	<a href="http://www.modularhomesetting.com">www.modularhomesetting.com</a> Fuente de Internet	<1 %
55	<a href="http://www.scielo.org.mx">www.scielo.org.mx</a> Fuente de Internet	<1 %
56	<a href="http://www.science.gov">www.science.gov</a> Fuente de Internet	<1 %
57	<a href="http://www.secs.com.es">www.secs.com.es</a> Fuente de Internet	<1 %
58	<a href="http://www.teacherstryscience.org">www.teacherstryscience.org</a> Fuente de Internet	<1 %
59	Philander. Encyclopedia of Global Warming and Climate Change Publicación	<1 %

Excluir citas

Activo

Excluir coincidencias Apagado

Excluir bibliografía

Activo

**ASESOR**

Ing. Geyner Heiner Amado Cadillo

**COASESOR**

Blgo. Eduardo Josué Oyague Passuni

## **AGRADECIMIENTOS**

La investigación tuvo un largo proceso, dentro de ello experimenté muchos aprendizajes que me llevo para mí vida. Concluirla no ha sido nada sencillo, sin embargo, este día puedo decir que he podido concluirla gracias a mis amigos, familiares e instituciones que siempre me brindaron su apoyo incondicional.

En primer lugar, inicio agradeciendo al Patronato de la Reserva Paisajística Nor Yauyos Cochas, por que hizo posible poder desarrollar la investigación y por las condiciones que me brindaron para así culminar la investigación. Junto a ello, a la gestión de la Coordinadora Ejecutora Carmela Landeo, quien facilitó la adquisición de los equipos para la investigación. Asimismo, a mi guía en todo este proceso, Blgo. Eduardo Oyague, asesor quien me apoyó con sus conocimientos y entusiasmo en todo este proceso. A mis compañeras de campo, Angela Baldoce y Janina Bonilla, quienes me apoyaron siempre, sin importar las fuertes lluvias o el abismal calor, y quienes desarrollan un papel importante a favor de la conservación.

Por último, no por ello menos importante, agradezco a mi familia, quienes son la fuente de mi energía y siempre están conmigo apoyándome para poder cumplir mis sueños.

## **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo a mi persona, por haber tenido la valentía, paciencia y voluntad de haber asumido un reto en mi vida y poder concluirlo.

Asimismo, dedico la presente investigación a mi madre Seumara C.G., abuela Angela G.L. y hermano Cesar V.C., que me brindaron su amor incondicional, fuerza y motivación en cada momento.

# ÍNDICE

<b>ASESOR</b> .....	ii
<b>AGRADECIMIENTOS</b> .....	iii
<b>DEDICATORIA</b> .....	iv
<b>ÍNDICE</b> .....	v
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	ix
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b> .....	xi
<b>RESUMEN</b> .....	xii
<b>ABSTRACT</b> .....	xiii
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	xiv
<b>CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO</b> .....	1
1.1. Planteamiento y formulación del problema .....	1
1.1.1. Planteamiento del problema.....	1
1.1.2. Formulación del problema.....	3
1.1.2.1. Problema general.....	3
1.1.2.2. Problemas específicos.....	3
1.2. Objetivos .....	4
1.2.1. Objetivo general .....	4
1.2.2. Objetivos específicos.....	4
1.3. Justificación e importancia.....	4
1.3.1. Justificación económica .....	4
1.3.2. Justificación ambiental .....	4
1.3.3. Justificación social.....	5
1.4. Hipótesis y descripción de variables .....	5
1.4.1. Hipótesis general.....	5
1.4.2. Hipótesis específicas.....	5
1.4.3. Identificación y operacionalización de variables.....	6

<b>CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO</b> .....	8
2.1. Antecedentes de la investigación.....	8
2.1.1. Antecedentes internacionales.....	8
2.1.2. Antecedentes nacionales.....	11
2.2. Bases teóricas.....	12
2.2.1. Humedales.....	12
2.2.1.1. Turbera.....	13
2.2.2. Captura y almacenamiento de carbono.....	16
2.2.3. Tasa de Eficiencia Neta del Ecosistema.....	16
2.3. Definición de términos básicos.....	17
<b>CAPÍTULO III: METODOLOGÍA</b> .....	20
3.1. Método y alcance de la investigación.....	20
3.1.1. Métodos de la investigación.....	20
3.1.1.1. Método general.....	20
3.1.2. Tipo de la investigación.....	20
3.1.3. Nivel de la investigación.....	21
3.2. Diseño de la investigación.....	21
3.3. Población y muestra.....	21
3.3.1. Población.....	21
3.3.2. Muestra.....	21
3.3.2.1. Almacenamiento de carbono.....	22
3.3.2.2. Tasa de Eficiencia Neta del Ecosistema.....	22
3.4. Descripción de la metodología.....	23
3.4.1. Descripción del área de estudio.....	23
3.4.2. Determinación de almacenamiento de carbono.....	28
3.4.2.1. Profundidades y volumen de turba.....	28
3.4.2.2. Interpolación de los datos de profundidad y estimación de turba almacenada.....	29

3.4.2.3.	Densidad aparente, materia orgánica (MO) y carbono (C) en muestras núcleo .....	30
3.4.2.4.	Estimación del almacenamiento de carbono total .....	32
3.4.3.	Determinación de la Tasa de Eficiencia Neta del Ecosistema (ENE).....	33
3.4.3.1.	Mediciones de flujo de CO <sub>2</sub> .....	36
3.4.3.2.	Cálculos de flujo de gas .....	37
3.4.3.3.	Descripción de la vegetación .....	38
3.4.3.4.	Pruebas estadísticas .....	38
3.5.	Técnicas e instrumentos de recolección de datos .....	38
3.5.1.	Técnicas de recolección de datos .....	38
3.5.2.	Instrumentos de recolección de datos .....	38
<b>CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>		<b>40</b>
4.1.	Resultados de la investigación .....	40
4.1.1.	Almacenamiento de carbono.....	40
4.1.1.1.	Profundidades y volumen de turba.....	40
4.1.1.2.	Densidad aparente, materia orgánica (MO) y carbono (C) en muestras núcleo .....	44
4.1.1.3.	Contenido de carbono (%).....	47
4.1.1.4.	Estimación del almacenamiento de carbono total .....	50
4.1.1.5.	Análisis estadístico para diferenciar turberas naturales y turberas artificialmente incrementadas para el almacenamiento de carbono.....	53
4.1.2.	Eficiencia Neta del Ecosistema .....	55
4.1.2.1.	Tablas de nivel de agua.....	55
4.1.2.2.	Mediciones de flujo de CO <sub>2</sub> .....	57
4.1.2.2.1.	Turberas naturales.....	57
4.1.2.2.2.	Turberas artificialmente incrementadas .....	59
4.1.2.3.	Análisis estadístico para diferencias turberas naturales y turberas artificialmente incrementadas .....	61
4.2.	Discusión de resultados.....	65

4.2.1. Carbono almacenado.....	65
4.2.2. Eficiencia Neta del Ecosistema.....	66
4.2.2.1. Nivel de agua.....	66
4.2.2.2. Mediciones de flujo de CO <sub>2</sub> .....	66
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>69</b>
<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>70</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>71</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>74</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Esquema de clasificación de humedales. ....	14
Figura 2. Ubicación y características del acrotelmo y catotelmo. ....	15
Figura 3. Climograma de precipitación y temperatura.....	25
Figura 4. Climograma de humedad relativa (HR) y radiación. ....	26
Figura 5. Muestra de las turberas analizadas en la época seca y época húmeda.....	27
Figura 6. Puntos de grillas de las turberas estudiados.....	29
Figura 7. Toma de profundidad de la turba, en los puntos de la grilla. ....	30
Figura 8. Muestras de Core almacenada en tubos de PVC.....	31
Figura 9. Turbera de Huachipampa. ....	34
Figura 10. Turbera de Huascaj. ....	34
Figura 11. Turbera de Tambo Real.....	35
Figura 12. Turbera de Chuspicocha.....	35
Figura 13. Mediciones de ENE en el mes de marzo. ....	36
Figura 14. Puntos de medición de ENE.....	37
Figura 15. Turbera de Huascaj se muestra la profundidad de la turba y donde se encuentran los puntos profundos.....	42
Figura 16. Turbera de Huachipampa se muestra la profundidad de la turba y donde se encuentran los puntos profundos.....	42
Figura 17. Turbera de Chuspicocha se muestra la profundidad de la turba y donde se encuentran los puntos profundos.....	43
Figura 18. Turbera de Tambo Real se muestra la profundidad de la turba y donde se encuentran los puntos profundos.....	43
Figura 19. Volumen total de turba (m <sup>3</sup> ) por profundidad (m) para las cuatro turberas estudiadas. ....	44
Figura 20. Diagrama de cajas de para los valores de densidad aparente, turberas estudiadas. ....	45
Figura 21. Modelo lineal para los valores de densidad aparente.....	46
Figura 22. Contenido de carbono (porcentual) en muestra de turba. ....	48
Figura 23. Modelo lineal para los valores de contenido de carbono.....	49
Figura 24. Masa de carbono almacenado total. ....	51
Figura 25. Equivalente de carbono (CO <sub>2</sub> eq).....	52
Figura 26. Prueba de t de student.....	55
Figura 27. ENE de Huachipampa y Huascaj. ....	57

Figura 28. ENE de Chuspicocha y Tambo Real. ....	60
Figura 29. Grafica de la prueba de Anderson-Darling - no normal. ....	62
Figura 30. Grafica de la prueba de Anderson-Darling - normal. ....	63
Figura 31. Prueba de t de Welch para la Tasa de Eficiencia Neta del Ecosistema.....	64

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Matriz de consistencia.....	7
Tabla 2. Muestras de estudio para la Tasa de Eficiencia Neta del Ecosistema. ....	22
Tabla 3. Muestras de turba analizadas en laboratorio. ....	32
Tabla 4. Apuntes de cuaderno de campo, equipos y materiales. ....	39
Tabla 5. Volumen de turba estimado por estratos de 0.5 metros en cada turbera.....	41
Tabla 6. Valores de densidad estimada (g/cc) e intervalo de confianza (95 %). ....	47
Tabla 7. Valor medio estimado e intervalo de confianza (superior e inferior) para el contenido porcentual de carbono. ....	49
Tabla 8. Masa e carbono almacenada a diferentes profundidades en las cuatro turberas del ámbito de estudio. ....	51
Tabla 9. Equivalente de carbono. ....	52
Tabla 10. Prueba de Anderson- Darling para las Turberas Naturales. ....	53
Tabla 11. Prueba de Anderson- Darling para las Turberas artificialmente incrementadas. ....	53
Tabla 12. Prueba de F-Snedecor.....	54
Tabla 13. Prueba de t de student.....	54
Tabla 14. Tabla de nivel freático. ....	56
Tabla 15. Características de la composición vegetal de las turberas evaluadas. ....	57
Tabla 16. Flujo de CO <sub>2</sub> en turberas naturales. ....	58
Tabla 17. Flujo de CO <sub>2</sub> en turberas artificialmente incrementados.....	60
Tabla 18. Prueba de Anderson-Darling para las turberas naturales.....	62
Tabla 19. Prueba de Anderson-Darling para las turberas artificialmente incrementadas. ....	63
Tabla 20. Prueba de F de Snedecor. ....	63
Tabla 21. Prueba de t de Welch.....	64

## RESUMEN

Se estudió el almacenamiento de carbono y la tasa de Eficiencia Neta del Ecosistema (ENE) en el distrito de Tanta, provincia de Yauyos, departamento de Lima. Por medio de artículos de investigación publicados, se reportan que los ecosistemas de turberas se estarían convirtiendo parcialmente en fuentes de carbono, por lo cual estarían contribuyendo al calentamiento global y al cambio climático. Para el desarrollo de esta investigación, se utilizó el método descriptivo, los datos fueron recolectados en temporadas diferentes, en la época seca (enero - noviembre del 2020) y en la época húmeda (marzo del 2021). Se identificaron la profundidad de las turberas, la densidad aparente, volumen de carbono total, el nivel de agua y tasa de Eficiencia Neta del Ecosistema (ENE).

Las turberas estudiadas fueron cuatro, dos de tipo natural (Huachipampa y Huascaj) y dos de tipo irrigada o artificialmente incrementada (Chuspicocha y Tambo Real). El estudio determinó que las turberas naturales tienen un almacenamiento de carbono mayor que las turberas irrigadas, Huachipampa presenta 15782.6 t, Huascaj 23219.1 t, Chuspicocha 6037.3 t y Tambo Real 5173.5 t. La tasa de Eficiencia Neta del Ecosistema fue mayor dentro de las turberas irrigadas respecto de las turberas naturales, sin embargo, la diferencia no es significativa y ambas turberas podrían sufrir cambios por el cambio climático.

**Palabras claves:** turberas, tasa de Eficiencia Neta del Ecosistema, densidad aparente, almacenamiento de carbono, catotelmo, nivel de agua, cobertura vegetal.

## ABSTRACT

Carbon storage and Net Ecosystem Efficiency (NEE) were studied in the district of Tanta, Yauyos province, Lima department. Research articles report that peatland ecosystems are partially becoming sources of carbon, contributing to global warming and climate change. For this research, a descriptive method was used and data was collected in different seasons, during the dry season (January - November 2020) and the wet season (March 2021). The depth of the peatlands, bulk density, total carbon volume, water level, and Net Ecosystem Efficiency (NEE) were identified.

Four peatlands were studied, two of which were natural (Huachipampa and Huascaj) and two were irrigated or artificially increased (Chuspicocha and Tambo Real). The study determined that natural peatlands have higher carbon storage than irrigated peatlands, with Huachipampa storing 15782.6 t, Huascaj storing 23219.1 t, Chuspicocha storing 6037.3 t, and Tambo Real storing 5173.5 t. The Net Ecosystem Efficiency was found to be higher in irrigated peatlands than in natural peatlands, but the difference was not significant, indicating that both types of peatlands may be experiencing some changes due to climate change.

**Keywords:** peat bogs, Net Ecosystem Efficiency, bulk density, carbon storage, catotelm, water level, vegetation cover.

# INTRODUCCIÓN

Las turberas son un tipo de humedal que se encuentran la mayor parte del tiempo saturadas de agua; tienen bastante acumulación de material orgánico y se encuentran en muchas zonas climáticas, hasta el momento se desconoce el área total de las turberas, sin embargo, existen muchos esfuerzos para determinar dicha área a través de proyectos. Las turberas estudiadas son de tipo minerotróficas, es decir, que son dependientes de agua subterránea (1).

Las turberas cumplen funciones ambientales muy importantes, como la conservación de especies, sumidero de CO<sub>2</sub> y reguladores hidrológicos. Las turberas estudiadas muestran un tipo de vegetación que es la *Distichia muscoides*, planta que generalmente representan a estos ecosistemas porque tienen un crecimiento vertical, de modo que la parte viva de la planta se desarrolla sobre sus propios restos, lo cual hace que se acumule la turba a través del tiempo (1).

Según investigaciones internacionales, se proyecta que estos ecosistemas sufrirían cambios significativos al estar enfrentando el cambio climático, donde los ecosistemas que se encontrarían a menor altitud podrían convertirse en fuentes de carbono debido al bajo nivel de la capa freática (2).

En dicho marco, el objetivo de la tesis es comparar si las turberas naturales y las artificialmente incrementadas tienen mayor almacenamiento de carbono y tasa de Eficiencia Neta del Ecosistema, para ello se recolectaron datos en campo y se determinó cómo se encuentran estos ecosistemas.

La tesis consta de los siguientes capítulos: en el Capítulo I se presenta el problema, objetivos generales y específicos, la justificación en un panorama social, ambiental y económico, y para finalizar se encuentran las hipótesis generales y específicas.

En el Capítulo II, se presenta el marco teórico con antecedentes internacionales y nacionales, los cuales tienen mucha relación con la investigación, además del marco conceptual.

En el Capítulo III se menciona el método, nivel, tipo y diseño de investigación; de la misma manera, se indica la población, muestra y técnicas que se usaron para la recolección de datos en campo, además se da a conocer el procedimiento.

En el Capítulo IV se exponen los resultados de investigación y la discusión con otros autores.

Por último, se dan a conocer las conclusiones, recomendaciones y referencias correspondientes para el desarrollo de la investigación.

La autora.

# CAPÍTULO I

## PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO

### 1.1. Planteamiento y formulación del problema

#### 1.1.1. Planteamiento del problema

Los humedales naturales ocupan entre el 4 a 6 % de la superficie terrestre (3); están compuestos por turbas las cuales son importantes para el mundo, porque contienen mucho más carbono orgánico que otros ecosistemas terrestres. Un tipo de humedal son las turberas, las cuales solo cubren el 3 % de la superficie terrestre, pero almacenan más carbono que todos los bosques de la tierra, si se mantienen húmedas (4).

Los equipos de trabajo de la International Peat Society (IPS) e International Mire Conservation Group (IMCG) definen a las turberas como áreas (con o sin vegetación) con una capa de turba acumulada de forma natural en la superficie, donde la turba está compuesta al menos del 30 % de materia orgánica de su peso seco y la característica de haberse acumulado *in situ*, es decir, en la zona. Asimismo, el agua tiene que encontrarse cerca de la superficie la mayor parte del año (5), sin embargo, el uso irracional de este importante tipo de humedal puede alterar los rasgos importantes de la turba para el almacenamiento de carbono a largo plazo; cabe señalar que algunas de las causas son el drenaje de las turbas que provocan la pérdida de carbono y suelo fértil, por ejemplo, a través de graves hundimientos del terreno (4).

Las turberas son un ecosistema en riesgo; el 15% de ellas se drenan para el pastoreo, la agricultura, la silvicultura y la minería, y su degradación contribuye de manera desproporcionada al cambio climático; otro 5 a 10 % de las turberas en todo el mundo se degradan a través de la eliminación o alteración de la vegetación. El desarrollo de la infraestructura es otro impulsor de la disminución de las turberas (6).

El Perú, a través del Ministerio del Ambiente (MINAM), elaboró la Guía de evaluación del estado de los ecosistemas de bofedal, donde considera al bofedal como un ecosistema andino hidro mórfo con vegetación herbácea de tipo hidrófila, que se presenta en los Andes sobre suelos planos, en depresiones o ligeramente inclinados, permanentemente inundados o saturados de agua corriente; los suelos orgánicos pueden ser profundos (turba) y ocupan el 0.42 % del territorio peruano (7). Conociendo las características de los bofedales, algunos cumplen los requisitos para ser consideradas turberas, lo cual resulta de un proceso de captación de carbono atmosférico (CO<sub>2</sub>) que viene ocurriendo durante miles de años.

Aún no es claro cómo estas turberas están respondiendo al cambio climático, provocado por el calentamiento global a causa del incremento de los gases de efecto invernadero (GEI). Así pues, es posible que las turberas que se encuentren en altitudes más bajas (menores a 2500 msnm) sean particularmente más susceptibles a los cambios, puesto que las variables hidrológicas son alteradas por el aumento de la temperatura; dicho de otra forma, los efectos del cambio climático actual afectarían en el balance de carbono de las turberas, invirtiendo la dinámica de carbono, que se encontrarían liberando dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) o metano (CH<sub>4</sub>) a causa de las pérdidas incrementadas de agua por evapotranspiración (2).

La cuenca alta del río Cañete, está ubicada en una zona sensible al cambio climático (4000 msnm) (8), sin embargo, presenta una serie de ventajas comparadas con otras regiones del país: (i) presenta una mayor disponibilidad hídrica que otros sectores de los Andes peruanos (9); (ii) la unidad hidrográfica se encuentra dentro de los límites de la Reserva Paisajística Nor Yauyos - Cochabamba (RPNYC); (iii) las comunidades locales cuentan con una cultura rica en conocimiento (aunque seriamente deteriorada, respecto al manejo de las turberas) de recursos hídricos y

vegetación (con fines de pastoreo), lo que permite reducir la carga ganadera sobre humedales naturales con gran capacidad de captura de carbono; y (iv) casi toda la fisiografía del ámbito de estudio, corresponde a una antigua área glacial, por lo que los valles y las laderas tienen una configuración ideal para el desarrollo de turberas profundas con una gran capacidad de almacenamiento de carbono bajo el nivel del suelo.

En la Reserva Paisajística Nor Yauyos Cochas existen turberas naturales, aquellas que no han sido intervenidas de ninguna manera por la mano del hombre, y turberas artificialmente incrementadas, aquellas que han sido intervenidas por la mano del hombre, por ejemplo, a través de la construcción de canales de riego para tener agua de forma constante, sin embargo, se desconoce el estado actual en que se encuentran respecto del almacenamiento de carbono y la tasa de Eficiencia Neta del Ecosistema de las turberas naturales (Huachipampa y Huascaj) y artificialmente incrementados (Chuspicocha y Tambo Real).

#### 1.1.2. Formulación del problema

##### 1.1.2.1. Problema general

¿Existen diferencias en el almacenamiento y la dinámica de carbono entre turberas naturales y artificialmente incrementadas en la Reserva Paisajística Nor Yauyos Cochas?

##### 1.1.2.2. Problemas específicos

- ¿Qué cantidad de carbono almacenan las turberas naturales (Huachipampa y Huascaj) y artificialmente incrementadas (Chuspicocha y Tambo Real)?
- ¿Cuál es la tasa de Eficiencia Neta del Ecosistema (ENE) de las turberas naturales (Huachipampa y Huascaj) y artificialmente incrementadas (Chuspicocha y Tambo Real)?

## 1.2. Objetivos

### 1.2.1. Objetivo general

Determinar las diferencias en el almacenamiento y la dinámica de carbono entre turberas naturales y artificialmente incrementadas en la Reserva Paisajística Nor Yauyos Cochas.

### 1.2.2. Objetivos específicos

- Cuantificar la cantidad de carbono almacenado en turberas naturales (Huachipampa y Huascaj) y artificialmente incrementadas (Chuspicocha y Tambo Real).
- Calcular la tasa de Eficiencia Neta del Ecosistema (ENE) en las turberas naturales (Huachipampa y Huascaj) y artificialmente incrementadas (Chuspicocha y Tambo Real).

## 1.3. Justificación e importancia

### 1.3.1. Justificación económica

La investigación es viable, porque se viene trabajando en conjunto con el Patronato de la Reserva Paisajística Nor Yauyos Cochas y el Centro de Ornitología Biodiversidad (CORBIDI), los cuales financiaron los gastos logísticos en la investigación, además que se contó con especialistas en el tema e información disponible de investigaciones con metodologías similares que se desarrollaron en otros países.

### 1.3.2. Justificación ambiental

La investigación aporta de manera positiva a la Reserva Paisajística Nor Yauyos Cochas (RPNYC), al área de las turberas y a la misma población

en el ámbito económico, social y ambiental, enfocándose a solucionar grandes problemas como la mala gestión de los recursos hídricos y la intervención inadecuada del hombre en estos ecosistemas, Asimismo, contribuye a reducir las emisiones de carbono y así combatir contra el cambio climático.

### 1.3.3. Justificación social

La investigación es de gran importancia para la comunidad científica, porque aporta conocimientos sobre las turberas altoandinas, ya que es un campo poco estudiado en nuestro país, asimismo, permite que las comunidades aledañas al área de estudio, comprendan mejor el sistema y puedan contribuir con la conservación de estos espacios mediante la propuesta.

