

**UNIVERSIDAD CATÓLICA SEDES SAPIENTIAE**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS Y AMBIENTALES**



Evaluación de la relación entre el estado de conservación y el nivel  
de almacenamiento de carbono del bofedal sector Moya en el  
Santuario Histórico de Chacamarca, Junín

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

**AUTORES**

Paola Velissa Galarza Barzola  
Judith Bethzy Jorge Chachi

**ASESORES**

Eduardo Oyague Passuni  
Wilfredo Mendoza Caballero

Tarma, Perú

2024

## METADATOS COMPLEMENTARIOS

### Datos de los Autores

#### Autor 1

|                                   |  |
|-----------------------------------|--|
| Nombres                           |  |
| Apellidos                         |  |
| Tipo de documento de identidad    |  |
| Número del documento de identidad |  |
| Número de Orcid (opcional)        |  |

#### Autor 2

|                                   |  |
|-----------------------------------|--|
| Nombres                           |  |
| Apellidos                         |  |
| Tipo de documento de identidad    |  |
| Número del documento de identidad |  |
| Número de Orcid (opcional)        |  |

#### Autor 3

|                                   |  |
|-----------------------------------|--|
| Nombres                           |  |
| Apellidos                         |  |
| Tipo de documento de identidad    |  |
| Número del documento de identidad |  |
| Número de Orcid (opcional)        |  |

#### Autor 4

|                                   |  |
|-----------------------------------|--|
| Nombres                           |  |
| Apellidos                         |  |
| Tipo de documento de identidad    |  |
| Número del documento de identidad |  |
| Número de Orcid (opcional)        |  |

---

### Datos de los Asesores

#### Asesor 1

|                                   |  |
|-----------------------------------|--|
| Nombres                           |  |
| Apellidos                         |  |
| Tipo de documento de identidad    |  |
| Número del documento de identidad |  |
| Número de Orcid (Obligatorio)     |  |

#### Asesor 2

|                                   |  |
|-----------------------------------|--|
| Nombres                           |  |
| Apellidos                         |  |
| Tipo de documento de identidad    |  |
| Número del documento de identidad |  |
| Número de Orcid (Obligatorio)     |  |

### Datos del Jurado

#### Presidente del jurado

|                                   |  |
|-----------------------------------|--|
| Nombres                           |  |
| Apellidos                         |  |
| Tipo de documento de identidad    |  |
| Número del documento de identidad |  |

#### Segundo miembro

|                                   |  |
|-----------------------------------|--|
| Nombres                           |  |
| Apellidos                         |  |
| Tipo de documento de identidad    |  |
| Número del documento de identidad |  |

#### Tercer miembro

|                                   |  |
|-----------------------------------|--|
| Nombres                           |  |
| Apellidos                         |  |
| Tipo de documento de identidad    |  |
| Número del documento de identidad |  |

### Datos de la Obra

|  |  |
|--|--|
| Materia*   |  |
| Campo del conocimiento OCDE<br>Consultar el listado: |  |
| Idioma   |  |
| Tipo de trabajo de investigación                     |  |
| País de publicación                                  |  |
| Recurso del cual forma parte (opcional)              |  |
| Nombre del grado                                     |  |
| Grado académico o título profesional                 |  |
| Nombre del programa                                  |  |
| Código del programa<br>Consultar el listado:         |  |

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

**ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS****ACTA N° 044 - 2024/UCSS/FCAA/DI**

Siendo las 4:00 p.m. del lunes 16 de setiembre de 2024 a través de la plataforma virtual zoom de la Universidad Católica Sedes Sapientiae, el Jurado de Tesis integrado por:

- |                                       |                 |
|---------------------------------------|-----------------|
| 1. Amada Victoria Larco Aguilar       | presidente      |
| 2. Mirton Enrique Crisólogo Rodríguez | primer miembro  |
| 3. Denis Izquierdo Hernández          | segundo miembro |
| 4. Wilfredo Mendoza Caballero         | asesor(a)       |

Se reunieron para la sustentación virtual de la tesis titulada:

**Evaluación de la relación entre el estado de conservación y el nivel de almacenamiento de carbono del bofedal sector Moya en el Santuario Histórico de Chacamarca, Junín**

Que presentan las bachilleres en **Ciencias Ambientales**:

**Paola Velissa Galarza Barzola**  
**Judith Bethzy Jorge Chachi**

Cumpliendo así con los requerimientos exigidos por el reglamento para la modalidad de titulación; la presentación y sustentación de un trabajo de investigación original, para obtener el Título Profesional de **Ingeniero Ambiental**.