## 1.4. Hipótesis y descripción de variables

### 1.4.1. Hipótesis general

H<sub>0</sub>: Las turberas naturales y artificialmente incrementados no presentan diferencias en cuanto el almacenamiento de carbono y tasa de Eficiencia Neta del Ecosistema (ENE).

H<sub>a</sub>: Las turberas naturales y artificialmente incrementados presentan diferencias en cuanto el almacenamiento de carbono y la tasa de Eficiencia Neta del Ecosistema (ENE).

### 1.4.2. Hipótesis específicas

- Las turberas naturales (Huachipampa y Huascaj) presentan mayor carbono acumulado, que las artificialmente incrementadas (Chuspicocha y Tambo Real) (10).

- Debido a la permanente provisión de agua, las turberas artificialmente incrementadas (Chuspicocha y Tambo Real) presentan una mayor tasa de Eficiencia Neta del Ecosistema, que las turberas naturales (Huascaj y Huachipampa).

#### 1.4.3. Identificación y operacionalización de variables

- a. Variable dependiente:
  - i. Composición vegetal.
  - ii. Disponibilidad de agua.
- b. Variable independiente:
  - i. Tasa de Eficiencia Neta del Ecosistema (ENE).
  - ii. Cantidad de carbono almacenado.

Tabla 1. *Matriz de consistencia.*

Título de la investigación: Almacenamiento de carbono y tasa de Eficiencia Neta de Ecosistemas en turberas, dentro de la Reserva Paisajística Nor Yauyos Cochas.				
Problemas	Objetivos	Hipótesis	Variables	
<p>Problema general:</p> <p>¿Existen diferencias en el almacenamiento y la dinámica de carbono entre turberas naturales y artificialmente incrementadas en la Reserva Paisajística Nor Yauyos Cochas?</p>	<p>Objetivo general:</p> <p>Determinar las diferencias en el almacenamiento y la dinámica de carbono entre turberas naturales y artificialmente incrementadas en la Reserva Paisajística Nor Yauyos Cochas.</p>	<p>Hipótesis general:</p> <p>*H<sub>0</sub>: Las turberas naturales y artificialmente incrementados no presentan diferencias en cuanto el almacenamiento de carbono y tasa de Eficiencia Neta del Ecosistema (ENE).</p> <p>*H<sub>a</sub>: Las turberas naturales y artificialmente incrementados presentan diferencias en cuanto el almacenamiento de carbono y la tasa de Eficiencia Neta del Ecosistema (ENE).</p>	<p><b>Variable independiente</b></p>	<p><b>Dimensiones</b></p>
			Composición vegetal	Especies dominantes.
			Disponibilidad de agua	Nivel de la tabla de agua.
<p>Problemas específicos:</p> <p>*¿Qué cantidad de carbono almacenan las turberas naturales (Huachipampa y Huascaj) y artificialmente incrementadas (Chuspicocha y Tambo Real)?</p> <p>*¿Cuál es la tasa de Eficiencia Neta del Ecosistema (ENE) de las turberas naturales (Huachipampa y Huascaj) y artificialmente incrementadas (Chuspicocha y Tambo Real)?</p>	<p>Objetivos específicos:</p> <p>*Cuantificar la cantidad de carbono almacenado en turberas naturales (Huachipampa y Huascaj) y artificialmente incrementadas (Chuspicocha y Tambo Real).</p> <p>* Calcular la tasa de Eficiencia Neta del Ecosistema (ENE) en las turberas naturales (Huachipampa y Huascaj) y artificialmente incrementadas (Chuspicocha y Tambo Real).</p>	<p>Hipótesis específicas:</p> <p>*Las turberas naturales (Huachipampa y Huascaj) presentan mayor carbono acumulado, que las artificialmente incrementadas (Chuspicocha y Tambo Real) (10).</p> <p>*Debido a la permanente provisión de agua, las turberas artificialmente incrementadas (Chuspicocha y Tambo Real) presentan una mayor tasa de Eficiencia Neta del Ecosistema, que las turberas naturales (Huascaj y Huachipampa).</p>	<p><b>Variable dependiente</b></p>	<p><b>Dimensiones</b></p>
			Cantidad de carbono almacenado	Densidad aparente, materia orgánica (MO), cantidad de carbono por gramo de MO.
			Tasa de Eficiencia Neta del Ecosistema (ENE)	Respiración (R), Productividad Primaria Bruta (PPB)

Fuente: elaboración propia.

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### 2.1. Antecedentes de la investigación

##### 2.1.1. Antecedentes internacionales

En el artículo científico titulado “Las turberas de montaña van desde sumideros de CO<sub>2</sub> en elevaciones altas hasta fuentes en elevación bajas: Implicaciones para un clima cambiante”, tuvo por objetivos: 1) identificar tendencias entre la Eficiencia Neta del Ecosistema (ENE) de la temporada de crecimiento en los pantanos de montaña y las condiciones climáticas e hidrológicas de la temporada de crecimiento, 2) usar estas tendencias para inferir cómo estos ecosistemas pueden estar cambiando en respuesta al clima y 3) comparar ENE entre comunidades de plantas de cercas de montaña que ocurren en los extremos alto y bajo de su rango de elevación, y en regiones con diferente influencia del monzón. La investigación conduce a averiguar cómo están respondiendo las turberas minerotróficas al cambio climático, para ello se desarrollaron modelos empíricos sobre la dinámica del carbono, para comprobar si estas montañas que se encuentran a una altitud baja son susceptibles a los cambios porque los ciclos hidrológicos y climáticos. Se concluye que las turberas que se encuentran a elevaciones más bajas están siendo afectadas por el cambio climático y las turberas que se encuentran en elevaciones más altas son poco susceptibles al cambio climático. Asimismo, ENE para las turberas

de baja elevación, son bajas en comparación de las turberas ubicadas en elevaciones más altas (2).

En el artículo científico titulado “Almacenamiento de carbono y tasa de acumulación a largo plazo en turberas andinas de gran altitud de Bolivia”, se tuvo por objetivo cuantificar las reservas de carbono, las edades basales y las tasas de acumulación de turba a largo plazo. La investigación fue realizada en dos turberas al noreste de Bolivia, llamados Manayasa y Tuni en los cuales, se quiere demostrar una mejor comprensión de la dinámica de carbono de las turberas de montaña, ya que existen incertidumbres sobre el almacenamiento del carbono de diferentes tipos de humedales en todo el mundo y su acelerada degradación de estos. El estudio contribuye enseñando que estas turberas estudiadas todavía contienen grandes reservas de suelo de carbono. Donde en Manayasa se obtiene una edad California 3675 años BP en 5 m de profundidad y su acumulación de C es de 1.040 Mg/ha con una tasa de acumulación a largo plazo (LARCA) de 47 g/m<sup>2</sup>\*yr. En Tuni se obtuvo una edad basal de California 2560 años BP en 5.5 m de profundidad y su acumulación de carbono es de 572 Mg/ha con una tasa de acumulación de largo plazo (LARCA) de 37 g/m<sup>2</sup>\*yr (10).

En el artículo científico titulado “El efecto de los niveles de la capa freática y la restauración de zanjas a corto plazo en el ciclo del carbono de las turberas de montañas en la Cordillera Blanca, Perú”, se plantearon como objetivos de estudio evaluar: \*cómo el ciclo del carbono varía a lo largo de una gradiente de la capa freática causado por la zanja drenada, y \*\*cómo cambia el ciclo del carbono a corto plazo después de la restauración de la zanja drenada en una turba de plantas de colchón. El estudio conduce a mostrar la relación de la capa freática y el ciclo del carbono según el tipo de vegetación, asimismo verificar si el cambio climático estaría afectando a estos ecosistemas, como se ha venido presentado en estas últimas décadas, por lo que esto generaría la pérdida de carbono por secado. Para determinar los objetivos se utilizó métodos de cámara estática, en el cual se comprobó que en condiciones de alto drenaje la Eficiencia Neta del Ecosistema (ENE) fue mayor ( $1.07 \pm 0.06$  vs  $0.76 \pm 0.11$  g CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>\*h), y la composición de luz el punto de pensión para la absorción de CO<sub>2</sub> fue menor. Los flujos de gas fueron relativamente estables en la

rehumectación, con pequeñas respuestas positivas de ENE a niveles freáticos crecientes. La emisión de metano (CH<sub>4</sub>) promedio fue  $2.76 \pm 1,06$  mg CH<sub>4</sub>/m<sup>2</sup>\*día, con flujo negativo en las capas freáticas bajo 10 cm de profundidad, por lo que se concluye indicando que las turberas sin drenaje seguirían secuestrando carbono atmosférico, mientras que las turberas muy drenadas probablemente se estarían convirtiendo en fuentes de carbono, y las turbas que fueron rehumedecidas habrían aumentado de forma positiva la capacidad de almacenar carbono para condiciones de referencia sin drenaje. Además, debemos considerar que el abandono de turberas probablemente aumentará su susceptibilidad a los efectos negativos del cambio climático y la restauración hidrológica podría moderar estos impactos (11).

En el artículo científico titulado "*Drivers of peatland water table dynamics in the Central Andes, Bolivia*" se planteó algunas preguntas para desarrollar la investigación: \*¿cuál es el papel de la descarga de agua subterránea en laderas vs el flujo de la corriente en las turbas andinas de apoyo en los valles con y sin glaciares; y \*\*¿cuál es el período estacional, anual y de largo plazo en las profundidades del nivel freático en estas turbas? El estudio pretende demostrar que las turbas de montaña estarían siendo afectadas por el cambio climático como lo que está sucediendo actualmente con los glaciares, asimismo darle importancia como lo dan a la falta de agua de las poblaciones humanas y la agricultura. También comenta que existen pocos estudios donde se relaciona a la hidrología de estos ecosistemas, como si serían abastecidos por los glaciares o por aguas subterráneas de las laderas que los rodean. Los resultados del estudio indican que el conjunto de las 10 turberas analizadas está siendo abastecidas por aguas subterráneas de las laderas y siendo recargadas por la precipitación (12).

En el artículo científico titulado "*Peatland and Carbon release : Why small-scale process matters*", se precisa que las turberas cumplen una función importante para la captura de carbono en suelo, sin embargo, esto podría cambiar de forma negativa si estos estarían siendo alterados por el cambio climático y la variabilidad del agua debido a que este elemento impulsa el almacenamiento y el flujo de carbono, no obstante, al no tener las

condiciones necesarias estos procesos a pequeña escala estarían provocando e intensificando impactos globales a través de la liberación de carbono terrestre. Además, este problema de los impactos de la perturbación en la turba puede ser irreversible, al menos en escalas de tiempo humano. Así también, se dice en algunas circunstancias, la restauración de las turberas puede conducir a una pérdida de carbono exacerbada. Esto también será importante si se decide empezar a crear turberas para contrarrestar la amenaza de la mejora carbono atmosférico (13).

#### 2.1.2. Antecedentes nacionales

En el artículo científico titulado "*An introduction to the bofedales of the Peruvian High Andes*", se precisa que, en el Perú, el término "bofedales" se utiliza para describir áreas de vegetación de humedales que pueden tener capas de turba subyacente. Además, que el artículo se basa en más de seis años de trabajo sobre bofedales en varias regiones del Perú, donde se describe el tipo de vegetación, los mamíferos, aves y anfibios que habitan en estos ecosistemas y el análisis de estudios más recientes de turba y almacenamiento de carbono en bofedales. Asimismo, da a conocer que las áreas cubiertas por turberas siempre están rodeadas de praderas de arroyo o praderas de turba que la combinación podría deberse por factores de variabilidad de agua o la presión de ganado y que habría pocos estudios sobre la profundidad o características de la turba en los bofedales peruanos.

También precisa que en estos bofedales se aplicaría algunas técnicas de riego que beneficiarían pastoreo tradicional, pero también a ecosistema ya que estos tendrían agua tanto en las épocas secas y húmedas a partir de desviaciones de agua por intermedio de canales (14).

En la tesis titulada "Variabilidad de factores hidrológicos e hidráulicas en cuatro turberas de los Andes centrales", se comenta que las turberas son ecosistemas complejos, importantes por la provisión de una serie de servicios, en particular su alta capacidad de captura de carbono y

almacenamiento de carbono y que básicamente todo sucede gracias a una planta que se distingue porque tiene una forma muy particular de crecer, su crecimiento de dicha planta es vertical, de modo que la parte viva de la planta se desarrolla sobre sus propios restos, lo que luego se constituye parte de la turba. Además, que se descomponen de forma lenta por su permanente saturación de agua la cual define una segregación vertical con dos horizontes claramente diferenciados: acrotelmo y catotelmo. Por otro lado, se precisa que el balance neto entre tasas de productividad y respiración, se denomina Eficiencia Neta del Ecosistema (ENE), esto se define si tiene la capacidad para capturar C, desde la atmósfera y almacenarlo de forma de turba o si actúa como fuente, liberando CO<sub>2</sub> y CH<sub>4</sub>. El estudio muestra que las turberas estudiadas permanentes a la parte Andina, serían dependientes de agua subterránea y que las lluvias solo recargarían en las en los periodos de lluvia, asimismo que, el descenso pronunciado de agua en el acrotelmo provocaría que se incremente una descomposición más rápida, lo cual provocaría una reducción en la tasa de crecimiento de la turba que llegaría a tener una eficiencia neta negativa, convirtiendo el sistema de uno que captura CO<sub>2</sub> y CH<sub>4</sub>, y en uno que libere (1).

## 2.2. Bases teóricas

### 2.2.1. Humedales

Existen muchas definiciones para los humedales, con diferentes objetivos científicos. Según la norma canadiense (15), se establece una definición basada a las características ecológicas e hidrológicas: “superficie del terreno que presenta condiciones de saturación por el tiempo suficiente para promover procesos típicos de suelos pobremente drenados, vegetación hidrofítica y actividad biológica y química adaptada a condiciones de humedad”. Este trabajo está utilizando la clasificación general de humedales propuesto por Rydin y Jeglum (5), citados también por Oyague (1), en el cual comentan que dicha clasificación tiene que poseer tres características ambientales importantes: 1) presencia de una

capa de turba (turberas - prados/pantanos), 2) humedecimiento, y 3) el gradiente complejo que incluye la variación en el pH, saturación de bases y disponibilidad de nutrientes.

#### 2.2.1.1. Turbera

Las turberas se definen como humedales que han acumulado horizontes espesos de materia orgánica (turba) y se conocen regionalmente como bofedales (16).

Las turberas se clasifican de acuerdo con la fuente dominante de agua (precipitación o agua subterránea), considerando patrones de variación en factores hidro-ecológicos y gradientes ambientales, según proponen Oyague (1) y Holden (13).

Las turberas dependientes de agua subterránea, o minerotróficas, se encuentran entre los humedales más comunes, según proponen Oyague (1) y Cooper *et al.* (12). En la Cordillera Blanca, una de las cadenas montañosas más importantes de los Andes tropicales (17), se identificaron cuatro tipos de humedales, el más abundante de ellos son las turberas minerotróficas de plantas almohadilladas (aprox. 60 por ciento de todos los humedales identificados) (1).

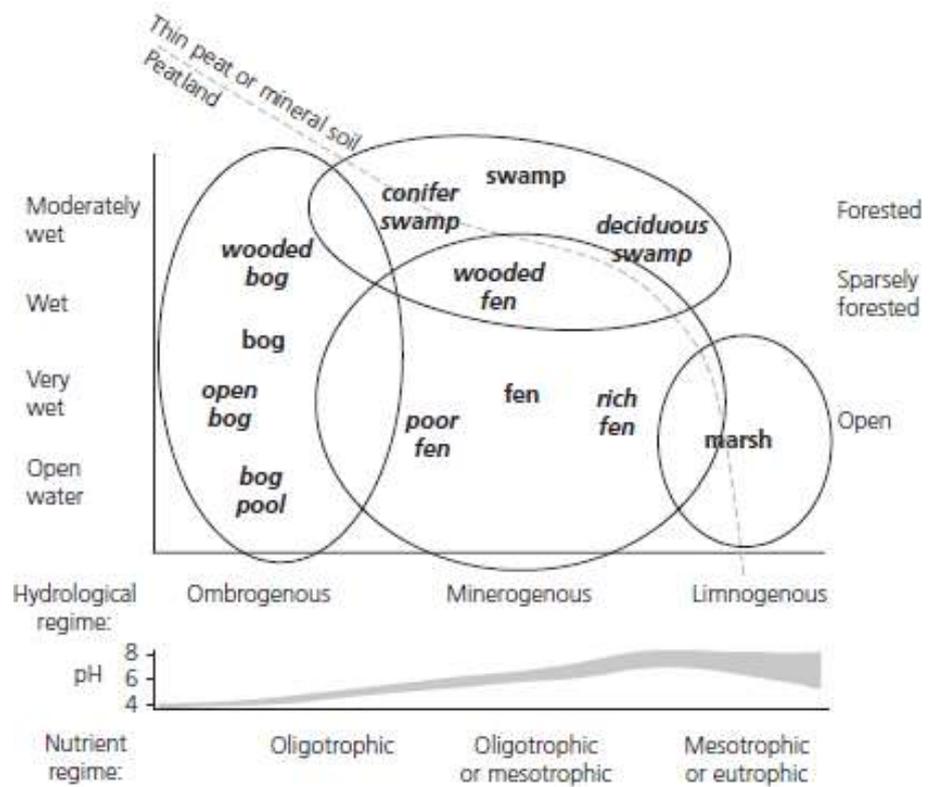


Figura 1. Esquema de clasificación de humedales.

Fuente: Rydin y Jeglum (5).

Las turbas minerotróficas que son dependientes de la estabilidad en la provisión del agua subterránea, y experimentan pérdidas por evapotranspiración. Ambos procesos se hacen más relevantes cuanto más se incrementa la temperatura del aire y el suelo, aun cuando la cantidad total de precipitación anual no varíe (1).

Asimismo, al ser sensibles a cambios hidrológicos, climáticos y desequilibrio de sustratos, este desequilibrio en las condiciones ambientales convertiría a las turberas en fuentes de carbono y quizás en uno de los mayores emisores de metano (CH<sub>4</sub>) (18).

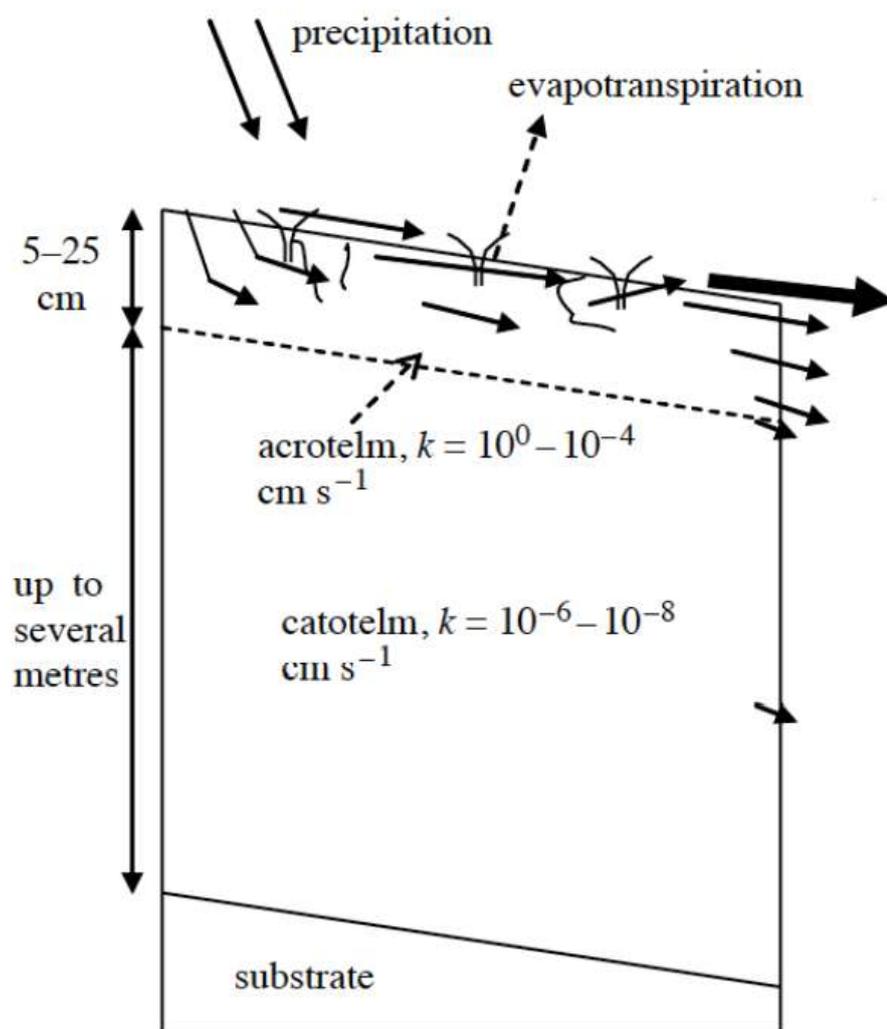


Figura 2. Ubicación y características del acrotelmo y catotelmo.

Fuente: Holden (13).

La estabilidad en la provisión de agua define dos horizontes claramente diferenciados (13):

- Acrotelmo: horizonte superior, el límite inferior hace referencia al nivel mínimo de agua de la tabla de agua subterránea durante un año hidrológico. Aquí ocurren muchos procesos, como la descomposición aeróbica de la materia orgánica, la liberación de  $\text{CO}_2$  y el intercambio de activo de nutrientes (1).
- Catotelmo: horizonte inferior, donde se encuentra permanentemente saturado y con poca o casi nula

disponibilidad de oxígeno. Ocurre el proceso de descomposición anaeróbica, por el cual es más lento y su producto final es el metano (1).

Otra de las características de las turberas andinas es la presencia de una especie dominante de planta, que suele presentar un patrón de crecimiento vertical, de modo que la parte vida de la planta utiliza sus restos el cual se convierte en turba en algún periodo.

### 2.2.2. Captura y almacenamiento de carbono

Se calcula que las turberas contienen al menos 550 Gt de carbono, es decir, casi el doble de la cantidad almacenada en los bosques del planeta. No obstante, al drenar las turberas se liberan cantidades enormes de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), por lo que su restauración es sumamente importante para mitigar el cambio climático (4).

La capacidad de almacenar carbono de las turberas está relacionada directamente con la estabilidad hídrica subterránea. El balance neto entre el ingreso y la salida (liberación) de compuestos que contienen carbono ( $\text{CO}_2$  y  $\text{CH}_4$ ) depende de la relación entre el espesor del acrotelmo y el catotelmo, así como de las tasas diferenciales de productividad primaria, respiración y descomposición (1, 13).

La captura de carbono debería ser investigada en base a la tasa de Eficiencia Neta del Ecosistema. Es bueno considerar la dimensión del tiempo, porque permitirá conocer si el ecosistema tiene una eficiencia positiva (captura de carbono) o si la eficiencia es negativa y, por lo tanto, el carbono almacenado es descompuesto a una tasa mayor que la captura y el sistema se convierte en un gran liberador de  $\text{CO}_2$  o  $\text{CH}_4$  hacia la atmósfera (1, 13).

### 2.2.3. Tasa de Eficiencia Neta del Ecosistema

El balance neto entre las tasas de productividad primaria versus respiración y descomposición (generalmente consideradas como un solo término), se denomina tasa de Eficiencia Neta del Ecosistema (ENE) y es descrito por la siguiente ecuación (1):

$$ENE = PPB - (R + \alpha)$$

Donde:

\*ENE: Eficiencia Neta del Ecosistema.

\*PPB: productividad primaria bruta (consumo/captura de CO<sub>2</sub> a través de la fotosíntesis).

\*R: respiración (emisión de CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> y otros compuestos de C).

\*α: otros procesos que pueden contribuir con pérdida de carbono (herbívora).

La tasa de Eficiencia Neta del Ecosistema (ENE) define si el este tiene la capacidad para capturar carbono desde la atmósfera y almacenarlo en forma de turba, o si actúa como una fuente, liberándolo en forma de CO<sub>2</sub> o CH<sub>4</sub>. Entre otros factores importantes, la Eficiencia Neta del Ecosistema (ENE) es fuertemente influenciada por la cantidad de agua disponible y su estabilidad en el tiempo (1, 13).

### 2.3. Definición de términos básicos

- a) Bofedales: conocido así regionalmente, es un ecosistema andino hidromórfico con vegetación herbácea de tipo hidrófila, que se presenta en los Andes, sobre suelos planos, en depresiones o ligeramente inclinados, permanentemente inundados o saturados de agua corriente; los suelos orgánicos pueden ser profundos (turba). Su vegetación es densa y compacta siempre verde, de porte almohadillado o en cojín; la fisonomía de la vegetación corresponde a herbazales de 0.1 a 0.5 metros. Este tipo de ecosistema es considerado un humedal andino (6) Otras definiciones reconocen como bofedales también a zonas inundadas estacionalmente, y a áreas en las que no hay dominancia de vegetación de cojín (14). En muchas partes del país estos ecosistemas son conocidos como “oconales”, que en quechua significa “zona húmeda” (14).

- b) Ciclo de carbono: es un ciclo biogeoquímico, por el cual el carbono se intercambia entre la biosfera, la litosfera, la hidrosfera y la atmósfera de la Tierra. Por ende, el carbono circula a través de los océanos, de la atmósfera, de la superficie y el interior terrestre, en un gran ciclo biogeoquímico. El ciclo del carbono está constituido por cuatro reservorios principales de carbono interconectados por rutas de intercambio. Los reservorios son la atmósfera, los océanos (que incluyen el carbono inorgánico disuelto, los organismos marítimos y la materia no viva), los sedimentos (que incluyen los combustibles fósiles), la biosfera terrestre (que, por lo general, incluye sistemas de agua dulce y material orgánico no vivo, como el carbono del suelo). Los movimientos anuales de carbono entre reservorios ocurren debido a varios procesos químicos, físicos, geológicos y biológicos. El dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), también conocido como bióxido de carbono y anhídrido carbónico, es uno de los gases responsable del efecto invernadero, un proceso natural que permite que la temperatura de la tierra se mantenga, sin embargo, el exceso de  $\text{CO}_2$ , ocasiona una intensificación del efecto invernadero. En la actualidad, el exceso de  $\text{CO}_2$  modifica en balance final del ciclo de carbono, influyendo directamente sobre las condiciones climáticas. El ciclo básico comienza cuando las plantas, toman el dióxido de carbono de la atmósfera, el cual, es absorbido y convertido en azúcar, por el proceso de fotosíntesis. Los animales comen plantas y al descomponer los azúcares dejan salir el carbono a la atmósfera, a los océanos o el suelo. Las bacterias y hongos descomponen las plantas muertas y la materia animal, devolviendo carbono al medio ambiente. El carbono también se intercambia entre los océanos y la atmósfera. Esto sucede en ambos sentidos en la interacción entre el aire y el agua. En el libro “Situación de los bosques del mundo” (FAO), se menciona que los ecosistemas terrestres inciden de forma notable en el ciclo mundial del carbono. Se estima en 125 000 millones de toneladas la cantidad de carbono que se intercambia anualmente entre la vegetación, los suelos y la atmósfera, cantidad que equivale a los dos quintos del intercambio total de carbono entre la tierra y la atmósfera.
- c) Eficiencia Neta del Ecosistema: es el balance neto entre las tasas de productividad primaria versus respiración y descomposición (generalmente consideradas como un solo termino).
- d) Humedales: son “ni tierras firmes” en el sentido convencional, ni cuerpos de aguas abiertas; de ahí que ocupen una posición de transición entre la tierra y

agua. Los ecosistemas que se desarrollan en esas tierras están dominados por la persistente presencia de exceso de agua. Los humedales incluyen costas, marismas, pantanos, pantanos y pantanos. Científicamente, se puede caracterizar el humedal por los siguientes puntos: 1) por el nivel freático y 2) por la cercanía a la superficie.

- e) Turba: son los restos de componentes vegetales y animales que se acumulan bajo más o menos agua saturada condiciones debidas a una descomposición incompleta. Es el resultado de condiciones anóxicas, baja capacidad de descomposición del material vegetal y otros complejos causas. La turba es material orgánico que se ha formado en el lugar, es decir, como sedentario. material, en contraste con los depósitos sedimentarios acuáticos. Planta bastante diferente Los materiales pueden estar involucrados en el proceso de formación de turba, por ejemplo, partes leñosas, hojas, rizomas, raíces y briofitas (en particular, turba de *Sphagnum* -musgos-). La mayor parte del material se origina por encima del suelo como fotosintético. materia orgánica, y se deposita como basura en la superficie para ser enterrada por nuevas capas de basura, sin embargo, parte del fotosintato se traslada a las raíces o rizomas debajo que eventualmente mueren y se agregan a la turba, y una cierta fracción del material vegetal muerto es reciclada por invertebrados, bacterias y hongos, antes de que también mueran y se agreguen al material de turba.
- f) Turbera: es un término que se utiliza para abarcar terrenos cubiertos de turba y, por lo general, un se requiere una profundidad mínima de turba para que un sitio sea clasificado como turbera. En Canadá, el límite es de 40 cm (15), pero en muchos países y en el área de turberas estadísticas del International Mire grupo de conservación mide 30 cm (19). Para propósitos de claridad y uniformidad, se utilizón 30 cm para definir la turbera.

## **CAPÍTULO III**

### **METODOLOGÍA**

#### 3.1. Método y alcance de la investigación

##### 3.1.1. Métodos de la investigación

###### 3.1.1.1. Método general

El método general que se utilizó en la investigación fue descriptivo transversal o transeccional, donde la toma de muestra se realizó en los meses de enero del 2020, noviembre del 2020 y febrero del 2021, y con el análisis de estos datos se determinó el almacenamiento de carbono y la tasa de Eficiencia Neta del Ecosistema (ENE) (20).

##### 3.1.2. Tipo de la investigación

Se está considerando el tipo de investigación básica o pura, porque se inició a investigar desde una curiosidad científica de la vida natural, que son las turberas, y así proporcionar información acerca de estos ecosistemas para incrementar el conocimiento de cómo estas están siendo afectadas por el nivel de agua, cambio climático u otras variables (20).

### 3.1.3. Nivel de la investigación

Descriptivo: en la investigación se registró el almacenamiento de carbono y la Eficiencia Neta del Ecosistema (ENE) en 2 turberas naturales y 2 turberas artificialmente incrementadas para determinar si en estas hay alguna diferencia respecto a la cantidad de carbono y la eficiencia actual de captura de carbono (20).

### 3.2. Diseño de la investigación

En esta investigación se abordó un diseño no experimental, porque se observaron los fenómenos en su ambiente natural sin ninguna intervención para analizarlos, es decir, en las variables de investigación se observan las variaciones de la Eficiencia Neta del Ecosistema (ENE) y el almacenamiento de carbono en las turberas, naturales o artificialmente incrementados (20).

### 3.3. Población y muestra

#### 3.3.1. Población

La población evaluada comprendió a las turberas de tipo natural: Huascaj (35.24 Ha) y Huachipampa (30.44 Ha), y artificialmente incrementados: Chuspicocha (27.40 Ha) y Tambo Real (14.97 Ha), dentro de la Reserva Paisajística Nor Yauyos Cochabamba (RPNYC).

#### 3.3.2. Muestra

La muestra contempló la proporción de suelo que fue evaluado dentro las cuatro turberas, las cuales son: Huascaj, Huachipampa, Chuspicocha y Tambo Real, ubicados dentro de la Reserva Paisajística Nor Yauyos Cochabamba.

### 3.3.2.1. Almacenamiento de carbono

Las muestras para el almacenamiento de carbono fueron los puntos de las grillas presentadas en la figura 5. Asimismo, para la determinación de la densidad aparente y del carbono porcentual, se efectuó por medio de 24 muestras de “Core”.

### 3.3.2.2. Tasa de Eficiencia Neta del Ecosistema

Tabla 2. Muestras de estudio para la Tasa de Eficiencia Neta del Ecosistema.

TURBERA	ALMACENAMIENTO DE CARBONO			EFICIENCIA NETA DEL ECOSISTEMA (ENE)	
	Tipo	Ha	N° Grillas	Coordenadas UTM	
				Este	Norte
Huachipampa (A)	Natural	30.44	199	384004	8668929
				384060	8668565
				384082	8668413
				384468	8668193
Huascaj (B)	Natural	35.24	135	393255	8662034
				392916	8662288
				395225	8662054
				392309	8662683
Tambo Real (C)	Irrigada o artificialmente incrementada	14.97	61	388422	8665455
				388879	8665297
				389489	8665583
				389995	8665494
Chuspicocha (D)	Irrigada o artificialmente incrementada	27.40	74	391844	8657968
				391350	8658247
				390967	8658194
				390557	8658423

Fuente: elaboración propia.

### 3.4. Descripción de la metodología

#### 3.4.1. Descripción del área de estudio

La presente investigación se realizó en la Reserva Paisajística Nor Yauyos Cochas (RPNYC), en 2 turberas naturales, Huachipampa, Huascaj, y 2 turberas artificialmente incrementadas mediante canales de irrigación, Chuspicocha y Tambo Real.

Huachipampa es una turbera ubicada en el distrito de San Lorenzo de Quinti, Huarochirí, región Lima, a 4600 msnm. Tiene una extensión de 30.44 ha y existe una dominancia de *Distichia muscoides* y *Werneria pygmaea*, además es utilizado por la población local para el pastoreo de ganado ovino y camélidos sudamericanos.

Huascaj es una turbera ubicada en el distrito de Tanta, provincia de Yauyos, región Lima, a 4500 msnm. Tiene una extensión de 35.24 ha y existe una dominancia de *Distichia muscoides*, *Werneria pygmaea* y *Phyloscirpus spp*, además es utilizado por la población local para el pastoreo de ganados como los ovinos, alpacas y llamas.

Chuspicocha es una turbera ubicada distrito de Tanta, Yauyos, Lima, a 4300 msnm. Tiene una extensión de 27.40 ha y existe una dominancia de *Distichia muscoides*, *Poaceas*, *Astragalus sp.* y *Phyloscirpus spp.*, además es utilizado por la población local para el pastoreo de ganados como los ovinos, alpacas y llamas.

Tambo Real es una turbera ubicada en el distrito de Tanta, Yauyos, Lima, a 4300 msnm. Tiene una extensión de 69.15 ha, y existe una dominancia de *Distichia muscoides*, *Plantago* y *Werneria pygmaea*, además es utilizado por la población local para el pastoreo de ganados como los ovinos, alpacas y llamas.

Todos estos bofedales constituyen turberas minerotróficas (predominantemente alimentadas por descargas de agua subterránea) formadas y estructuralmente dominadas por *Distichia muscoides*, una

especie de juncácea muy dominante en turberas de plantas almohadilladas de los Andes centrales (12).

Durante el tiempo de duración de la investigación, se obtuvieron dos muestras una en la época seca y otra en la húmeda, considerando época seca el mes de noviembre del 2020 y húmeda febrero del 2021 para el estudio de la tasa de Eficiencia Neta del Ecosistema. Asimismo, para la toma de muestra para el almacenamiento de carbono se realizó en los meses de enero y febrero del 2020.

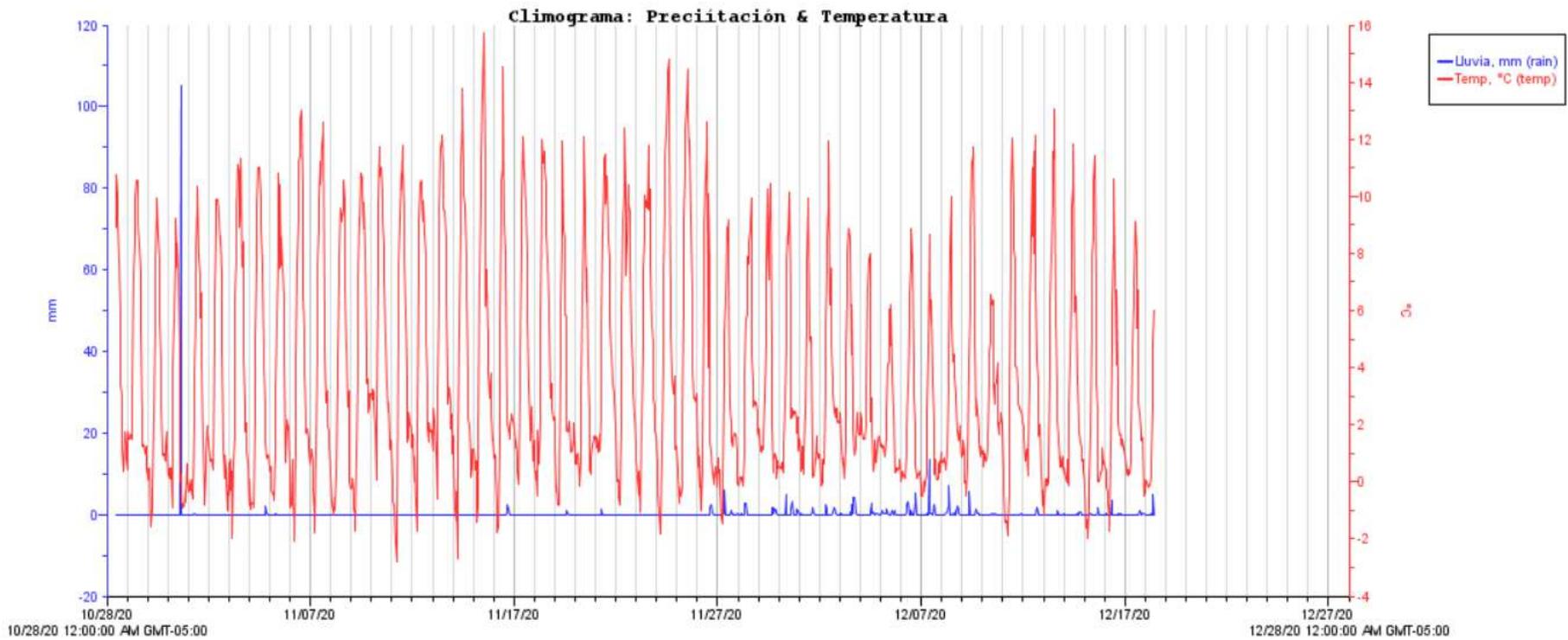


Figura 3. Climograma de precipitación y temperatura.

Fuente: elaboración propia.

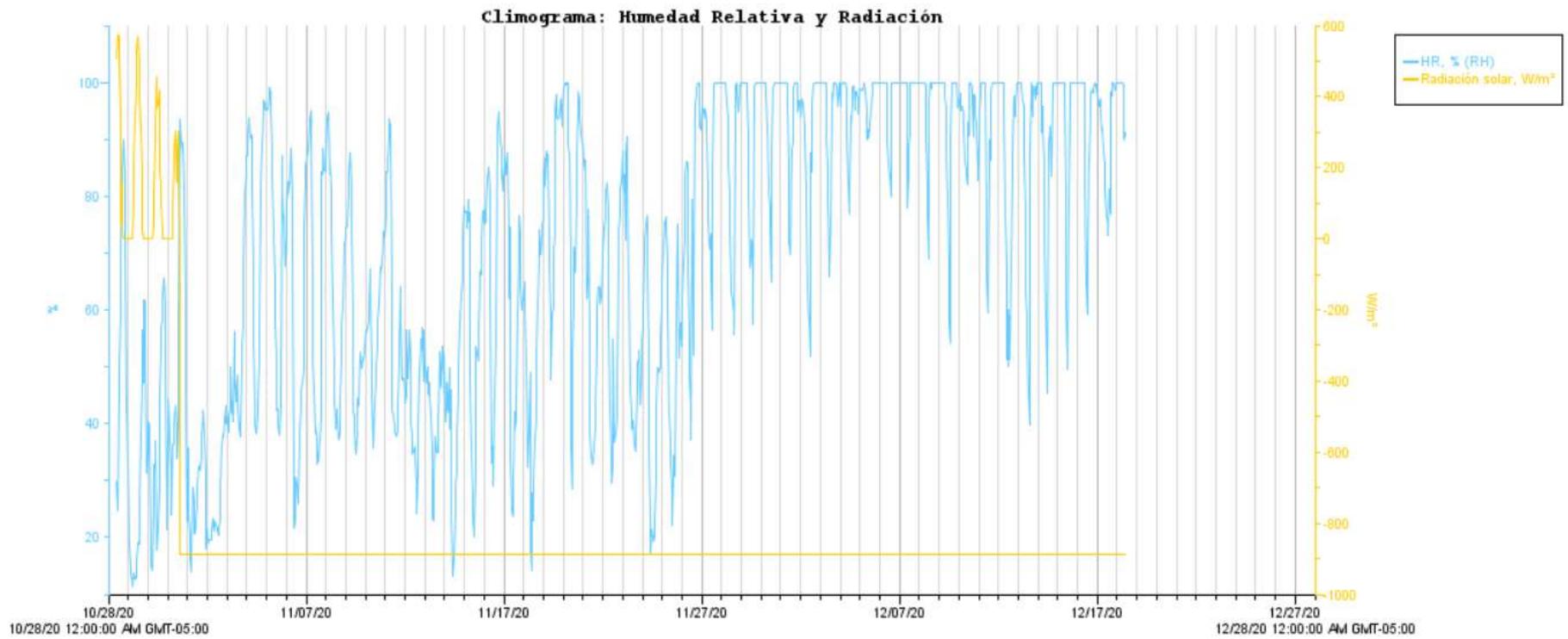
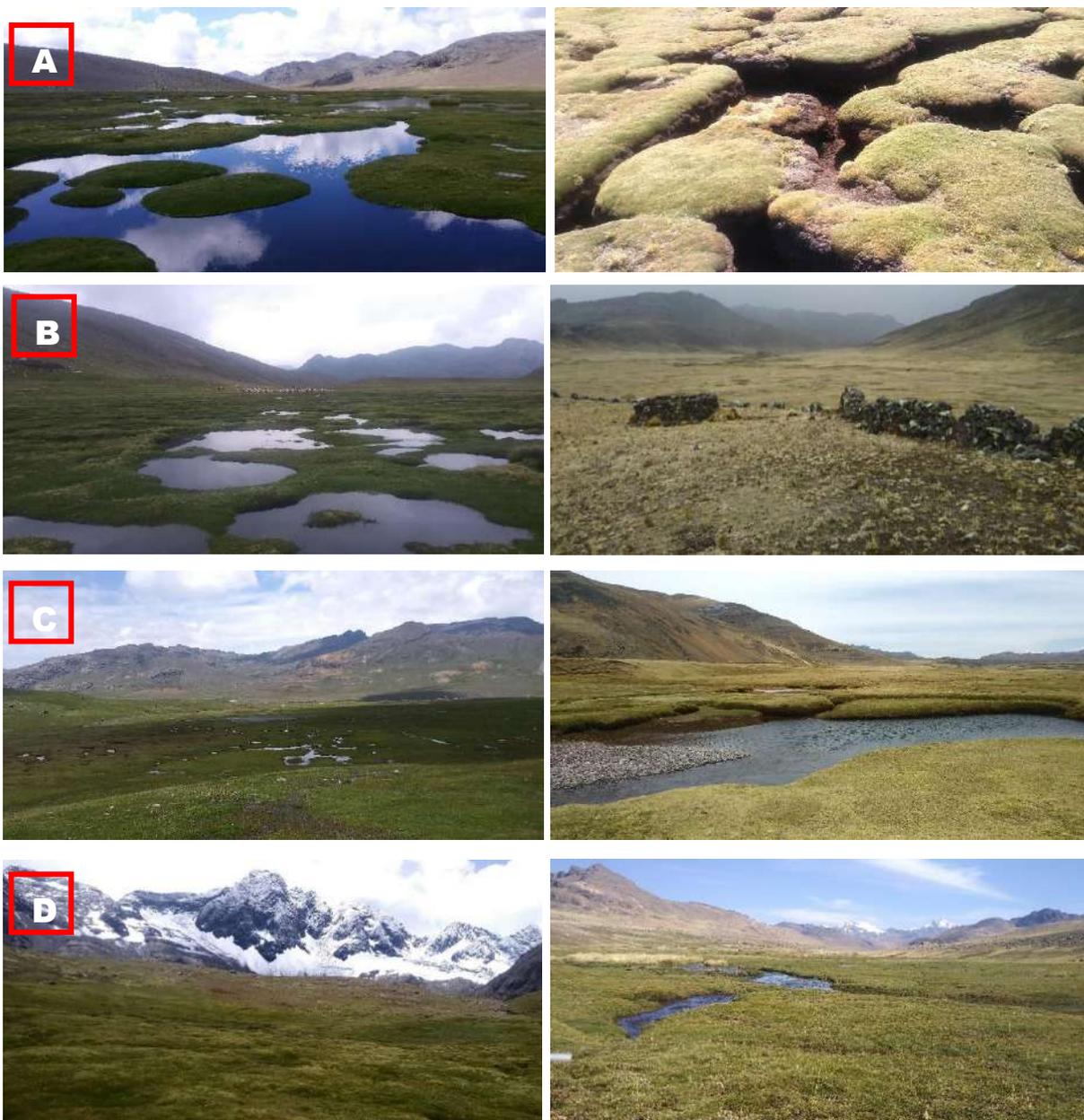


Figura 4. Climograma de humedad relativa (HR) y radiación.

Fuente: elaboración propia.

Durante la investigación del 2020, se estuvieron monitoreando algunas variables meteorológicas, como la radiación, la lluvia y la HR, para ver si estas están afectando a las turberas estudiadas.



*Figura 5.* Muestra de las turberas analizadas en la época seca y época húmeda.

Nota. A: Huachipampa, B: Huascaj, C: Tambo Real, D: Chuspicocha.

Fuente: elaboración propia.

### 3.4.2. Determinación de almacenamiento de carbono

#### 3.4.2.1. Profundidades y volumen de turba

La estimación de la profundidad de la capa de turba es un requisito importante para entender los patrones de desarrollo de una turbera, su funcionamiento y su capacidad de proveer servicios ecosistémicos como la captura de carbono (21). Los datos de profundidad adecuadamente registrados permiten determinar el volumen total de la turba almacenada, y los volúmenes diferenciados por estrato (diferentes niveles de descomposición). En este trabajo se utilizó el método propuesto por Hogan *et al.* (22).

Se ubicaron los puntos de grillas equidistantes de 25 a 50 metros, dependiendo del área de estudio de cada turbera (figura 6) Las mediciones fueron realizadas de forma manual, generalmente con una varilla de metal, la cual es introducida en la turba por un evaluador, registrándose el valor de profundidad en el punto en el que se percibe un cambio notorio en la resistencia o densidad del substrato. En cada punto de las grillas se registraron los valores de profundidad utilizando un fierro de construcción con un diámetro de 3/8 de pulgada (0.95 cm), para el borde de la turbera se utilizó el Sistema de Información Geográfica (23).