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

|            |          |
|------------|----------|
| APROBAR    | <b>X</b> |
| DESAPROBAR | ...      |

La tesis, con el calificativo de **MUY BUENA** y eleva la presente acta al decanato de la **Facultad de Ciencias Agrarias y Ambientales**, a fin de que se declare EXPEDITA para conferirle el TÍTULO de INGENIERO AMBIENTAL.

Lima, 16 de setiembre de 2024.



Amada Victoria Larco Aguilar  
Presidente



Mirton Enrique Crisólogo Rodríguez  
1° miembro



Denis Izquierdo Hernández  
2° miembro



Wilfredo Mendoza Caballero  
Asesor(a)

Anexo 2

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

Lima, 25 de enero de 2024

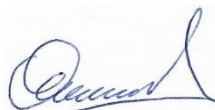
Señora,  
Mónica Beaumont Valdez  
Coordinadora del Departamento de Investigación  
Facultad de Ingeniería Agraria

Reciba un cordial saludo.

Sirva el presente para informar que **la tesis** / informe académico/ trabajo de investigación/ trabajo de suficiencia profesional, bajo mi asesoría, con título: **Evaluación de la relación entre el estado de conservación y el nivel de almacenamiento de carbono del bofedal sector Moya en el Santuario Histórico de Chacamarca, Junín**, presentado por **Paola Velissa Galarza Barzola** (código de estudiante 2016100336 y DNI Nro. 75838606) y **Judith Bethzy Jorge Chachi** (código de estudiante 2016100346 y DNI Nro. 75595844) para optar el título profesional/ grado académico de **Ingeniero Ambiental** ha sido revisado en su totalidad por mi persona y **CONSIDERO** que el mismo se encuentra **APTO** para ser sustentado ante el Jurado Evaluador.

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

Sin otro particular, me despido de usted. Atentamente,



---

Wilfredo Mendoza Caballero  
DNI N°: 23978854  
ORCID: 0000-0003-4542-5590  
Facultad de Ingeniería Agraria - UCSS

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

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

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

**Anexo 2****CARTA DE CONFORMIDAD DEL ASESOR(A) DE TESIS / INFORME ACADÉMICO/ TRABAJO DE INVESTIGACIÓN/ TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL CON INFORME DE EVALUACIÓN DEL SOFTWARE ANTIPLAGIO**

Lima, 25 de enero de 2024

Señora,  
Mónica Beaumont Valdez  
Coordinadora del Departamento de Investigación  
Facultad de Ingeniería Agraria

Reciba un cordial saludo.

Sirva el presente para informar que **la tesis** / informe académico/ trabajo de investigación/ trabajo de suficiencia profesional, bajo mi asesoría, con título: **Evaluación de la relación entre el estado de conservación y el nivel de almacenamiento de carbono del bofedal sector Moya en el Santuario Histórico de Chacamarca, Junín, presentado por Paola Velissa Galarza Barzola (código de estudiante 2016100336 y DNI Nro. 75838606) y Judith Bethzy Jorge Chachi (código de estudiante 2016100346 y DNI Nro. 75595844)** para optar el título profesional/grado académico de **Ingeniero Ambiental** ha sido revisado en su totalidad por mi persona y **CONSIDERO** que el mismo se encuentra **APTO** para ser sustentado ante el Jurado Evaluador.

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

Sin otro particular, me despido de usted. Atentamente,

A handwritten signature in blue ink, appearing to be 'J. G.', is written over a horizontal line.

Firma del Asesor (a)  
DNI N°: 10772196  
ORCID: 0000-0003-3376-021X  
Facultad de Ingeniería Agraria - UCSS

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

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

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

## **DEDICATORIA**

La presente tesis está dedicada a Dios, por estar conmigo en todo momento, brindándome las fuerzas para enfrentar cada desafío encontrado en el desarrollo de mi formación académica.

A mis padres Willy y Clelia por ser los pilares fundamentales, que en el transcurso de mi vida me supieron inculcar valores y confiaron en mi persona y en mis deseos de superación, depositando su entera confianza en cada reto que se me presentaba sin dudar ni un solo momento en mi capacidad, por todo su esfuerzo, sacrificio y apoyo incondicional; a ellos mi amor y agradecimiento infinito.

A todas las personas que me acompañaron en este proceso, por su soporte, confianza y motivación que me ayudaron a lograr satisfactoriamente una meta más.

Paola Velissa Galarza Barzola

Dedico esta tesis a Dios, por permitirme cumplir mis metas, brindarme calma, fuerza y sabiduría para poder superar todas las adversidades.