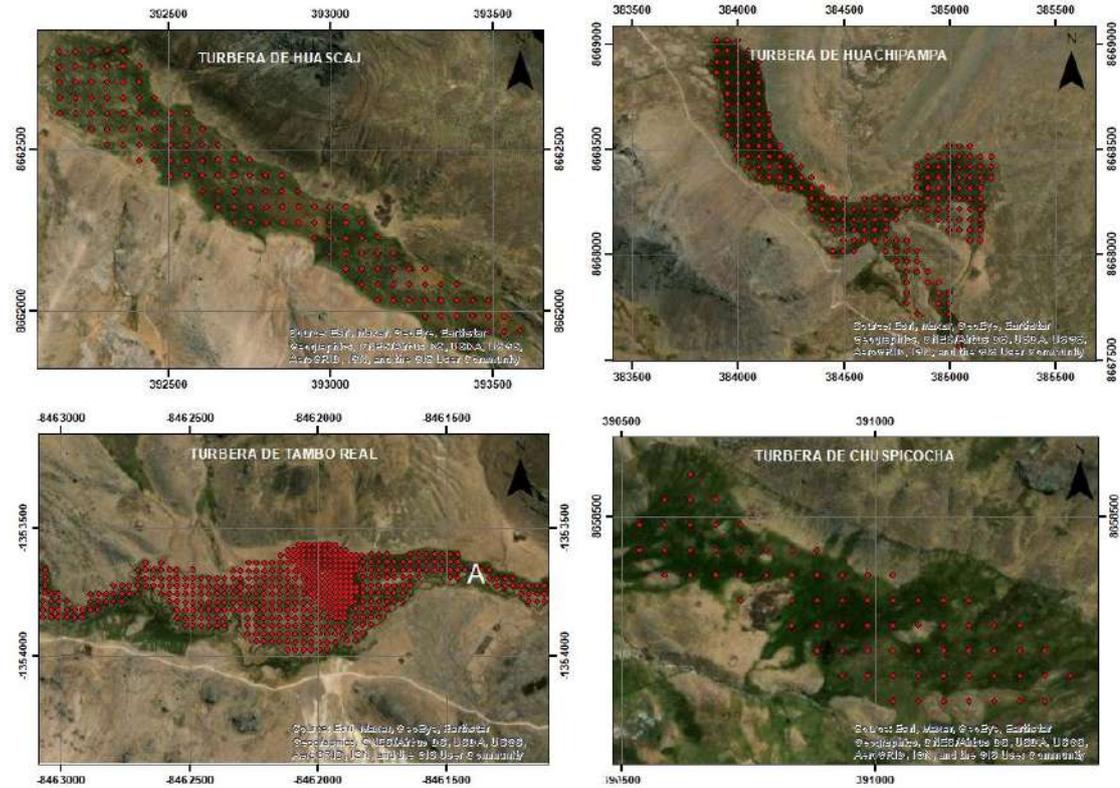


Figura 6. Puntos de grillas de las turberas estudiadas.

Fuente: elaboración propia.

### 3.4.2.2. Interpolación de los datos de profundidad y estimación de turba almacenada

Luego de obtener los datos de las profundidades, se realizó una interpolación para obtener el volumen total de turba almacenada en cada uno de las turberas estudiadas. Se utilizó el método de interpolación de distribuciones Gaussianas o Kriging (24) El Kriging es un procedimiento geoestadístico que genera una superficie estimada a partir de un conjunto de puntos dispersados con valores  $z$  (profundidad en este caso), es decir, se utilizaron los datos tomados anteriormente de la profundidad de la turba (figura 5) para luego ordenarlo en un cuadro, tras ello utilizarlo en el software de ArcGIS 2020 (23) y realizar el procedimiento de interpolación y validación, con el objeto de obtener el volumen total de turba el volumen correspondiente a capas divididas cada 50 centímetros.

### 3.4.2.3. Densidad aparente, materia orgánica (MO) y carbono (C) en muestras núcleo

Las muestras de turba (Core) se tomaron el mes de enero del 2020; se extrajeron por debajo de los 50 cm de profundidad, utilizando un muestreador de núcleos ruso (Russian peat corer, muestreador en D con un diámetro de 5 cm y cámara de muestreo de 50 cm de longitud). Cada muestra tuvo un volumen total de 490.9 cm<sup>3</sup> y fue almacenada en un tubo de PVC de 5.08 cm de diámetro y 50 cm de longitud, para su traslado al Laboratorio de Suelos, Plantas, Agua y Fertilizantes de la Universidad Nacional Agraria la Molina (UNALM).



*Figura 7.* Toma de profundidad de la turba, en los puntos de la grilla.

Fuente: propia.



*Figura 8.* Muestras de Core almacenada en tubos de PVC.

Fuente: propia.

En el laboratorio de la UNALM, las muestras fueron sometidas a secado constante en un horno de advección a 65°C durante 24 h. El peso seco fue registrado para el cálculo de densidad aparente dividiéndose entre el volumen inicial (25). Posteriormente, el contenido (porcentual) de materia orgánica (% MO) se calculó mediante la incineración de todo el material orgánico y el pesado del material libre de cenizas, para ello la muestra seca se colocó en un horno de ignición (mufla) a 550°C por cuatro horas (25; 26). Por último, el porcentaje de carbono (% C) fue estimado mediante una constante de 0.58 con respecto al contenido de materia orgánica.

Las 24 muestras tomas de los Cores, de diferentes profundidades provenientes de cuatro turberas (Huachipampa, Huascaj, Tambo Real y Chuspicocha) fueron procesadas utilizando esta metodología (tabla 3), donde se clasificó de acuerdo a las profundidades, considerando 0 la parte superficial del suelo hasta la profundidad encontrada en cada Core.

Este ajuste lineal se realizó con la totalidad de los datos obtenidos hasta este momento (N = 24), sin diferenciar, por el momento, entre turberas naturales y artificiales.

Tabla 3. *Muestras de turba analizadas en laboratorio.*

Lugar	Código	Volumen (Cm <sup>3</sup> )
Huachipampa	CORE 1 - HUA 18 - 68	490.9
Huachipampa	CORE 2 - HUA 70 - 120	490.9
Huachipampa	CORE 2 - HUA 170 - 220	490.9
Huachipampa	CORE 2 - HUA 270 - 320	490.9
Huachipampa	CORE 2 - HUA 370 - 420	490.9
Tambo Real	CORE 1 - TAMR 19 - 69	490.9
Tambo Real	CORE 1 - TAMR 119 - 169	490.9
Tambo Real	CORE 2 - TAMR 68 - 118	490.9
Tambo Real	CORE 3 - TAMR 10 - 60	490.9
Chuspicocha	CORE 2 - CHUS 13 - 63	490.9
Chuspicocha	CORE 2 - CHUS 113 - 163	490.9
Chuspicocha	CORE 2 - CHUS 213 - 263	490.9
Chuspicocha	CORE 3 - CHUS 62 - 112	490.9
Huascaj	CORE 1 - HUASCA 65 - 115	490.9
Huascaj	CORE 1 - HUASCA 165 - 215	490.9
Huascaj	CORE 1 - HUASCA 265 - 315	490.9
Huascaj	CORE 1 - HUASCA 415 - 465	490.9
Huascaj	CORE 1 - HUASCA 565 - 615	490.9
Huascaj	CORE 1 - HUASCA 715 - 765	490.9
Huascaj	CORE 1 - HUASCA 865 - 915	490.9
Huascaj	CORE 2 - HUASCA 15 - 65	490.9
Huascaj	CORE 2 - HUASCA 165 - 215	490.9
Huascaj	CORE 2 - HUASCA 315 - 365	490.9
Huascaj	CORE 2 - HUASCA 465 - 515	490.9

Fuente: elaboración propia.

#### 3.4.2.4. Estimación del almacenamiento de carbono total

Con los datos de volumen y la función de ajuste de los valores de densidad aparente (+/- IC<sub>95</sub>), se estimó el valor medio de masa (en toneladas de suelo) y los valores máximos y mínimos esperables por estrato de 50 cm en cada una de las cuatro

turberas evaluadas. Una vez estimada la masa total, se estimó el contenido de carbono (también en t) para cada bofedal, y éste se comparó con valores de dióxido de carbono equivalente ( $\text{CO}_2\text{eq}$ ).

#### 3.4.3. Determinación de la Tasa de Eficiencia Neta del Ecosistema (ENE)

Las mediciones de tasa de Eficiencia Neta de Ecosistema, se hicieron en dos épocas marcadas, siendo noviembre del 2020 la época seca y febrero del 2021 la época húmeda. Los puntos de estudio fueron en total 16, es decir, por cada turbera hubo 4 puntos. Por otro lado, para determinar la dinámica del carbono, tenemos que hacer el balance neto entre las tasas de productividad primaria bruta (PPB) contra la respiración (R) de la cobertura vegetal y su descomposición, y algunas variables más que puedan afectar al balance, a todo ello se denomina tasa de Eficiencia Neta del Ecosistema (ENE). Después, se identificó dicha ENE, considerada como positiva o negativa, para ello se realizó la medición de intercambio de gases, según la metodología IRGA (Infra Red Gas Analyzer) para medir la tasa de asimilación de la cobertura vegetal a partir del  $\text{CO}_2$ . Asimismo, se consideró la evaluación del nivel freático como durante las mediciones de ENE. En cada uno de los puntos de evaluación, se instaló un tubo de PVC para medir la capa freática, teniendo un largo 50 cm y cortes laterales finos de 3 cm para que pueda ingresar el agua. Por la parte superior se puso una tapa para excluir la infiltración de las lluvias.

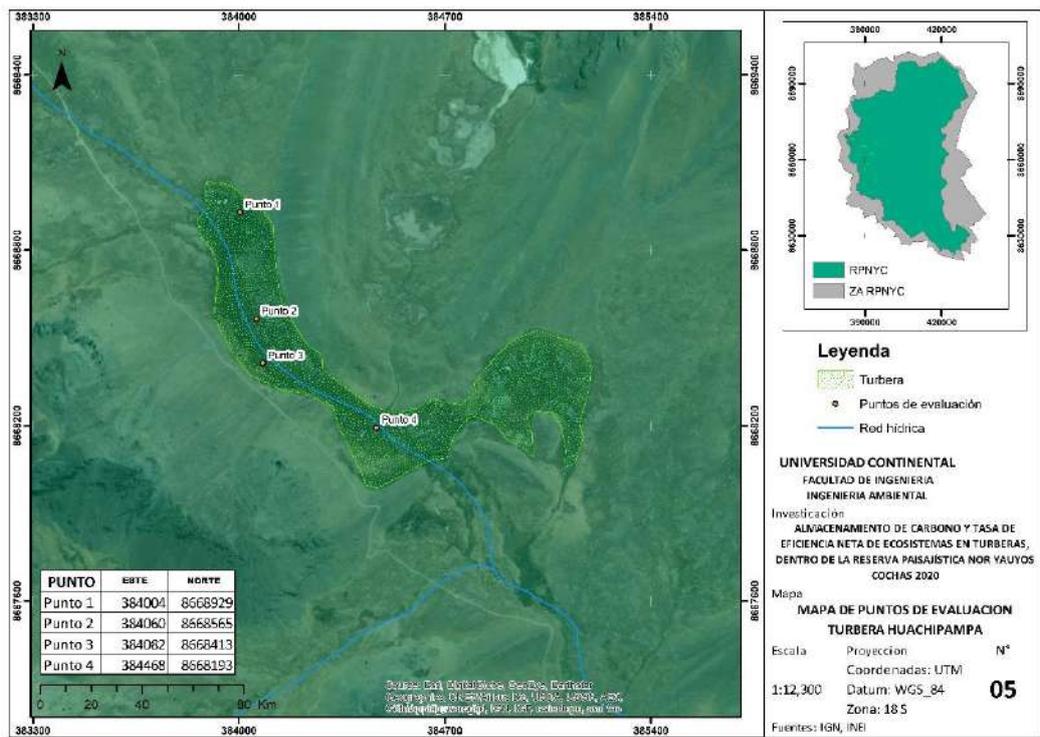


Figura 9. Turbera de Huachipampa.

Fuente: elaboración propia.

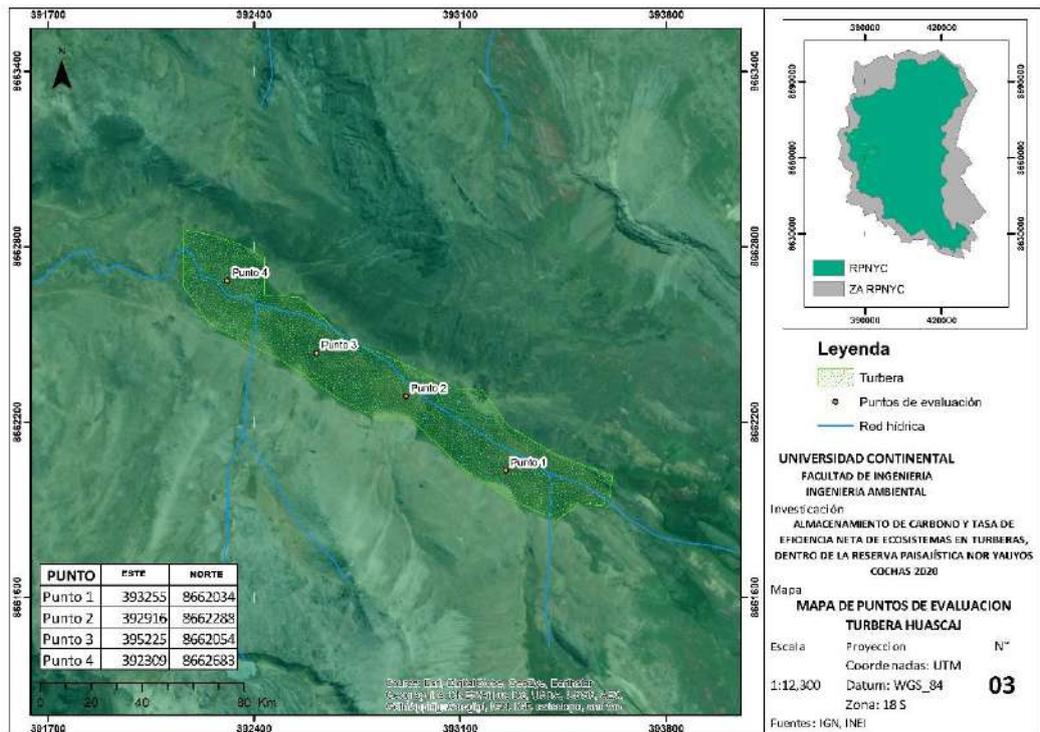


Figura 10. Turbera de Huascaj.

Fuente: elaboración propia.

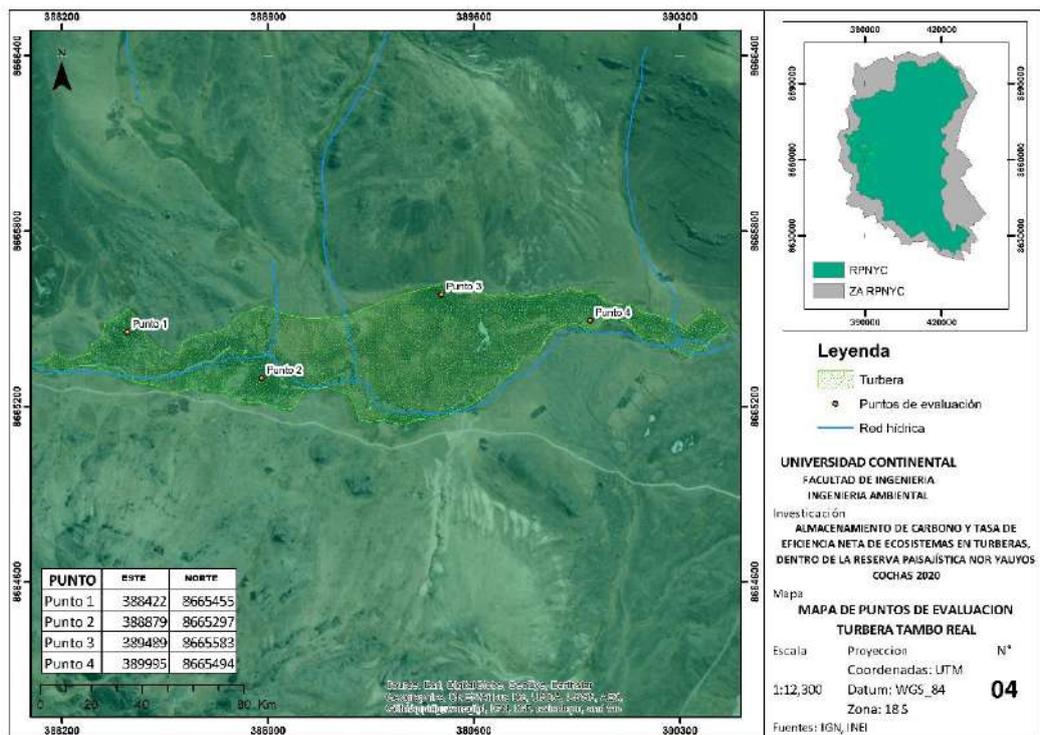


Figura 11. Turbera de Tambo Real.

Fuente: elaboración propia.

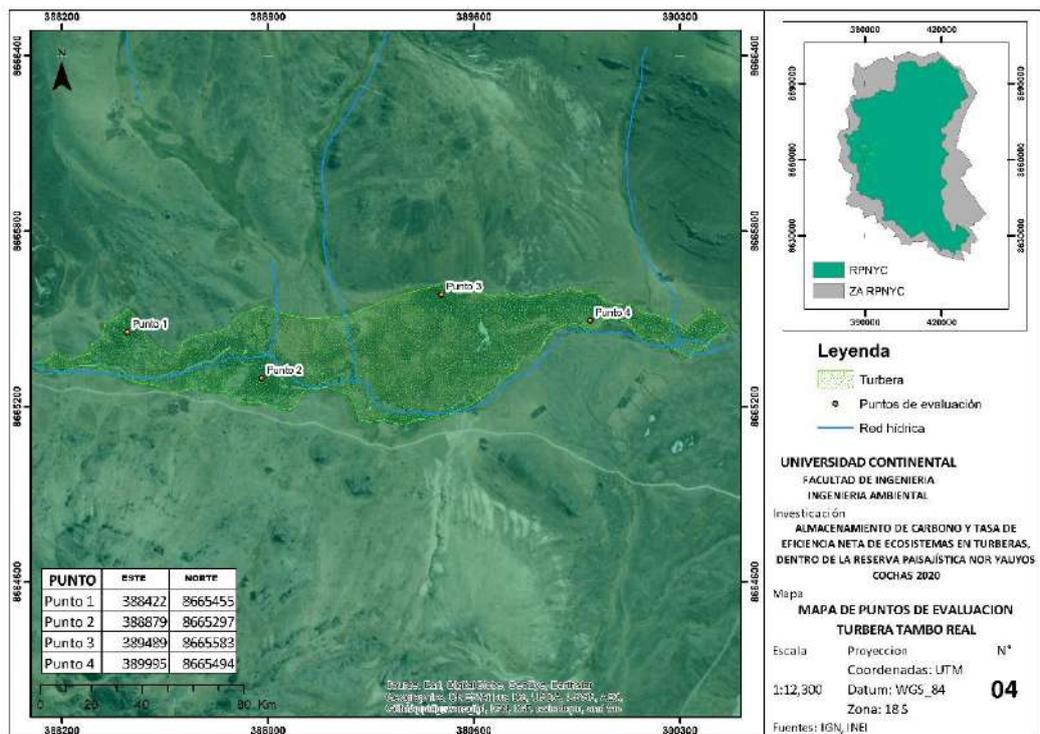


Figura 12. Turbera de Chuspicocha.

Fuente: elaboración propia.

### 3.4.3.1. Mediciones de flujo de CO<sub>2</sub>



*Figura 13.* Mediciones de ENE en el mes de marzo.

Fuente: propia.

Las mediciones de flujo de CO<sub>2</sub> se realizaron utilizando el método basado en la cámara, metodología IRGA (Analizador de gases Infrarrojos). La tasa de Eficiencia Neta del Ecosistema (ENE) y la respiración del ecosistema (RE) se midieron de día por solo un día de 8:00 am a 5:00 pm en las dos épocas diferentes (seca y húmeda), teniendo dos mediciones por época. Para las mediciones simuladas sin presencia de sol se utilizó un cobertor traslucido. Los flujos se midieron con un analizador de gases infrarrojos EGM-5 de PP Systems (IRGA; PP Systems, Amesbury, EE.UU.) conectado a una cámara cilíndrica de acrílico transparente personalizada (diámetro 14.6 cm, altura 14.5 cm y volumen 2427 cm<sup>3</sup>) equipado con una tapa desmontable, un ventilador y una válvula de ventilación. Para medir la tasa de ENE, la cámara transparente se colocó cuidadosamente sobre el collar, sin dañar la vegetación en el interior y la junta de la cámara del collar se selló utilizando una sección de corte cilíndrico del tubo de 6". Las mediciones se tomaron durante un período de 120 s, al día dos mediciones en

cada turbera. Se usó el mismo método para medir la ER, excepto que se colocó un cobertor traslucido sobre la cámara para evitar que la luz ingrese a la cámara. Todas las mediciones se realizaron entre las 8:00 am y las 5:00 pm, y los collares se midieron en orden aleatorio para evitar cualquier sesgo sistemático. Se midieron otros parámetros ambientales adicionales durante las mediciones de flujo, como el nivel freático y tiempo de la medición.



*Figura 14.* Puntos de medición de ENE.

Fuente: propia.

#### 3.4.3.2. Cálculos de flujo de gas

CO<sub>2</sub>: se utilizó la convención de signos en la que los valores negativos significan la liberación CO<sub>2</sub> del ecosistema, y valores positivos significan la absorción de CO<sub>2</sub> del ecosistema. La producción primaria bruta (PPB) se calculó mediante la diferencia entre ENE y R. Así también, se empleó el programa Excel V.2021 para trazar regresiones lineales para cada punto de medición. Se estimó la regresión lineal ( $r^2$ ), la pendiente de la línea de CO<sub>2</sub> y el tiempo.

#### 3.4.3.3. Descripción de la vegetación

Tomamos fotos de cada collar (tubería de PVC de 6", con un espesor de 4 cm de forma circular) al comienzo y al final del período de estudio para caracterizar las comunidades de plantas. Se registraron las comunidades de plantas dentro de cada collar y se estimó el porcentaje de cobertura de las plantas de colchón, las plantas sin cojín, así como el porcentaje de suelo desnudo para cada collar.

#### 3.4.3.4. Pruebas estadísticas

Se utilizó la regresión lineal en Microsoft Excel para cuantificar las relaciones entre la capa freática y NEE, utilizando los datos obtenidos en campo.

### 3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

#### 3.5.1. Técnicas de recolección de datos

En la presente investigación se utilizó la técnica de la "observación cuantitativa" no experimental, puesto que se recolectaron datos como se presentaron en el campo.

#### 3.5.2. Instrumentos de recolección de datos

Como instrumento para la recolección de datos, se utilizó un cuaderno de campo para anotar los datos de interés para cada fase de la investigación (ver Anexo 2).



## **CAPÍTULO IV**

### **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

#### 4.1. Resultados de la investigación

##### 4.1.1. Almacenamiento de carbono

##### 4.1.1.1. Profundidades y volumen de turba

Con base a los datos de profundidad registrados en campo y asumiendo un error por exceso equivalente a una proporción de 0.05 veces la profundidad registrada, debido a que en algunos lugares la varilla de fierro de construcción, que tenía 4.5 metros, no llegó a medir la profundidad límite, por lo que teniendo esas consideraciones se realizó la interpolación (Kriging), obteniéndose diferentes valores de volumen total y por estratos mostrado en la tabla 5 y en las figuras 15, 16, 17 y 18.

La relación tamaño-profundidad parece ser bastante clara, aunque también es importante tener en cuenta otros factores como la forma (alargada siguiendo el fondo del valle, irregular o redondeado) y la pendiente del valle. Estos factores geomorfológicos son influyentes en el desarrollo de las turberas naturales, junto con otros como la altitud y la conexión actual con glaciares, que serán evaluados en cuanto se cuente con una muestra mayor.

Tabla 5. *Volumen de turba estimado por estratos de 0.5 metros en cada turbera.*

PROFUNDIDAD (m)	VOLUMEN (m <sup>3</sup> )			
	HUACHIPAMPA	HUASCAJ	TAMBO REAL	CHUSPICOCHA
0-0.5	133140.4	159534.8	62222.6	106132.4
0.5-1	103411.6	128409.3	45494.7	60427.8
1-1.5	85074.3	107946.9	31382.6	27935.0
1.5-2	70660.7	92658.8	19600.1	10344.8
2-2.5	56117.5	79341.9	12078.5	2590.9
2.5-3	42721.8	67806.6	5254.7	12.3
3-3.5	26269.7	55747.1	918.8	
3.5-4	10071.8	42661.6	14.4	
4-4.5	2831.9	28840.7		
> 4.5	620.4	6129.1		

Fuente: elaboración propia.

Las turberas de régimen natural, desarrolladas en fondos de valle glacial y con una antigüedad presumiblemente mayor, se constituyen como turberas minerotróficas (predominantemente alimentadas por descarga de agua subterránea) (10; 27; 28). Algunas turberas naturales evaluadas, especialmente en Huascaj, superan largamente los 4.5 metros de profundidad, llegando hasta los 9 metros de profundidad (obtenido a través de una muestra Core), por tanto, es posible suponer que el volumen total de turba esté subestimado, sin embargo, dicha subestimación sería relativamente pequeña, puesto que en ambos tipos de turberas estudiadas, los estratos superiores representan la mayor proporción del volumen total estimado.

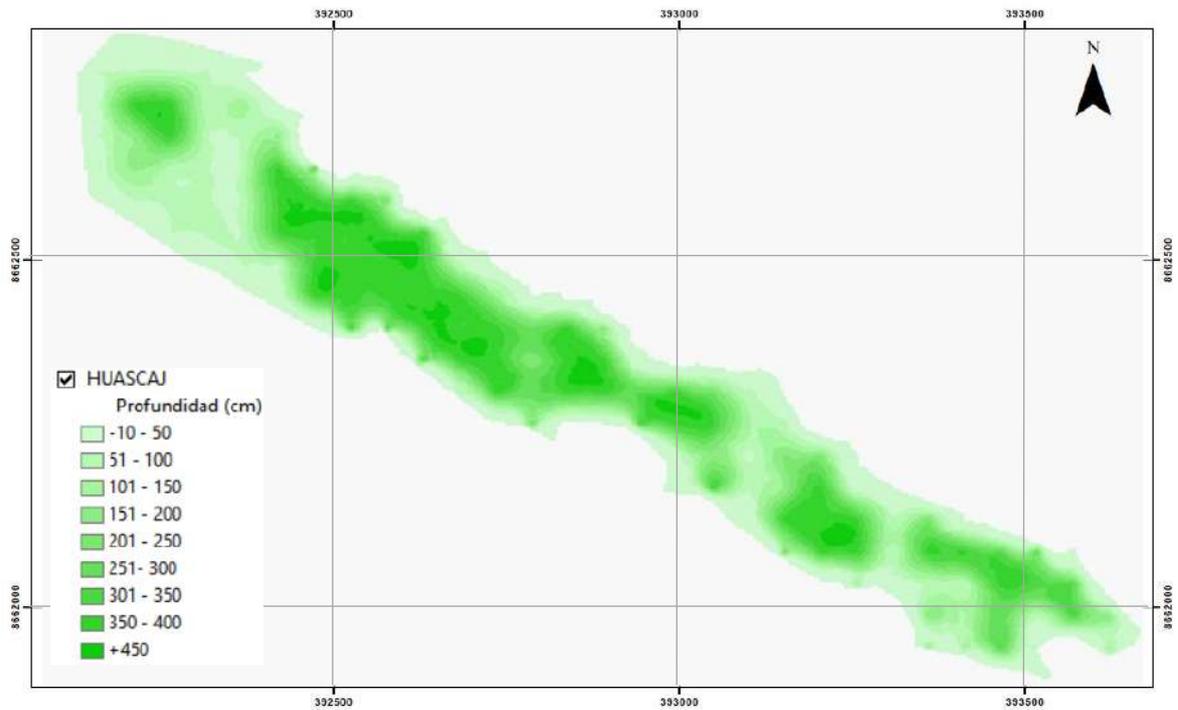


Figura 15. Turbera de Huascaj se muestra la profundidad de la turba y donde se encuentran los puntos profundos.

Fuente: elaboración propia.

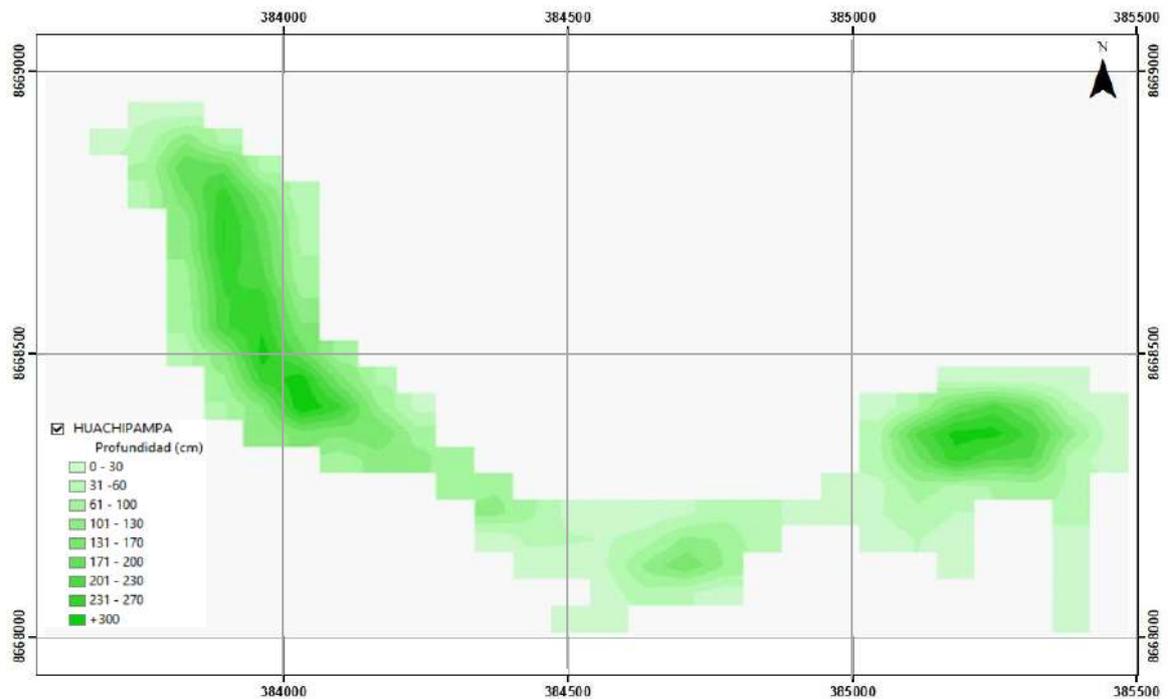


Figura 16. Turbera de Huachipampa se muestra la profundidad de la turba y donde se encuentran los puntos profundos.

Fuente: elaboración propia.

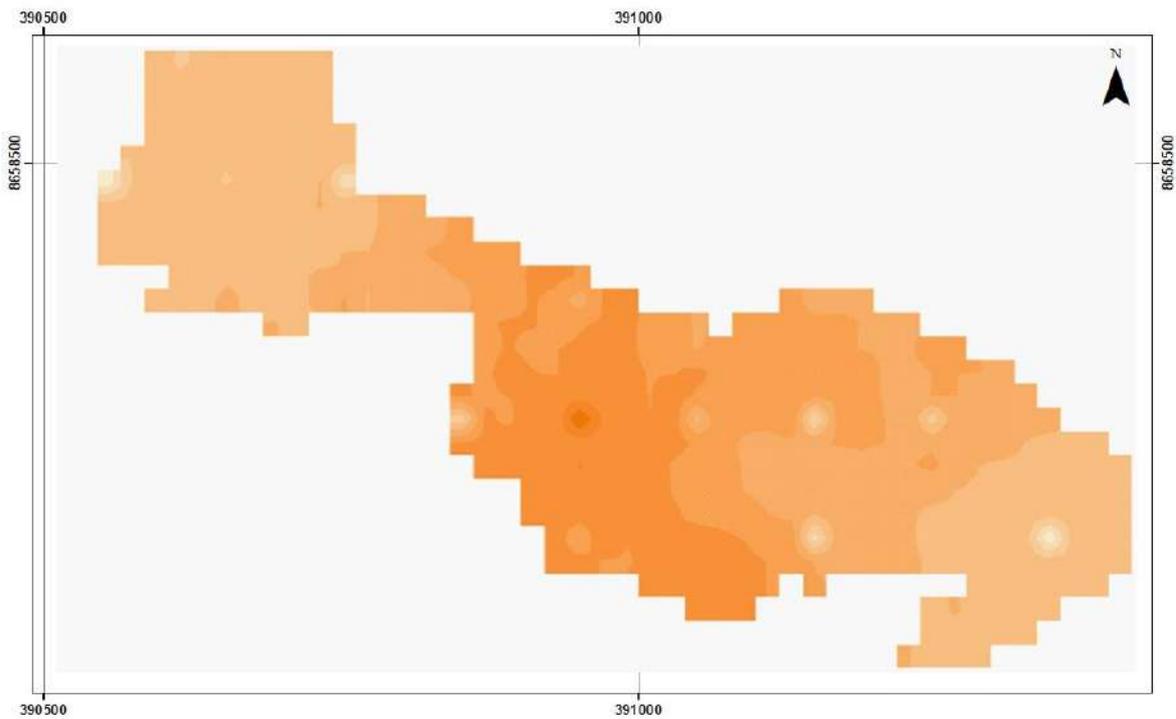


Figura 17. Turbera de Chuspicocha se muestra la profundidad de la turba y donde se encuentran los puntos profundos.

Fuente: elaboración propia.

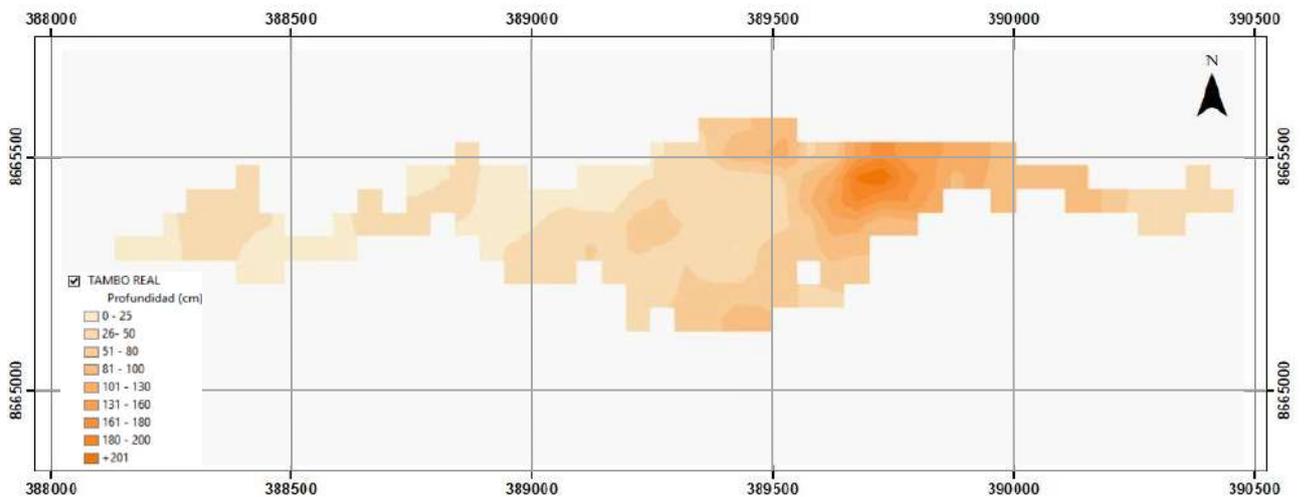


Figura 18. Turbera de Tambo Real se muestra la profundidad de la turba y donde se encuentran los puntos profundos.

Fuente: elaboración propia.

Las turberas artificialmente incrementadas, por su parte, presentan un patrón de profundidades completamente distinto: en los sectores que corresponden a la 'extensión' artificial de la

turbera (producto de la irrigación), la profundidad de la capa de turba rara vez supera el metro (1 m). Estos sectores no son completamente dominados por *Distichia muscoides*, y muchas veces esta especie ni siquiera se encuentra presente. Las mayores profundidades se registran en algunos sectores de terraza fluvial, relativamente alejada del cauce principal (lo que permite que no sea muy perturbado por crecidas extraordinarias) donde *Distichia muscoides* vuelve a ser dominante. Presumiblemente, estos sectores fueron previamente turberas de menor extensión los cuales fueron agrandados mediante las actividades de irrigación debido a la disponibilidad inmediata del recurso hídrico (quebrada cercana) y a la necesidad de incrementar las áreas de pastoreo comunitario.

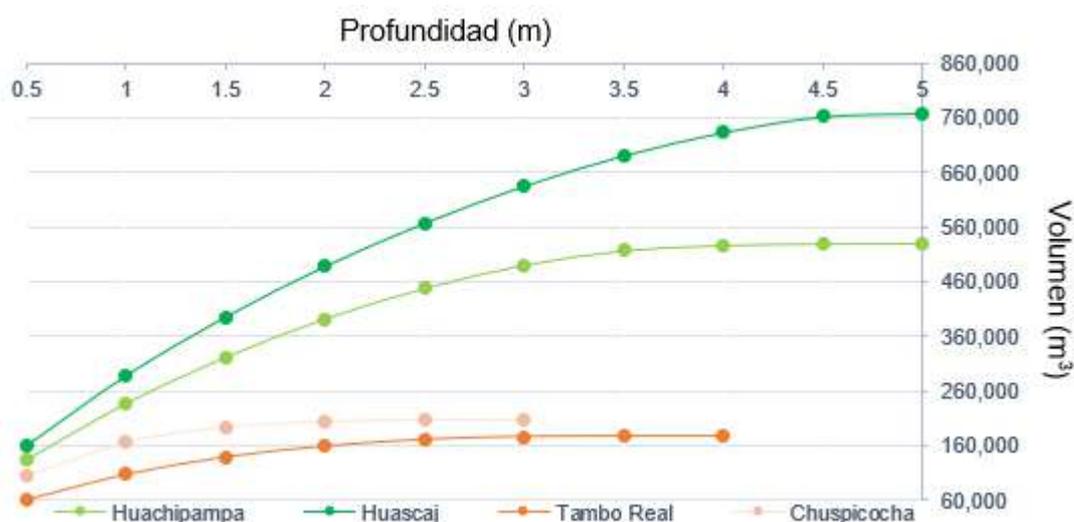


Figura 19. Volumen total de turba (m³) por profundidad (m) para las cuatro turberas estudiadas.

Fuente: elaboración propia.

#### 4.1.1.2. Densidad aparente, materia orgánica (MO) y carbono (C) en muestras núcleo

Se colectaron nueve (09) muestras núcleo de turba, en las turberas naturales de Huachipampa y Huasaj, y artificialmente incrementadas de Tambo Real y Chuspicocha. Los valores de

densidad aparente varían entre 0.035 y 0.195 g/cm<sup>3</sup>, donde el valor mínimo corresponde a un humedal irrigado, Tambo Real, que se encuentra en un estrato superficial (19 - 69 cm). La máxima densidad se registró en la muestra de Core 2 del bofedal de Huascaj entre los 165 y los 215 cm de profundidad, un estrato rico en limo y grava, probablemente producto de una antigua avenida de la quebrada que atraviesa el bofedal.

Al comparar los valores de densidad aparente entre las muestras provenientes de las turberas naturales y artificialmente incrementados, se puede apreciar una ligera diferencia (figura 20), donde la densidad aparente es menor en las muestras provenientes de las turberas irrigadas (0.0352 t/m<sup>3</sup>) frente a las muestras de turberas naturales (0.0865 t/m<sup>3</sup>). La densidad media en las turberas irrigadas fue de 0.066 t/m<sup>3</sup>. La variabilidad es similar en ambos casos, los registros mínimo y máximo para las turberas naturales son de 0.039 y 0.195 t/m<sup>3</sup>, mientras que en los ambientes irrigados se ubica entre 0.035 y 0.190 t/m<sup>3</sup>.

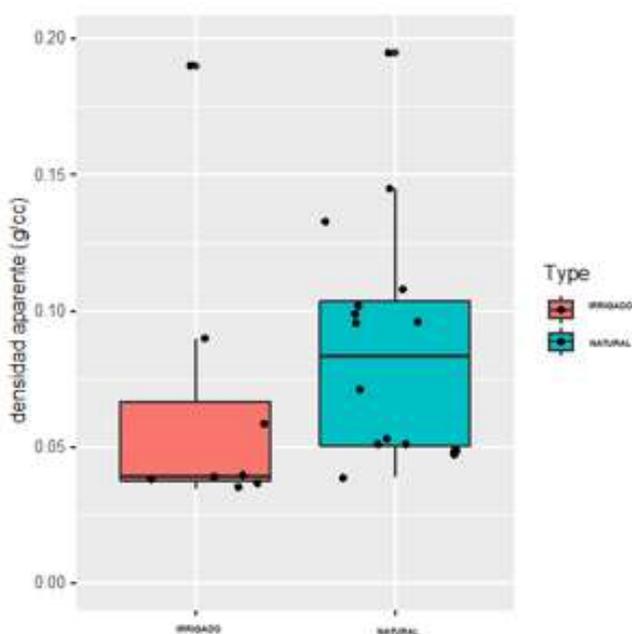


Figura 20. Diagrama de cajas de para los valores de densidad aparente, turberas estudiadas.

Fuente: elaboración propia.

Estas diferencias ligeras se deberían a que en esta primera fase del muestreo hubo un sesgo por coleccionar las muestras de turberas irrigadas en los sectores más profundos de los mismos, los que, como ya ha sido indicado, suelen estar ubicados en zonas de antiguo bofedal formado y dominado por *Distichia muscoides*.

Las diferencias observadas no son significativas, y la muestra es demasiado pequeña para considerar el análisis por separado de los datos provenientes de turberas naturales e irrigados. La tendencia es la esperada para este tipo de ecosistema, con un incremento constante en la densidad aparente conforme la muestra es extraída de mayor profundidad. Esto se debe al mayor grado de descomposición (cuanto más profunda más antigua es la muestra de turba), lo que reduce el tamaño de los poros y el tamaño de las partículas incrementando la compactación (29; 30). Otro efecto relacionado con la profundidad y el incremento en la densidad tiene que ver con la mayor influencia de capas de suelo mineral y posibles avenidas de quebradas o ríos cercanos, lo que ocurre comúnmente en fases más tempranas del desarrollo de la turbera (31; 32).

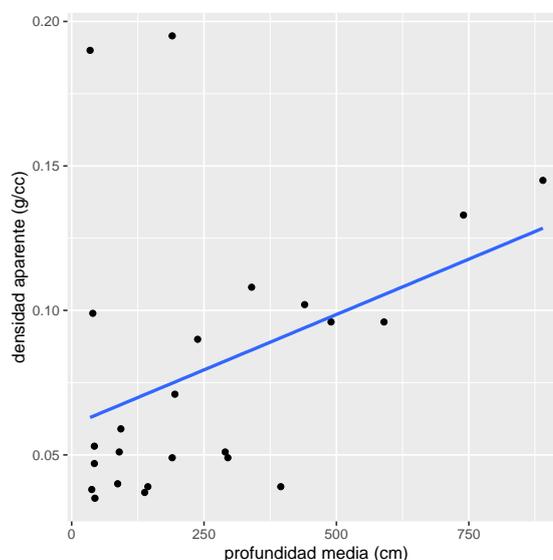


Figura 21. Modelo lineal para los valores de densidad aparente.

Fuente: elaboración propia.

Tabla 6. Valores de densidad estimada (g/cc) e intervalo de confianza (95 %).

Prof. (m)	Media	Inferior	Superior
0.00	0.60	0.32	0.88
0.50	0.64	0.39	0.89
1.00	0.68	0.45	0.91
1.50	0.72	0.51	0.92
2.00	0.76	0.56	0.95
2.50	0.79	0.61	0.98
3.00	0.83	0.64	1.03
3.50	0.87	0.67	1.08
4.00	0.91	0.69	1.13
4.50	0.95	0.70	1.20
5.00	0.99	0.71	1.26

Fuente: elaboración propia.

#### 4.1.1.3. Contenido de carbono (%)

Los datos de materia orgánica (% MO) y carbono (% C) presentan un comportamiento casi idéntico, es por ello que se analizó la información de carbono porcentual. Los datos obtenidos tienen un comportamiento inverso a lo observado en el caso de la densidad aparente, disminuyendo la concentración de C conforme se incrementa la profundidad. Hay una ligera diferencia entre las turberas irrigadas y naturales, con valores más altos para los primeros (figura 22). El valor promedio de carbono en las turberas artificialmente irrigados es de 39.195 % con mínimo y máximo de 4.92 % y 50.72 % respectivamente. En tanto que los datos registrados en las turberas naturales muestran un promedio de 35.53 %, mientras que el contenido mínimo es de 17.68 % y el máximo es de 51.52 %.

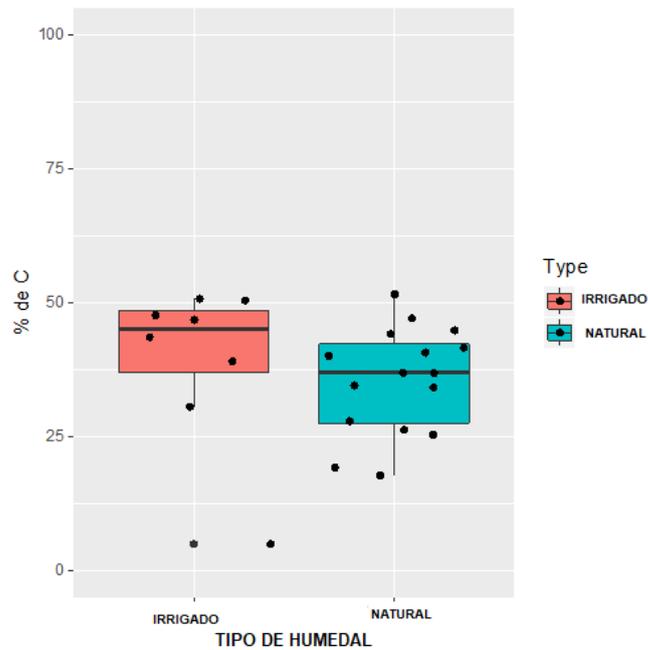


Figura 22. Contenido de carbono (porcentual) en muestra de turba.  
Fuente: elaboración propia.