A mis amados padres Víctor y Elva por su amor infinito, apoyo, confianza y comprensión, por ser mi guía y lugar seguro. A mi amada hermana Katy por ser mi inspiración y motor para alcanzar mis metas. A mi querido Tío Jesús, que en vida me motivo a seguir mis sueños y ahora es una estrella que guía e ilumina mi camino. Este logro es para mi familia que me enseñó que todas las metas se cumplen si tenemos la confianza en nosotros mismos y la fuerza para levantarnos cuando todo parece en nuestra contra.

A todas mis amistades que con su compañía me brindaron momentos de profunda felicidad.

Judith Bethzy Jorge Chachi

## AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a la Universidad Católica Sedes Sapientiae, plana docente y administrativa, por su labor como educadores, que nos acompañaron y guiaron durante nuestra formación académica, inculcándonos valores y principios que fueron claves para nuestro desarrollo profesional.

Agradecemos inmensamente al Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado, por el financiamiento otorgado a través del Fondo de Promoción de las Áreas Naturales Protegidas del Perú (PROFONANPE) mediante el “III Concurso de becas de investigaciones en Áreas Naturales Protegidas por el Estado”

Al Santuario Histórico de Chacamarca, por permitir el desarrollo de la investigación. A la Jefatura del Área, por la calidez de acogernos y acompañarnos, al Ingeniero Ronald Medrano y guardaparques quienes nos brindaron todas las facilidades para que la investigación se desarrolle con éxito.

A nuestros Asesores Biólogo Eduardo Oyague Passuni y Biólogo Wilfredo Mendoza Caballero, brillantes investigadores que nos guiaron durante el proceso de investigación, quienes a través de sus experiencias y constantes consejos nos inculcaron el placer por la investigación y la conservación.

Finalmente agradecemos, a todas nuestras amistades, que forman parte de nuestra vida universitaria y laboral, quienes, a través de sus consejos y apoyo emocional, formaron parte de la investigación motivándonos continuamente a cumplir nuestra meta profesional.



# ÍNDICE GENERAL

|   | Pág. |
|---|------|
| ÍNDICE GENERAL .....                                  | viii |
| ÍNDICE DE TABLAS .....                                | x    |
| ÍNDICES DE FIGURAS.....                               | xi   |
| ÍNDICE DE APÉNDICES .....                             | xiii |
| RESUMEN.....  | xiv  |
| ABSTRACT .....  | xv   |
| INTRODUCCIÓN .....                                    | 1    |
| OBJETIVOS.....  | 4    |
| Objetivo general.....                                 | 4    |
| Objetivos específicos .....                           | 4    |
| CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO .....                       | 5    |
| 1.1 Antecedentes.....                                 | 5    |
| Ambito internacional.....                             | 5    |
| Ámbito nacional.....                                  | 8    |
| 1.2 Bases teóricas especializadas.....                | 11   |
| 1.2.1 Cambio climático .....                          | 11   |
| 1.2.2 Calentamiento global.....                       | 12   |
| 1.2.3 El ciclo del carbono.....                       | 12   |
| 1.2.5 Almacenamiento de carbono .....                 | 13   |
| 1.2.6 Ecosistema de bofedal .....                     | 13   |
| 1.2.7 Tipos de bofedales.....                         | 14   |
| 1.2.8 Estado de conservación del bofedal .....        | 15   |
| 1.2.9 Turberas .....                                  | 15   |
| 1.2.10 Captura de carbono por bofedales.....          | 15   |
| 1.2.11 Servicios ecosistémicos .....                  | 15   |
| 1.2.12 Servicios ecosistémicos de los bofedales ..... | 16   |
| 1.2.13 Principales amenazas de los bofedales .....    | 17   |
| CAPÍTULO II: MATERIALES Y MÉTODOS .....               | 18   |
| 2.1 Diseño de la investigación.....                   | 18   |
| 2.2 Lugar y fecha .....                               | 18   |
| 2.3 Población y muestra.....                          | 19   |

|   |     |
|---|-----|
| 2.4 Técnicas e instrumentos .....                         | 20  |
| 2.6 Identificación de las variables y su mensuración..... | 28  |
| 2.7 Diseño estadístico de los datos .....                 | 29  |
| 2.8 Materiales y equipos.....                             | 29  |
| CAPÍTULO III: RESULTADOS .....                            | 31  |
| CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN.....                               | 81  |
| CAPÍTULO V: CONCLUSIONES .....                            | 87  |
| CAPÍTULO VI: RECOMENDACIONES .....                        | 89  |
| REFERENCIAS .....   | 90  |
| TERMINOLOGÍA.....   | 100 |
| APÉNDICES .....   | 102 |