Estas diferencias no son significativas, y podrían atribuirse a la misma causa que en el caso de las diferencias observadas para la densidad aparente: las muestras núcleo de las turberas irrigados se extrajeron en zonas con gran presencia de *Distichia muscoides*, relativamente profundas (en general > 1.5 m) que muy probablemente fueron turberas pequeñas, cuya área se incrementó artificialmente mediante la irrigación. De hecho, la provisión permanente de agua en los ambientes irrigados, puede contribuir significativamente a una menor tasa de descomposición y consecuentemente un mayor contenido de carbono y menor densidad aparente en estas muestras (13), sin embargo, correspondería esperar un resultado distinto si las muestras núcleo se distribuyen considerando una participación mayor de los sectores del bofedal artificialmente creados, los que constituyen 'prados húmedos' donde el suelo suele tener un contenido menor de materia orgánica (14; 17).

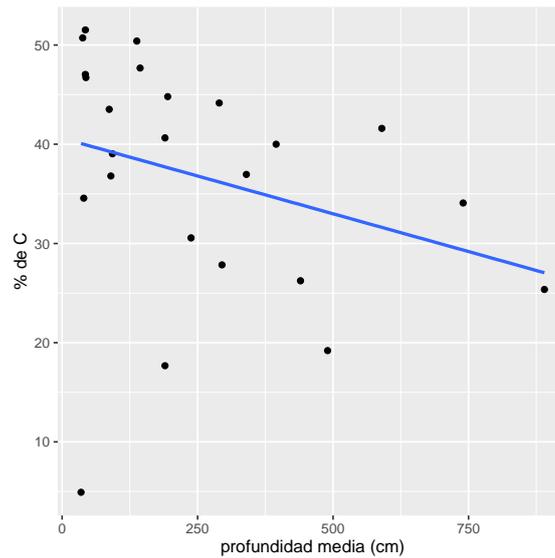


Figura 23. Modelo lineal para los valores de contenido de carbono.

Fuente: elaboración propia.

Considerando que no hay diferencias importantes entre el contenido de carbono en los sitios naturales y los artificialmente incrementados, el ajuste lineal y la estimación del intervalo de confianza se realizaron con la totalidad de la muestra (figura 23 y tabla 7). En este caso, la tendencia también es la esperada y se relaciona negativamente con lo observado en el caso de la densidad aparente, reduciéndose el contenido de carbono (% C) conforme se incrementa la profundidad de la capa de turba.

Tabla 7. Valor medio estimado e intervalo de confianza (superior e inferior) para el contenido porcentual de carbono.

Prof. (m)	% C promedio	Inferior	Superior
0.00	40.61	33.37	47.85
0.25	40.23	33.37	47.09
0.50	39.85	33.35	46.34
0.75	39.47	33.31	45.63
1.00	39.09	33.24	44.93
1.25	38.71	33.13	44.28
1.50	38.32	32.99	43.66
1.75	37.94	32.80	43.08
2.00	37.56	32.57	42.56

2.25	37.18	32.28	42.08
2.50	36.80	31.94	41.67
2.75	36.42	31.53	41.31
3.00	36.04	31.07	41.00
3.25	35.66	30.56	40.75
3.50	35.28	30.00	40.56
3.75	34.90	29.39	40.40
4.00	34.52	28.74	40.29
4.25	34.13	28.06	40.21
4.50	33.75	27.35	40.16
4.75	33.37	26.61	40.14
5.00	32.99	25.85	40.13

Fuente: elaboración propia.

#### 4.1.1.4. Estimación del almacenamiento de carbono total

El valor estimado total de carbono almacenado en las cuatro turberas evaluadas alcanza 50212.5 t (toneladas).

En relación directa a los volúmenes de turba estimada para cada una de las cuatro turberas estudiadas, las dos grandes turberas naturales, más profundas y conformadas principalmente por *Distichia muscoides*, contienen el 82 % del total de carbono capturado en estos sistemas ecológicos (figura 15 y tabla 7). De forma similar, aunque las turberas pueden superar incluso los 8 metros de profundidad (datos obtenidos con un muestreador de núcleo) los estratos comprendidos entre 0 y 2 metros de profundidad representan el 68 % del total de carbono almacenado (tabla 7).

Tabla 8. Masa e carbono almacenada a diferentes profundidades en las cuatro turberas del ámbito de estudio.

Profundidad (m)	Masa de Carbono en Toneladas (t)			
	Huachipampa	Huascaj	Tambo Real	Chuspicocha
0-0.5	3993.6	4785.3	1866.4	3183.5
0.5-1	2845.4	3533.2	1251.8	1662.7
1-1.5	2442.2	3098.8	900.9	801.9
1.5-2	2108.3	2764.6	584.8	308.7
2-2.5	1735.1	2453.2	373.5	80.1
2.5-3	1347.9	2139.3	165.8	0.4
3-3.5	854.3	1813.0	29.9	0.0
3.5-4	336.9	1426.9	0.5	0.0
4-4.5	97.2	989.5	0.0	0.0
> 4.5	21.8	215.3	0.0	0.0
<b>TOTAL</b>	<b>15782.6</b>	<b>23219.1</b>	<b>5173.5</b>	<b>6037.3</b>

Fuente: elaboración propia.

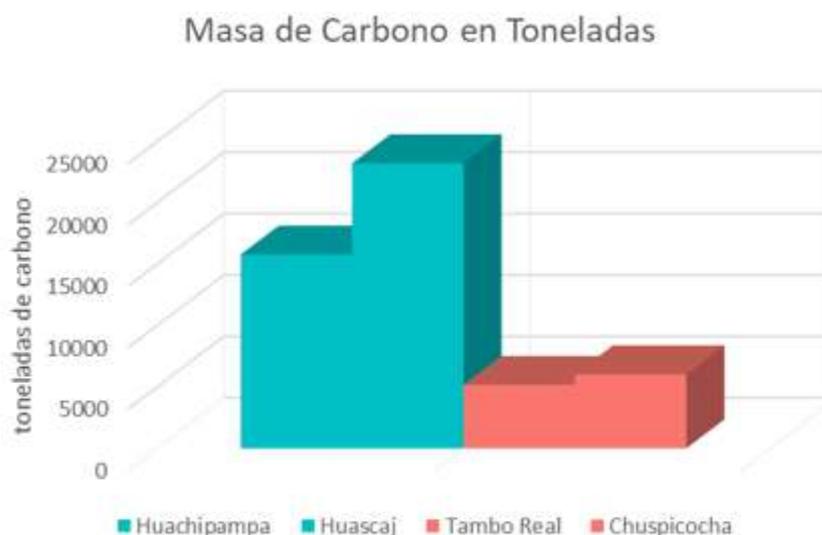


Figura 24. Masa de carbono almacenado total.

Fuente: elaboración propia.

La unidad de medida más común de la huella de carbono a nivel global es el equivalente de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>eq).

El peso molecular del CO<sub>2</sub> es de 44 (12C + 16O + 16O), por tanto un mol pesa 44 g y en una tonelada de CO<sub>2</sub> hay 22727.27 moles.

Debido a que en cada molécula de CO<sub>2</sub> hay solo un átomo de carbono, en una tonelada de CO<sub>2</sub> hay 22727.27 moles de C en su forma atómica. El carbono en forma molecular se presenta en diferentes configuraciones, usualmente cristalinas, pero en la materia orgánica se presenta generalmente en la forma de alguna molécula orgánica (azúcares, lípidos, ésteres, etc.). En su forma más común el átomo de carbono tiene una masa atómica de 12, esto significa que un mol de átomos de carbono pesaría 12 gramos, y una tonelada de carbono almacenado corresponde a 83333.33 moles, por tanto, en una tonelada de carbono almacenado existe (en términos aproximados) un número de átomos equivalente a lo contenido en 3.66 toneladas de CO<sub>2</sub> (o CO<sub>2</sub>eq). Mediante esta aproximación, es posible afirmar que el total de carbono almacenado en las cuatro turberas evaluadas, equivale en promedio a 183,777.75 CO<sub>2</sub>eq.

Tabla 9. *Equivalente de carbono.*

Equivalente de Carbono (CO <sub>2</sub> eq)			
Huachipampa	Huascaj	Tambo Real	Chuspicocha
57764.48	84981.75	18935.06	22096.46

Fuente: elaboración propia.



Figura 25. *Equivalente de carbono (CO<sub>2</sub>eq).*

Fuente: elaboración propia.

4.1.1.5. Análisis estadístico para diferenciar turberas naturales y turberas artificialmente incrementadas para el almacenamiento de carbono

Para el análisis estadístico del almacenamiento de carbono para las turberas naturales (Huachipampa y Huascaj) y artificialmente incrementadas (Chuspicocha y Tambo Real).

- $H_0$ : la media del almacenamiento de carbono de las turberas naturales (Huascaj y Huachipampa) son iguales que, las turberas artificialmente incrementadas (Chuspicocha y Tambo real).
- $H_a$ : la media del almacenamiento de carbono de las turberas naturales (Huascaj y Huachipampa) es mayor que, las turberas artificialmente incrementadas (Chuspicocha y Tambo real).

a) Primer supuesto para determinar la normalidad:

Tabla 10. *Prueba de Anderson- Darling para las Turberas Naturales.*

N° Total	p
20	0.9201

Fuente: elaboración propia.

Los datos para las turberas naturales (Huachipampa y Huascaj) se comportan de forma normal ya que  $p = 0.9201$ ,  $p > 0.05$

Tabla 11. *Prueba de Anderson- Darling para las Turberas artificialmente incrementadas.*

N° Total	p
14	0.0000188

Fuente: elaboración propia.

Los datos para las turberas artificialmente incrementadas (Chuspicocha y Tambo real) se comportan de forma no normal ya que  $p = 0.0000188$ ,  $p < 0.05$

b) Segundo supuesto para determinar homocedasticidad:

Tabla 12. *Prueba de F-Snedecor.*

<b>N° Total</b>	<b>F</b>	<b>P</b>
40	0.40808	0.0577

Fuente: elaboración propia.

Quiere decir que las variancias de las turberas naturales y turberas artificialmente incrementados son iguales.

c) t de student:

Tabla 13. *Prueba de t de student.*

<b>N° Total</b>	<b>Estadístico de prueba</b>	<b>gl</b>	<b>p</b>
40	-3.9351	38	0.9998

Fuente: elaboración propia.

Existen diferencias entre las turberas naturales y artificialmente incrementadas ( $p = 0.998$ ,  $p > 0.05$ ). Las turberas naturales son mayores, con una media de (1950.09 t), que a las turberas artificialmente incrementadas (560.54 t).

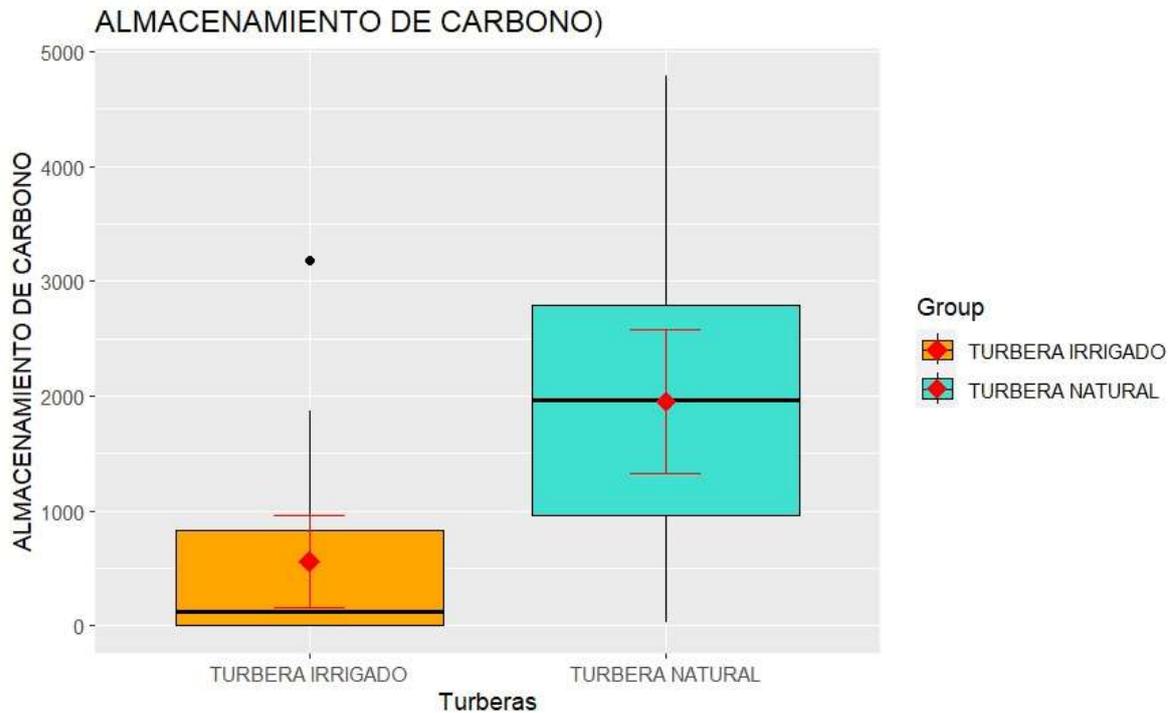


Figura 26. Prueba de t de student.

Fuente: elaboración propia.

#### 4.1.2. Eficiencia Neta del Ecosistema

##### 4.1.2.1. Tablas de nivel de agua

Los niveles de la capa freática en las áreas estudiadas se mantuvieron relativamente variables durante las épocas de medición teniendo con valor más bajo de - 61.2 cm de profundidad durante la estación seca dentro de una turbera natural, y - 90 cm de profundidad en la estación seca dentro de una turbera irrigada (los valores negativos indican profundidad debajo de la superficie del suelo). En la época húmeda no se tuvieron valores registrados a - 22 cm, lo cual demuestra cómo se recargan esos ecosistemas en estas épocas.

Tabla 14. *Tabla de nivel freático.*

Nivel Freático (cm)				
Sitio	Tipo	Temporada	Punto	H <sub>2</sub> O
Huachipampa	Natural	Seca	1	0.0
Huachipampa	Natural	Húmeda	1	8.0
Huachipampa	Natural	Seca	2	5.6
Huachipampa	Natural	Húmeda	2	0.0
Huachipampa	Natural	Seca	3	56.9
Huachipampa	Natural	Húmeda	3	1.9
Huachipampa	Natural	Seca	4	24.7
Huachipampa	Natural	Húmeda	4	1.8
Huascaj	Natural	Seca	1	61.2
Huascaj	Natural	Húmeda	1	15.0
Huascaj	Natural	Seca	2	10.9
Huascaj	Natural	Húmeda	2	0.0
Huascaj	Natural	Seca	3	17.3
Huascaj	Natural	Húmeda	3	17.3
Huascaj	Natural	Seca	4	0.0
Huascaj	Natural	Húmeda	4	11.4
Chuspicocha	Irrigada	Seca	1	90.0
Chuspicocha	Irrigada	Húmeda	1	14.0
Cuspicocha	Irrigada	Seca	2	32.0
Chuspicocha	Irrigada	Húmeda	2	14.0
Cuspicocha	Irrigada	Seca	3	45.0
Chuspicocha	Irrigada	Húmeda	3	21.7
Cuspicocha	Irrigada	Seca	4	36.0
Chuspicocha	Irrigada	Húmeda	4	0.0
Tambo Real	Irrigada	Seca	1	46.8
Tambo Real	Irrigada	Húmeda	1	9.5
Tambo Real	Irrigada	Seca	2	4.0
Tambo Real	Irrigada	Húmeda	2	0.0
Tambo Real	Irrigada	Seca	3	0.0
Tambo Real	Irrigada	Húmeda	3	17.0
Tambo Real	Irrigada	Seca	4	18.3
Tambo Real	Irrigada	Húmeda	4	12.3

Fuente: elaboración propia.

Dentro de la composición de la vegetación, se identificaron 04 especies de plantas, incluidas plantas de colchón, graminoides, musgos y otras plantas vasculares. Durante la época seca fue un poco más dificultoso la identificación de dichas especies.

Tabla 15. Características de la composición vegetal de las turberas evaluadas.

Turbera	Tipo	Especies dominantes
Huachipampa	Natural	<i>Distichia muscoides</i> , <i>Werneria pygmaea</i>
Huascaj	Natural	<i>Distichia muscoides</i> , <i>Werneria pygmaea</i> , <i>Phyloscirpus spp.</i>
Tambo Real	Irrigado	<i>Distichia muscoides</i> , <i>Poaceae</i> , <i>Astragalus sp.</i> , <i>Phyloscirpus spp.</i>
Chuspicocha	Irrigado	<i>Distichia muscoides</i> , <i>Poaceae</i> , <i>Astragalus sp.</i> , <i>Phyloscirpus spp.</i>

Fuente: elaboración propia.

#### 4.1.2.2. Mediciones de flujo de CO<sub>2</sub>

##### 4.1.2.2.1. Turberas naturales

Las mediciones de flujo de CO<sub>2</sub> realizadas en los meses de noviembre y febrero para las turberas naturales, reportan que la turbera de Huachipampa presenta ENE positivo, mientras que la turbera de Huascaj tiene un ENE negativo. Cabe resaltar que esta tendencia negativa está variando por los tipos de composición vegetal.

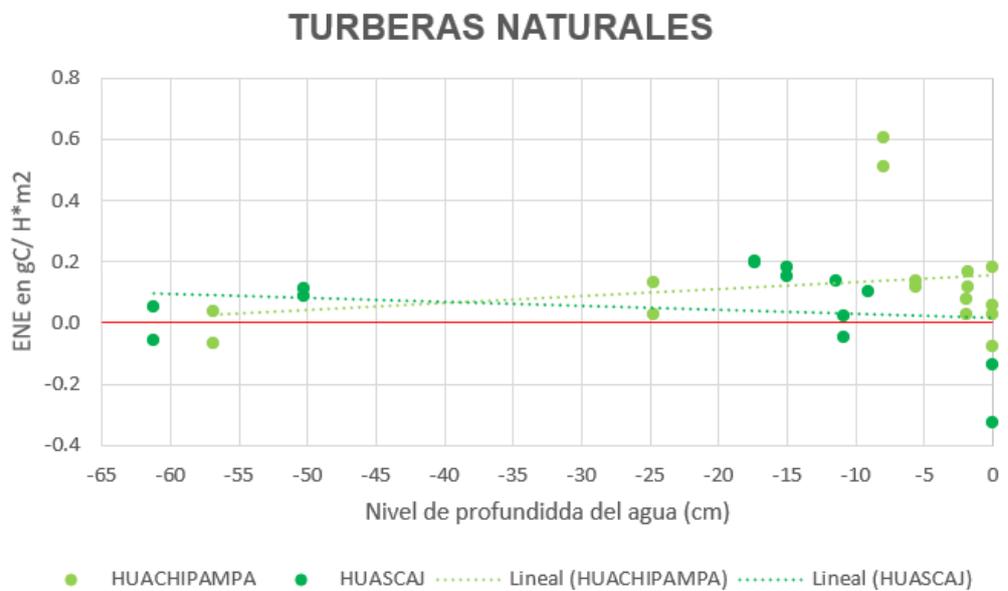


Figura 27. ENE de Huachipampa y Huascaj.

Fuente: elaboración propia.

Asimismo, dentro de la figura 27 se muestra que la mayoría de los datos son mayores a 0 en ENE, siendo positivos, demostrando que la mayoría de los datos muestran un ENE positivo cuando estos se encuentran más cerca de 0 del nivel del agua.

Tabla 16. Flujo de CO<sub>2</sub> en turberas naturales.

SITIO	TEMPORADA	PUNTO	REPETICIÓN	ENE (-)	ENE	H <sub>2</sub> O
Huachipampa	Seca	1	1	-0.0914	0.0914	0
Huachipampa	seca	1	2	-0.1523	0.1523	0
Huachipampa	Seca	1	3	0.2394	-0.2394	0
Huachipampa	Húmeda	1	1	-0.0564	0.0564	8
Huachipampa	Húmeda	1	2	-0.1314	0.1314	8
Huachipampa	Seca	2	1	-0.1342	0.1342	5.6
Huachipampa	Seca	2	2	-0.1183	0.1183	5.6
Huachipampa	Seca	2	3	-0.0187	0.0187	5.6
Huachipampa	Húmeda	2	1	-0.0579	0.0579	0
Huachipampa	Húmeda	2	2	-0.0271	0.0271	0
Huachipampa	Húmeda	2	3	0.0725	-0.0725	0
Huachipampa	Seca	3	1	0.0665	-0.0665	56.9
Huachipampa	Seca	3	2	-0.0349	0.0349	56.9
Huachipampa	Seca	3	3	0.0181	-0.0181	56.9
Huachipampa	Húmeda	3	1	-0.0271	0.0271	1.9
Huachipampa	Húmeda	3	2	-0.0753	0.0753	1.9
Huachipampa	Húmeda	3	3	-0.0169	0.0169	1.9
Huachipampa	Seca	4	1	-0.1304	0.1304	24.7
Huachipampa	Seca	4	2	-0.0288	0.0288	24.7
Huachipampa	Seca	4	3	0.0315	-0.0315	24.7
Huachipampa	Húmeda	4	1	-0.1176	0.1176	1.8
Huachipampa	Húmeda	4	2	-0.1655	0.1655	1.8
Huachipampa	Húmeda	4	3	-0.165	0.165	1.8
Huascaj	Seca	1	1	-0.0518	0.0518	61.2
Huascaj	Seca	1	2	0.0555	-0.0555	61.2
Huascaj	Húmeda	1	1	-0.1526	0.1526	15
Huascaj	Húmeda	1	2	-0.1811	0.1811	15
Huascaj	Seca	2	1	0.0459	-0.0459	10.9
Huascaj	Seca	2	2	-0.0197	0.0197	10.9
Huascaj	Seca	3	1	-0.0868	0.0868	50.2
Huascaj	Seca	3	2	-0.1101	0.1101	50.2

Huascaj	Húmeda	3	1	-0.2006	0.2006	17.3
Huascaj	Húmeda	3	2	-0.1977	0.1977	17.3
Huascaj	Seca	4	1	0.3288	-0.3288	0
Huascaj	Seca	4	2	0.1389	-0.1389	0
Huascaj	Húmeda	4	1	-0.1002	0.1002	9.1
Huascaj	Húmeda	4	2	-0.138	0.138	11.4

Fuente: elaboración propia.

En la tabla 16 se encuentra que algunos puntos como el punto N° 1 y 3 de Huachipampa en la época seca, y el N° 1, 2 y 4 de Huascaj en la época seca, muestran un ENE negativo, por lo cual se podría decir que el suelo estaría perdiendo CO<sub>2</sub> en estos puntos.

#### 4.1.2.2.2. Turberas artificialmente incrementadas

Las mediciones de flujo de CO<sub>2</sub> realizadas en los meses de noviembre y febrero para las turberas artificialmente incrementadas, reportan que la turbera de Chuspicocha tiene ENE positivo, mientras que la turbera de Huascaj tiene un ENE negativo, sin embargo, aún no se puede llegar a esta conclusión debido al periodo muy corto de toma de muestra, o algunas variables que no se consideraron en la investigación.

## TURBERAS ARTIFICIALMENTE INCREMENTADAS

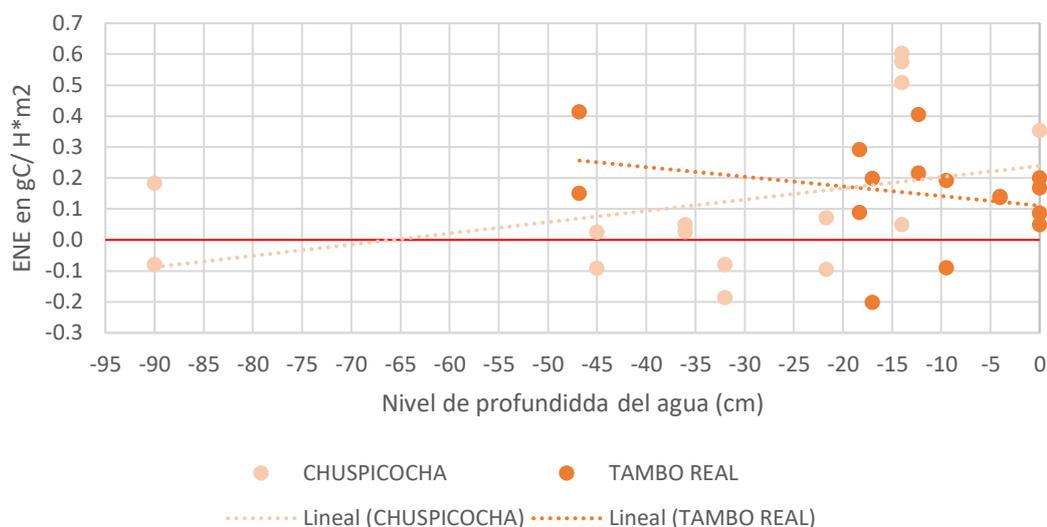


Figura 28. ENE de Chuspicocha y Tambo Real.

Fuente: elaboración propia.

Asimismo, dentro de la figura 28 se muestra que la mayoría de los datos son mayores a 0 en ENE, siendo estos positivos, demostrando que la mayoría de los datos muestran un ENE positivo cuando estos se encuentran más cerca de 0 del nivel del agua.

Tabla 17. Flujo de CO<sub>2</sub> en turberas artificialmente incrementados.

Sitio	Tipo	Temporada	Punto	Repetición	Ene	Ene	H <sub>2</sub> O
Chuspicocha	Irrigado	Seca	1	1	-0.1824	0.1824	-90
Chuspicocha	Irrigado	Seca	1	2	0.0793	-0.0793	-90
Chuspicocha	Irrigado	Húmeda	1	1	-0.6029	0.6029	-14
Chuspicocha	Irrigado	Húmeda	1	2	-0.5073	0.5073	-14
Chuspicocha	Irrigado	Seca	2	1	0.0808	-0.0808	-32
Chuspicocha	Irrigado	Seca	2	2	0.1871	-0.1871	-32
Chuspicocha	Irrigado	Húmeda	2	1	-0.5752	0.5752	-14
Chuspicocha	Irrigado	Húmeda	2	2	-0.0494	0.0494	-14
Chuspicocha	Irrigado	Seca	3	1	-0.0254	0.0254	-45
Chuspicocha	Irrigado	Seca	3	2	0.0922	-0.0922	-45
Chuspicocha	Irrigado	Húmeda	3	1	-0.071	0.0710	-21.7
Chuspicocha	Irrigado	Húmeda	3	2	0.0949	-0.0949	-21.7

Chuspicocha	Irrigado	Seca	4	1	-0.0489	0.0489	-36
Chuspicocha	Irrigado	Seca	4	2	-0.0266	0.0266	-36
Chuspicocha	Irrigado	Húmeda	4	1	-0.353	0.3530	0
Chuspicocha	Irrigado	Húmeda	4	2	-0.0826	0.0826	0
Tambo Real	Irrigado	Seca	1	1	-0.1505	0.1505	-46.8
Tambo Real	Irrigado	Seca	1	2	-0.414	0.4140	-46.8
Tambo Real	Irrigado	Húmeda	1	1	-0.1913	0.1913	-9.5
Tambo Real	Irrigado	Húmeda	1	2	0.0909	-0.0909	-9.5
Tambo Real	Irrigado	Seca	2	1	-0.1402	0.1402	-4
Tambo Real	Irrigado	Seca	2	2	-0.1371	0.1371	-4
Tambo Real	Irrigado	Húmeda	2	1	-0.1673	0.1673	0
Tambo Real	Irrigado	Húmeda	2	2	-0.2006	0.2006	0
Tambo Real	Irrigado	Seca	3	1	-0.086	0.0860	0
Tambo Real	Irrigado	Seca	3	2	-0.0493	0.0493	0
Tambo Real	Irrigado	Húmeda	3	1	-0.1978	0.1978	-17
Tambo Real	Irrigado	Húmeda	3	2	0.2013	-0.2013	-17
Tambo Real	Irrigado	Seca	4	1	-0.2921	0.2921	-18.3
Tambo Real	Irrigado	Seca	4	2	-0.0883	0.0883	-18.3
Tambo Real	Irrigado	Húmeda	4	1	-0.4048	0.4048	-12.3
Tambo Real	Irrigado	Húmeda	4	2	-0.2156	0.2156	-12.3

Fuente: elaboración propia.

En la tabla 17 se muestra que en los puntos N° 1, 2 y 3 de Chuspicocha, se aprecia un ENE Negativo en la época seca y húmeda, sin embargo, aún no se puede llegar a esta conclusión debido al periodo muy corto de toma de muestra, o algunas variables que no se consideraron en la investigación, Asimismo, se encontraron 02 puntos negativos en la época húmeda, correspondiente a Tambo Real N° 1 y 3.

#### 4.1.2.3. Análisis estadístico para diferencias turberas naturales y turberas artificialmente incrementadas

Para el análisis estadístico de la Eficiencia Neta del Ecosistema (ENE) para las turberas naturales (Huachipampa y Huascaj) y artificialmente incrementadas (Chuspicocha y Tambo Real).

- $H_0$ : la media de la tasa de la Eficiencia Neta del Ecosistema (ENE) de las turberas artificialmente incrementadas (Chuspicocha y Tambo Real) son iguales que, las turberas naturales (Huascaj y Huachipampa).
- $H_a$ : la media de la tasa de la Eficiencia Neta del Ecosistema (ENE) de las turberas artificialmente incrementadas (Chuspicocha y Tambo Real) es mayor que, las turberas naturales (Huascaj y Huachipampa).

a) Primer supuesto para determinar la normalidad:

Tabla 18. *Prueba de Anderson-Darling para las turberas naturales.*

N° Total	p
39	0.01802

Fuente: elaboración propia.

Los datos para las turberas naturales (Huachipampa y Huascaj) se comportan de forma no normal, ya que  $p = 0.01802$ ,  $p < 0.05$

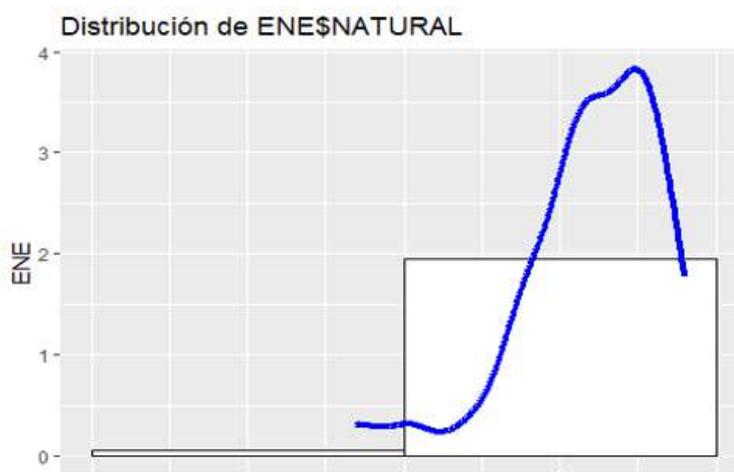


Figura 29. Gráfica de la prueba de Anderson-Darling - no normal.

Fuente: elaboración propia.

Tabla 19. Prueba de Anderson-Darling para las turberas artificialmente incrementadas.

N° Total	p
37	0.1163

Fuente: elaboración propia.

Los datos para las turberas artificialmente incrementadas (Chuspicocha y Tambo real) se comportan de forma normal, ya que  $p = 0.1163$ ,  $p > 0.05$

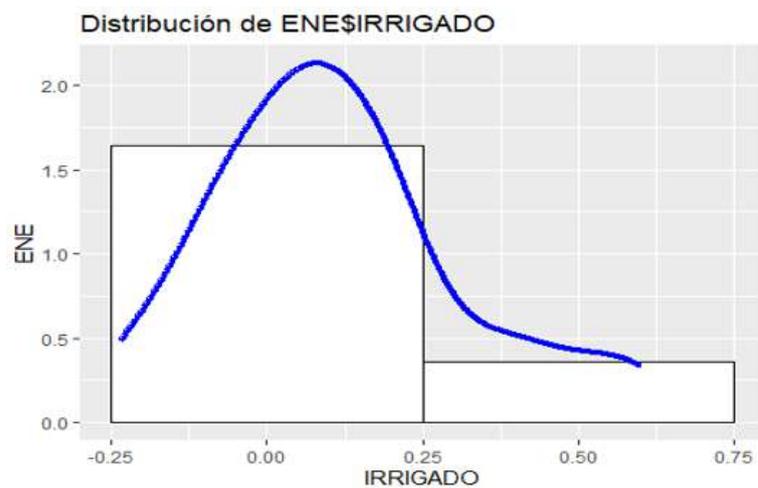


Figura 30. Grafica de la prueba de Anderson-Darling - normal.

Fuente: elaboración propia.

La teoría estadística precisa que cuando  $N > 30$ , permite asumir la normalidad de los datos, ya que a mayor sean las observaciones se va a tener una mayor aproximación a lo normal.

b) Segundo supuesto para determinar la homocedasticidad:

Tabla 20. Prueba de F de Snedecor.

N° Total	F	p
78	3.0322	0.001146

Fuente: elaboración propia.

Quiere decir que las variancias de las turberas naturales y turberas artificialmente incrementados no son iguales.

c) t - Welch:

Tabla 21. Prueba de t de Welch.

N° Total	Estadístico de prueba	gl	p
78	1.696	61.204	0.04748

Fuente: elaboración propia.

Existen diferencias entre las tasas de Eficiencia Neta del Ecosistema (ENE) de las turberas naturales y artificialmente incrementadas ( $p = 0.04748$ ,  $p < 0.05$ ), mientras que la turbera artificialmente incrementados es mayor ( $0.11 \text{ g}^*\text{C}/\text{h}^*\text{m}^2$ ) que las turberas naturales ( $0.05 \text{ g}^*\text{C}/\text{h}^*\text{m}^2$ ), de forma que la hipótesis  $H_0$  fue rechazada, porque las turberas artificialmente incrementadas (irrigadas) no son iguales, es decir, son diferentes que las turberas naturales.

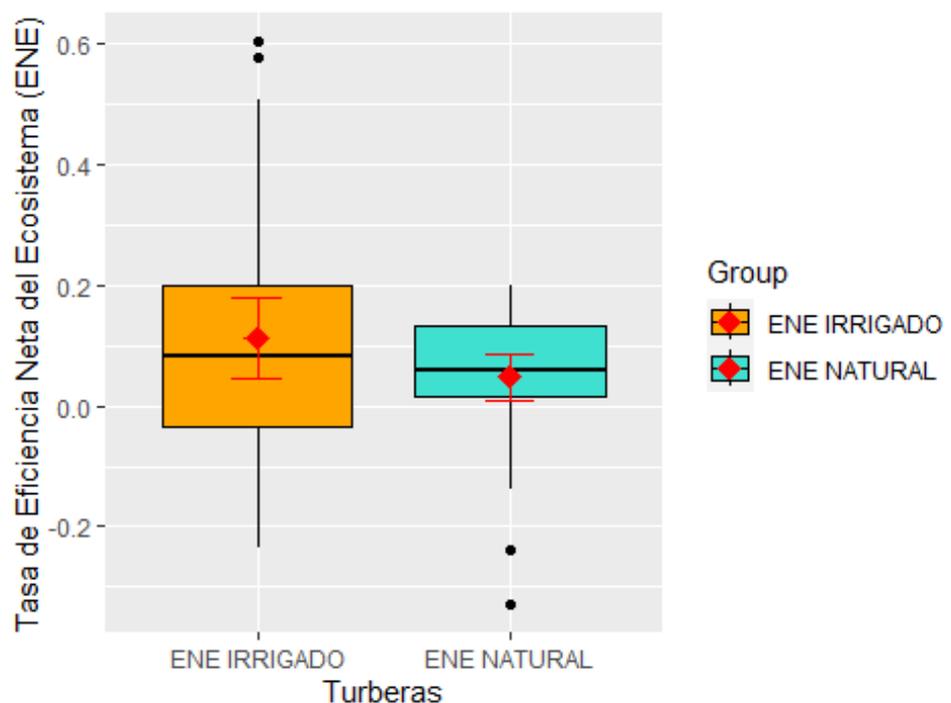


Figura 31. Prueba de t de Welch para la Tasa de Eficiencia Neta del Ecosistema.

Fuente: elaboración propia.

## 4.2. Discusión de resultados

Con base a los datos de almacenamiento de carbono, cobertura vegetal, nivel freático y Eficiencia Neta del Ecosistema (ENE), se encontraron algunos patrones para explicar de forma detallada de como ocurren estos procesos y cómo funcionan estos ecosistemas de turbera dentro de la Reserva Paisajística Nor Yauyos Cochabamba, perjudicando su sostenibilidad y conservación. Asimismo, muchos estarían siendo afectados bajo el escenario del cambio climático.

Las turberas estudiadas como parte de la investigación muestran un patrón hidrológico, siendo consideradas minerotróficas, con zonas de recarga asociadas a ladera en las que acumula agua subterránea producto de la infiltración en la temporada de lluvias propuestas por Cooper *et al.* (12).

### 4.2.1. Carbono almacenado

Las turberas estudiadas son grandes en comparación a otras reservas de turberas de montaña tropical (10). Las turberas naturales como Huachipampa y Huascaj tienen una profundidad mayor a 5 m, y en algunos puntos de Core se estimó unos 9 m aproximadamente, mientras que las artificialmente incrementadas presentaron una profundidad de 1 m, donde raras veces superaban esa profundidad.

El presente estudio permitió estimar todo el volumen de la cuenca de turberas y así obtener una mejor estimación de carbono almacenado para Huachipampa, Huascaj, Tambo Real y Chuspicocha (15782.6 t, 23219 t, 5173.5 t y 6037.3 t de masa de Carbono, respectivamente). Asimismo, es posible sostener que las turberas de puna pueden acumular depósitos profundos de turba a pesar de las condiciones áridas estacionales (10).

Las turberas estudiadas demostraron que si capturan carbono y se debe resaltar que las turberas naturales están capturando más, debido a su mayor extensión de área y profundidad, por lo tanto, mayor volumen en comparación con las artificialmente irrigadas que tienen una profundidad de 1 m. Además, que en la investigación no se muestra estas diferencias tan marcadas debido a que las muestras de Core para hallar la densidad

aparente y el carbono porcentual fueron tomadas en los puntos más profundos para las turberas naturales y artificialmente incrementadas, por lo tanto, no muestra muchas diferencias en los resultados de estos.

#### 4.2.2. Eficiencia Neta del Ecosistema

##### 4.2.2.1. Nivel de agua

Las turberas estudiadas muestran que el nivel de agua que se encontró tanto en la época seca y húmeda son diferentes; el nivel del agua encontrado *in situ* se encuentra más bajo en la época seca que en la húmeda, sin embargo, en algunos puntos de las turberas investigadas está pasando lo contrario, lo cual no se puede identificar con los datos presentados en este documento, es posible que haya un cambio hidrológico impulsado por el clima u por otras variables lo menciona Holden (13), ya que estos procesos a pequeña escala pueden tener impactos globales a través de liberación exagerada de carbono terrestre y que estos problemas podrían ser irreversibles en la perturbación de la turba.

El estudio también demostró que las turberas son apoyadas principalmente por el agua subterránea de la ladera y la precipitación porque durante la época seca se encontró agua a un nivel más profundo, sin haber alguna precipitación durante la semana de toma de datos. Igual otros estudios también demuestran que muchas de las turberas de los Andes centrales tienen las mismas características como los estudios realizados en Bolivia y Cordillera Blanca en Perú (11).

##### 4.2.2.2. Mediciones de flujo de CO<sub>2</sub>

Para las mediciones de flujo de CO<sub>2</sub>, se analizó por los sitios y el nivel de agua teniendo que las turberas naturales se

encuentran con Eficiencia Neta del Ecosistema (ENE) positivo, pero que en Huascaj se muestra que se tiene una tendencia negativa de ENE, lo cual podría haberse afectado por que la toma de datos no fue suficiente para la extensión de área de esta turbera.

Asimismo, dentro de las turberas naturales de Huachipampa se muestra que cuando tiene más agua captura más carbono, lo que no sucede con Huascaj debido a que no se tiene datos con mucha agua y hace que se vea reflejada con esa tendencia negativa.

Las turberas artificialmente artificiales como Chuspicocha presentan un ENE positivo, cuanto más cerca se encuentre el nivel del agua del suelo, esta captura más carbono, a diferencia de Tambo Real donde se tiene un ENE positivo, pero con una tendencia negativa, lo cual estaría sucediendo por tener pocos datos con agua.

Para las cuatro turberas estudiadas se podría decir que tienen un ENE positivo, sin embargo, se tienen algunos puntos con un ENE Negativo, considerando u observando ciertas variables que se estudiaron como en el artículo de Planas-Clarke *et al.* (11), donde se evaluaron más variables, lo cual disminuía el porcentaje de error, precisando que existe la posibilidad que estos puntos estén dentro del porcentaje de error.

En las turberas artificialmente incrementadas no se encontró un mayor nivel de agua durante el tiempo de estudio ya que estas al encontrarse irrigadas deberían tener una mayor cantidad de agua, sin embargo, se pudo observar que estas presentan una mayor cantidad de plantas de vigor a diferencia de las naturales, donde no se encontraban plantas de colchón como *Distichia muscoides*. Estas turberas probablemente sean capaces de mantener condiciones del suelo saturadas debido a la infiltración de la ladera de la precipitación y el deshielo que recarga la capa freática local y descarga en las turberas durante todo el año (12).

De acuerdo con la prueba estadística al rechazarse a la hipótesis nula ( $H_0$ ) y aceptar la hipótesis alterna ( $H_a$ ), la tasa de la Eficiencia Neta del Ecosistema (ENE) de las turberas artificialmente incrementadas (Chuspicocha y Tambo Real) es mayor que las turberas naturales (Huascay y Huachipampa). Se determinó que las turberas artificialmente incrementadas tienen una mayor ENE en comparación con las turberas naturales; cabe resaltar que esta diferencia no es significativa como se puede apreciar en la figura 31, por lo que se puede decir que ambas turberas se encuentran afectadas por el cambio climático como sucede en las montañas rocosas de Colorado y Wyoming (2), siendo afectadas porque se encuentran en elevaciones altas de la Cordillera de los Andes y su cercanía a la línea ecuatorial no favorecía su preservación, sin embargo, para tener una mayor exactitud es recomendable que el periodo de medición sea más prolongado.

## CONCLUSIONES

- Existen diferencias en el almacenamiento de y dinámica de carbono entre las turberas naturales y artificialmente incrementadas. Las turberas naturales presentan mayor carbono acumulado Huachipampa (15782.6 t) y Huascaj (23219.1 t) en comparación con las artificialmente incrementadas Tambo Real (5173.5 t) y Chuspicocha (6037.3 t.).
- Las turberas artificialmente incrementadas presentan mayor Eficiencia Neta del Ecosistema (ENE) en comparación con las turberas naturales, debido a que la provisión de agua fue variable durante la época de investigación, sin embargo, al encontrarse estos ecosistemas con mayor cantidad de agua se mostraba que el vigor de la cobertura vegetal se encontraba mejor que de las turberas naturales.

## RECOMENDACIONES

La investigación tiene un resultado que consiste, básicamente, en una serie de hipótesis sobre factores hidrológicos, climáticos, cobertura vegetal, y sobre las plantas de almohadillas que conservan la turba, lo cual engloba a datos empíricos (observaciones *in situ*), por lo que es necesario que las mediciones sean prolongadas por más tiempo y así confirmar si los supuestos planteados son correctos, de forma que es necesario realizar más investigaciones en los temas siguientes:

- Estudios sobre el balance de agua dentro de ecosistemas de turberas.
- Estudios sobre dinámica de carbono, considerando por lo menos los 12 meses, para realizar las mediciones.
- Variaciones de las turberas en la época seca y húmeda.

Para estudios posteriores, se recomienda tener más muestras de forma que se obtenga un panorama más amplio del lugar de estudio.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) OYAGUE, E. Variabilidad de factores hidrológicos e hidráulicos en cuatro turberas de los Andes centrales. Tesis de Maestría (Magíster Scientiae en Recursos Hídricos). Lima: Universidad Nacional Agraria La Molina, 2021.
- (2) MILLAR, D., y otros. Mountain peatlands range from CO<sub>2</sub> sinks at high elevations to sources at low elevations: Implications for a changing climate. *Ecosystems*, 2016, 20, 416-432 pp. DOI 10.1007/s10021-016-0034-7.
- (3) MITSCH, W. y GOSELINK, J. The value of wetlands: importance of scale and landscape setting. *Ecological Economics*, 2000, 35(1), 25-33 pp. DOI 10.1016/S0921-8009(00)00165-8.
- (4) RAMSAR [en línea]. Fichas Informativas de Ramsar, 2014 [Fecha de consulta: 9 de julio de 2020]. Disponible en: <https://www.ramsar.org/es/recursos/fichas-informativas-de-ramsar>.
- (5) RYDIN, H. y JEGLUM, J. *The biology of peatlands*. Reino Unido: Oxford University Press, 2013. ISBN: 978-0-19-960299-5.
- (6) PROGRAMA DE LAS NACIONES UNIDAS PARA EL MEDIO AMBIENTE [en línea]. Nuevo informe: Conservar y restaurar las turberas para reducir las emisiones globales, 2021 [fecha de consulta: 2 de diciembre de 2022]. Disponible en: <http://www.unep.org/es/noticias-y-reportajes/comunicado-de-prensa/nuevo-informe-conservar-y-restaurar-las-turberas-para>.
- (7) MINISTERIO DEL AMBIENTE. *Guía de evaluación del estado del ecosistema de bofedal*. Lima: Dirección General del Ordenamiento Territorial Ambiental, 2019.
- (8) GRUPO INTERGUBERNAMENTAL DE EXPERTOS SOBRE EL CAMBIO CLIMÁTICO. *Cambio climático 2014: Informe de síntesis*. Ginebra: IPCC, 2014. ISBN: 978-92-9169-343-6.
- (9) FLUIXÁ-SANMARTÍN, J., y otros. Highlights and lessons from the implementation of an early warning system for glacier lake outburst floods in Carhuaz, Peru. [aut. libro] S. HOSTETTLER, S. NAJIH y J. BOLAY. *Technologies for development*. Cham: Springer International Publishing, 2018.
- (10) HRIBLJAN, J., y otros. Carbon storage and long-term rate of accumulation in high-altitude Andean peatlands of Bolivia. *Mires and Peat*, 2015, 15(12), 1-14 pp. ISSN: 1819-754X.

- (11) PLANAS-CLARKE, A., y otros. The effect of water table levels and short-term ditch restoration on mountain peatland carbon cycling in the Cordillera Blanca, Peru. *Wetlands Ecology and Management*, 2020, 28(1), 51-69 pp. DOI 10.1007/s11273-019-09694-z.
- (12) COOPER, D., y otros. Drivers of peatland water table dynamics in the central Andes, Bolivia and Peru. *Hydrological Processes*, 2019, 33(13), 1913-1925 pp. DOI 10.1002/hyp.13446.
- (13) HOLDEN, J. Peatland hydrology and carbon release: why small-scale process matters. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 2005, 363(1837), 2891-2913 pp. DOI 10.1098/rsta.2005.1671.
- (14) MALDONADO, M. *An introduction to the bofedales of the Peruvian High Andes*. *Mires and Peat*, 2014, 15(1).
- (15) NATIONAL WETLANDS WORKING GROUP [en línea]. Canadian Wetland Classification System, 1997 [fecha de consulta: 31 de marzo de 2021]. Disponible en: <http://www.wetlandpolicy.ca/canadian-wetland-classification-system>.
- (16) SQUEO, F., y otros. Bofedales: high altitude peatlands of the central Andes. *Rev. Chilena de Historia Natural*, 2006, 79(2), 245-255 pp. ISSN: 0716-078X.
- (17) CHIMNER, R., y otros. Mapping mountain peatlands and wet meadows using multi-date, multi-sensor remote sensing in the Cordillera Blanca, Peru. *Wetlands*, 2019, 39(5). DOI 10.1007/s13157-019-01134-1.
- (18) BALDOCEDA, I. Análisis de la humedad de suelo de los bofedales Huachipampa y Tambo Real, en la Reserva Paisajística Nor Yauyos Cochabamba. Tesis (Título de Ingeniero Ambiental). Lima: Universidad Católica Sedes Sapientiae, 2020.
- (19) JOOSTEN, H. y CLARKE, D. *Wise use of mires and peatlands: background and principles including a framework for decision-making*. Greifswald: International Peat Society, 2002. ISBN: 978-951-97744-8-0.
- (20) HERNÁNDEZ-SAMPIERI, R. y MENDOZA, R. *Metodología de la investigación: las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*. México D.F.: McGraw-Hill, 2018. ISBN: 978-1-4562-6096-5.
- (21) PARRY, L., y otros. *Evaluating approaches for estimating peat depth*. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*, 2014, 119(4), 567-576 pp. DOI 10.1002/2013JG002411.

- (22) HOGAN, J., y otros. Field methods for measuring hydraulic properties of peat deposits. *Hydrological Processes*, 2006, 20(17), 3635-3649 pp. DOI 10.1002/hyp.6379.
- (23) ESRI [en línea]. ArcGIS 10.8.1, 2020 [fecha de consulta: 19 de enero de 2022]. Disponible en: <https://desktop.arcgis.com/es/arcmap/latest/get-started/setup/arcgis-desktop-quick-start-guide.htm>.
- (24) BURGESS, T. y WEBSTER, R. Optimal interpolation and isarithmic mapping of soil properties: The semi-variogram and punctual kriging. *European Journal of Soil Science*, 2019, 70(1), 11-19 pp. DOI 10.1111/ejss.12784.
- (25) CHAMBERS, F., BEILMAN, D. y YU, Z. Methods for determining peat humification and for quantifying peat bulk density. *Mires and Peat*, 2011, 7(7), 1-10 pp.
- (26) HIJMANS, H., y otros [en línea]. Geosphere: spherical trigonometry, 2019 [fecha de consulta: 14 de mayo de 2020]. Disponible en: [https://scholar.google.com/scholar\\_lookup?title=Geosphere:+spherical+trigonometry.+R+package+version+1.3%E2%80%9311&author=RJ+Hijmans&author=E+Williams&author=C+Vennes&publication\\_year=2014&](https://scholar.google.com/scholar_lookup?title=Geosphere:+spherical+trigonometry.+R+package+version+1.3%E2%80%9311&author=RJ+Hijmans&author=E+Williams&author=C+Vennes&publication_year=2014&).
- (27) CHIMNER, R. y KARBERG, J. Long-term carbon accumulation in two tropical mountain peatlands, Andes Mountains, Ecuador. *Mires and Peat*, 2008, 3(4), 1-10 pp.
- (28) SKRZYPEK, G., y otros. *Distichia peat* - A new stable isotope paleoclimate proxy for the Andes. *Earth and Planetary Science Letters*, 2011, 307(3), 298-308 pp.
- (29) REZANEZHAD, F., y otros. Structure of peat soils and implications for water storage, flow and solute transport: A review update for geochemists. *Chemical Geology*, 2016, 429, 75-84 pp.
- (30) REZANEZHAD, F., y otros. Influence of pore size and geometry on peat unsaturated hydraulic conductivity computed from 3D computed tomography image analysis. *Hydrological Processes*, 2010, 24(21), 2983-2994 pp.
- (31) EARLE, L., WARNER, B. y ARAVENA, R. Rapid development of an unusual peat-accumulating ecosystem in the Chilean Altiplano. *Quaternary Research*, 2003, 59(1), 2-11 pp. DOI 10.1016/S0033-5894(02)00011-X.
- (32) KOCK, S., y otros. Stable oxygen Isotope records ( $\delta^{18}\text{O}$ ) of a High-Andean cushion peatland in NW Argentina (24° S) Imply South American summer monsoon related moisture changes during the late holocene. *Frontiers in Earth Science*, 2019, 7, 45 pp.

## **ANEXOS**

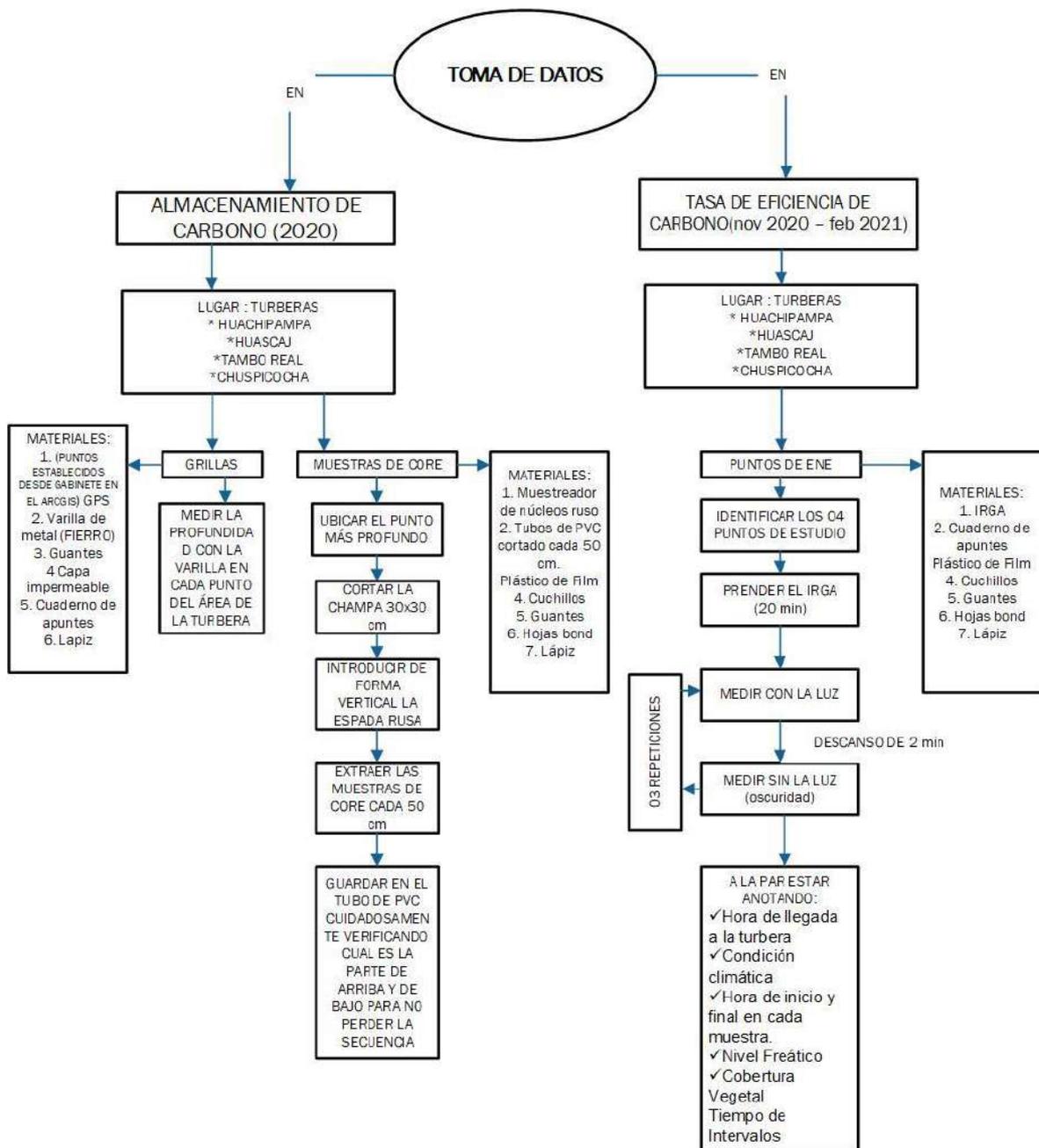
Anexo 1. Tabla de datos de ENE.

SITIO	TIPO	TEMPORADA	PUNTO	REPETICIÓN	ENE	PPB	RE	H2O	PAR	T_AIRE	DOMINANTE
Huachipampa	Natural	Seca	1	1	-0.1824	0.4086	0.591	0	890	25.5	Dimu
Huachipampa	Natural	Seca	1	2	0.0793	0.5523	0.473	0	465.8	18.3	Dimu
Huachipampa	Natural	Humeda	1	1	-0.6029	-0.1409	0.462	-8	465	18.3	Dimu
Huachipampa	Natural	Humeda	1	2	-0.5073	0.1167	0.624	-8	465	18.3	Dimu
Huachipampa	Natural	Seca	2	1	-0.1342	0.0358	0.17	-5.6	649	25	Dimu_Inv
Huachipampa	Natural	Seca	2	2	-0.1183	0.0427	0.161	-5.6	543	22.2	Dimu_Inv
Huachipampa	Natural	Humeda	2	1	-0.0579	0.0001	0.058	0	218.42	11.93	Dimu_Inv
Huachipampa	Natural	Humeda	2	2	-0.0271	0.0169	0.044	0	206.55	12.98	Dimu_Inv
Huachipampa	Natural	Seca	3	1	0.0665	0.4535	0.387	-56.9	490.45	30.84	Wepi
Huachipampa	Natural	Seca	3	2	-0.0349	0.2321	0.267	-56.9	956.23	21.87	Wepi
Huachipampa	Natural	Humeda	3	1	-0.0271	0.0359	0.063	-1.9	181.01	11.29	Wepi
Huachipampa	Natural	Humeda	3	2	-0.0753	0.1187	0.194	-1.9	219.05	20.057	Wepi
Huachipampa	Natural	Seca	4	1	-0.1304	0.0096	0.14	-24.7	330.37	25.84	Dimu_Wepi
Huachipampa	Natural	Seca	4	2	-0.0288	0.0232	0.052	-24.7	339.15	21.41	Dimu_Wepi
Huachipampa	Natural	Humeda	4	1	-0.1176	0.2694	0.387	-1.8	1012.97	25.89	Dimu_Wepi
Huachipampa	Natural	Humeda	4	2	-0.1655	-0.0535	0.112	-1.8	764.26	21.22	Dimu_Wepi
Huascaj	Natural	Seca	1	1	-0.0518	0.2572	0.309	-61.2	286.39	15.36	Wepi_Inv
Huascaj	Natural	Seca	1	2	0.0555	0.2325	0.177	-61.2	181.71	14.97	Wepi_Inv
Huascaj	Natural	Humeda	1	1	-0.1526	0.0304	0.183	-15	162.69	12.7	Wepi_Inv
Huascaj	Natural	Humeda	1	2	-0.1811	0.0769	0.258	-15	255.12	13.2	Wepi_Inv
Huascaj	Natural	Seca	2	1	0.0459	0.2109	0.165	-10.9	215.78	16.7	Wepi_Dimu
Huascaj	Natural	Seca	2	2	-0.0197	0.1373	0.157	-10.9	377.57	23.1	Wepi_Dimu
Huascaj	Natural	Seca	3	1	-0.0868	0.0072	0.094	-50.2	951.21	33.34	Wepi_Inv
Huascaj	Natural	Seca	3	2	-0.1101	-0.0221	0.088	-50.2	333.27	20.1	Wepi_Inv
Huascaj	Natural	Humeda	3	1	-0.2006	-0.1026	0.098	-17.3	367.47	15.57	Wepi_Inv
Huascaj	Natural	Humeda	3	2	-0.1977	-0.0177	0.18	-17.3	142.9	11.62	Wepi_Inv
Huascaj	Natural	Seca	4	1	0.3288	0.7358	0.407	0	332.35	29.49	Wepi_Inv
Huascaj	Natural	Seca	4	2	0.1389	0.2299	0.091	0	297.41	18.15	Wepi_Inv
Huascaj	Natural	Humeda	4	1	-0.1002	0.0448	0.145	-9.1	170.16	10.52	Wepi_Inv
Huascaj	Natural	Humeda	4	2	-0.138	0.084	0.222	-11.4	170.47	14.39	Wepi_Inv
Chuspicocha	Irrigado	Seca	1	1	-0.1824	0.4086	0.591	-90	497.08	22.33	Dimu
Chuspicocha	Irrigado	Seca	1	2	0.0793	0.5523	0.473	-90	163.44	13.95	Dimu
Chuspicocha	Irrigado	Humeda	1	1	-0.6029	-0.1409	0.462	-14	245.69	30.83	Dimu
Chuspicocha	Irrigado	Humeda	1	2	-0.5073	0.1167	0.624	-14	633.55	33.36	Dimu
Chuspicocha	Irrigado	Seca	2	1	0.0808	0.6538	0.573	-32	240.91	19.01	Plantago
Chuspicocha	Irrigado	Seca	2	2	0.1871	0.4221	0.235	-32	90.9	11.13	Plantago
Chuspicocha	Irrigado	Humeda	2	1	-0.5752	0.4298	1.005	-14	1139.68	32.45	Plantago
Chuspicocha	Irrigado	Humeda	2	2	-0.0494	0.2606	0.31	-14	116.08	12.45	Plantago
Chuspicocha	Irrigado	Seca	3	1	-0.0254	0.3546	0.38	-45	205.23	16.14	Poaceas
Chuspicocha	Irrigado	Seca	3	2	0.0922	0.4102	0.318	-45	107.39	11.34	Poaceas
Chuspicocha	Irrigado	Humeda	3	1	-0.071	0.133	0.204	-21.7	334.71	16.6	Poaceas
Chuspicocha	Irrigado	Humeda	3	2	0.0949	0.2369	0.142	-21.7	112.5	12.64	Poaceas
Chuspicocha	Irrigado	Seca	4	1	-0.0489	0.1101	0.159	-36	156.83	14.7	Dimu_Wepi
Chuspicocha	Irrigado	Seca	4	2	-0.0266	0.1424	0.169	-36	114.64	11.45	Dimu_Wepi
Chuspicocha	Irrigado	Humeda	4	1	-0.353	-0.166	0.187	0	369.17	18.29	Dimu_Wepi
Chuspicocha	Irrigado	Humeda	4	2	-0.0826	0.1294	0.212	0	147.74	10.59	Dimu_Wepi
Tambo Real	Irrigado	Seca	1	1	-0.1505	0.3255	0.476	-46.8	678.25	34.27	Dimu_Inv
Tambo Real	Irrigado	Seca	1	2	-0.414	-0.046	0.368	-46.8	841.24	28.02	Dimu_Inv
Tambo Real	Irrigado	Humeda	1	1	-0.1913	-0.0233	0.168	-9.5	392.21	19.01	Dimu_Inv
Tambo Real	Irrigado	Humeda	1	2	0.0909	0.2909	0.2	-9.5	44.5	7.23	Dimu_Inv
Tambo Real	Irrigado	Seca	2	1	-0.1402	0.2508	0.391	-4	753.27	25.54	Wepi_Inv
Tambo Real	Irrigado	Seca	2	2	-0.1371	-0.0451	0.092	-4	392.82	24.99	Wepi_Inv
Tambo Real	Irrigado	Humeda	2	1	-0.1673	-0.0563	0.111	0	230.58	13.19	Wepi_Inv
Tambo Real	Irrigado	Humeda	2	2	-0.2006	-0.0126	0.188	0	193.07	15.11	Wepi_Inv
Tambo Real	Irrigado	Seca	3	1	-0.086	0.501	0.587	0	772.93	27.85	Dimu_Wepi

Tambo Real	Irrigado	Seca	3	2	-0.0493	0.5227	0.572	0	876.19	24.84	Dimu_Wepi
Tambo Real	Irrigado	Humeda	3	1	-0.1978	0.0242	0.222	-17	295.9	17.05	Dimu_Wepi
Tambo Real	Irrigado	Humeda	3	2	0.2013	0.5143	0.313	-17	887.61	27.17	Dimu_Wepi
Tambo Real	Irrigado	Seca	4	1	-0.2921	0.4029	0.695	-18.3	491.26	21.07	Poaceas_Inv
Tambo Real	Irrigado	Seca	4	2	-0.0883	0.2177	0.306	-18.3	539.99	21.92	Poaceas_Inv
Tambo Real	Irrigado	Humeda	4	1	-0.4048	0.1392	0.544	-12.3	626.22	23.48	Poaceas_Inv
Tambo Real	Irrigado	Humeda	4	2	-0.2156	0.3794	0.595	-12.3	741.82	24.83	Poaceas_Inv

Fuente: elaboración propia.

## Anexo 2. Flujograma de la toma de datos.



Fuente: elaboración propia.

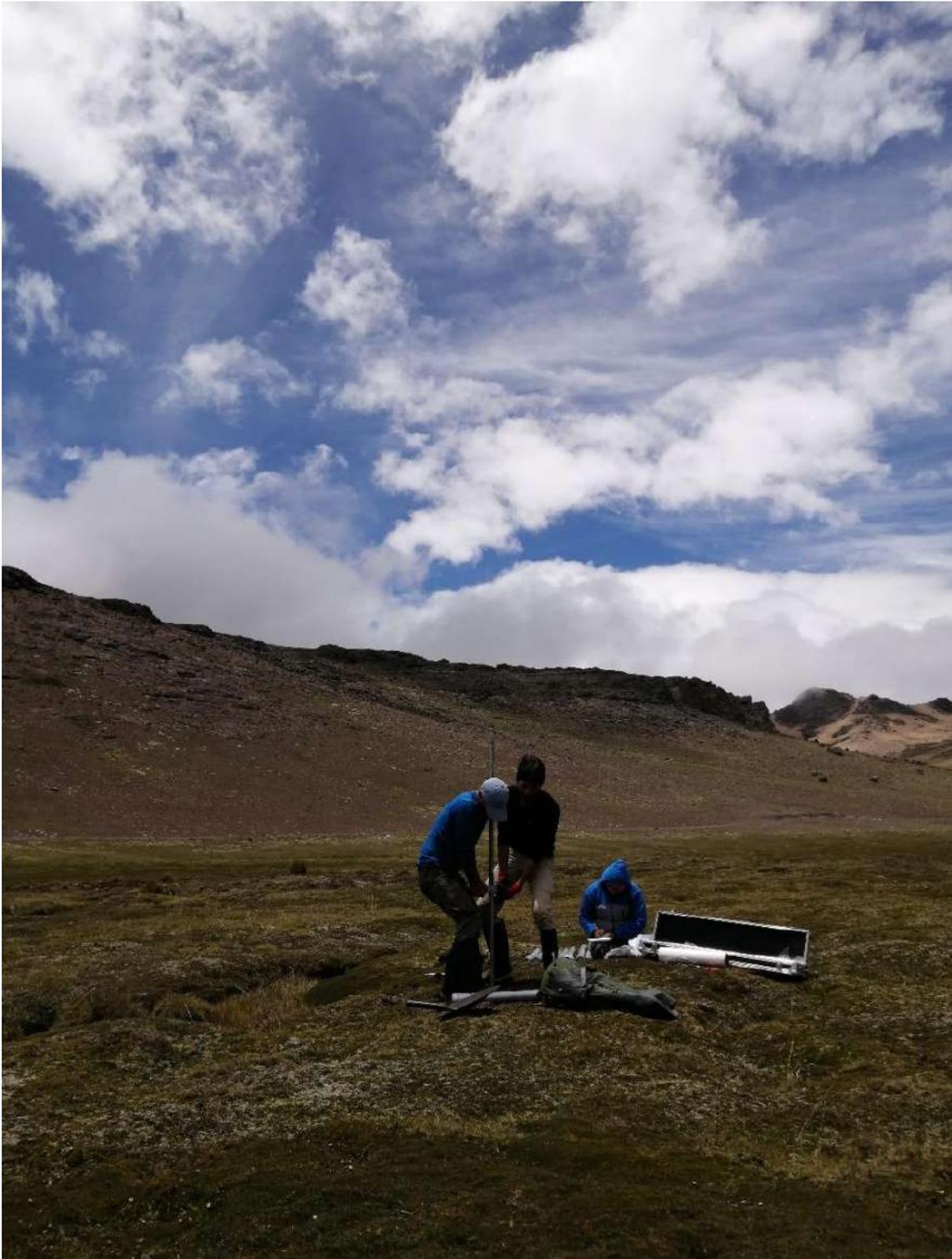
**Anexo 3. Panel fotográfico.**



Fotografía 1. Cortando la cobertura vegetal a unos 10 cm de profundidad, para sacar las muestras de Core.



Fotografía 2. Muestra de Core extraída de la Turbera de Huascaj.



Fotografía 3. Forma de cómo se extrae la muestra de Core.



Fotografía 4. Muestra de Core extraída de la turbera, con uso de un muestreador de núcleos ruso.



Fotografía 5. Muestras de Core cortadas cada 25 centímetros, para su posterior análisis en el laboratorio.



Fotografía 6. Equipamiento para las salidas a campo para la toma de datos con el IRGA.



Fotografía 7. Toma de muestra de captura de CO<sub>2</sub> con luz solar.



Fotografía 8. Toma de muestra de captura CO<sub>2</sub> con tela traslucida para simular sin luz solar.



Fotografía 9. Punto de toma del nivel freático en la turbera.



Fotografía 10. Toma de apuntes de los resultados obtenidos en campo.