## ÍNDICE DE TABLAS

|   | Pág. |
|---|------|
| Tabla 1. <i>Tipos de bofedales</i> .....  | 14   |
| Tabla 2. <i>Servicios ecosistémicos de bofedales</i> .....  | 16   |
| Tabla 3. <i>Principales amenazas de los bofedales</i> .....   | 20   |
| Tabla 4. <i>Variabes y su mensuración</i> .....   | 29   |
| Tabla 5. <i>Materiales, equipos y servicios que se emplearon en la investigación</i> .....              | 29   |
| Tabla 6. <i>Familias y especies de flora identificadas mediante el método del cuadrante</i> .....       | 71   |
| Tabla 7. <i>Cobertura vegetal y almacenamiento de carbono</i> .....                                     | 72   |
| Tabla 8. <i>Volumen de turba estimado por estratos</i> .....  | 78   |
| Tabla 9. <i>Volumen de turba estimado por estado de conservación</i> .....                              | 80   |
| Tabla 10. <i>Correlación entre volumen de turba, cantidad de carbono y estado de conservación</i> ..... | 94   |
| Tabla 11. <i>Análisis económico y financiero de carbono</i> .....                                       | 95   |

## ÍNDICES DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| <i>Figura 1.</i> Mapa de ubicación del bofedal sector Moya .....  | 24 |
| <i>Figura 2.</i> Mapa de Ubicación de puntos de muestreo .....  | 30 |
| <i>Figura 3.</i> Cobertura vegetal del punto de muestreo T1-P1 .....  | 39 |
| <i>Figura 4.</i> Cobertura vegetal del punto de muestreo T1-P2.....   | 40 |
| <i>Figura 5.</i> Cobertura vegetal del punto de muestreo T1-P3.....   | 41 |
| <i>Figura 6.</i> Cobertura vegetal del punto de muestreo T2-P1 .....  | 43 |
| <i>Figura 7.</i> Cobertura vegetal del punto de muestreo T2-P2.....   | 44 |
| <i>Figura 8.</i> Cobertura vegetal del punto de muestreo T2-P3.....   | 46 |
| <i>Figura 9.</i> Cobertura vegetal del punto de muestreo T3-P1 .....  | 48 |
| <i>Figura 10.</i> Cobertura vegetal del punto de muestreo T3-P2.....  | 38 |
| <i>Figura 11.</i> Cobertura vegetal del punto de muestreo T3-P3 .....   | 50 |
| <i>Figura 12.</i> Cobertura vegetal del punto de muestreo T4-P1 .....   | 51 |
| <i>Figura 13.</i> Cobertura vegetal del punto de muestreo T4-P2.....  | 53 |
| <i>Figura 14.</i> Cobertura vegetal del punto de muestreo T4-P3 .....   | 54 |
| <i>Figura 15.</i> Cobertura vegetal del punto de muestreo T5-P1 .....   | 55 |
| <i>Figura 16.</i> Cobertura vegetal del punto de muestreo T5-P2.....  | 56 |
| <i>Figura 17.</i> Cobertura vegetal del punto de muestreo T5-P3.....  | 57 |
| <i>Figura 18.</i> Cobertura vegetal del punto de muestreo T6-P1 .....   | 58 |
| <i>Figura 19.</i> Cobertura vegetal del punto de muestreo T6-P2.....  | 59 |
| <i>Figura 20.</i> Cobertura vegetal del punto de muestreo T6-P3.....  | 61 |
| <i>Figura 21.</i> Cobertura vegetal del punto de muestreo T7-P1 .....   | 62 |
| <i>Figura 22.</i> Cobertura vegetal del punto de muestreo T7-P2.....  | 63 |
| <i>Figura 23.</i> Cobertura vegetal del punto de muestreo T7-P3.....  | 64 |
| <i>Figura 24.</i> Cobertura vegetal del punto de muestreo T8-P1 .....   | 65 |
| <i>Figura 25.</i> Cobertura vegetal del punto de muestreo T8-P2.....  | 66 |
| <i>Figura 26.</i> Cobertura vegetal del punto de muestreo T8-P3.....  | 67 |
| <i>Figura 27.</i> Cobertura vegetal del punto de muestreo T9-P1 .....   | 68 |
| <i>Figura 28.</i> Cobertura vegetal del punto de muestreo T9-P2.....  | 69 |
| <i>Figura 29.</i> Cobertura vegetal del punto de muestreo T9-P3.....  | 70 |
| <i>Figura 30.</i> Análisis Non-Metric Multidimensional Scaling NMDS .....   | 75 |
| <i>Figura 31.</i> Análisis de gráfico ANOSIM.....   | 77 |
| <i>Figura 32.</i> Distribución de Carbono Orgánico mediante el método de Walkley y<br>Black y método de calcinación en el estrato 0 a 0,15 m..... | 81 |

|   |    |
|---|----|
| <i>Figura 33.</i> Distribución de Carbono Orgánico mediante el método de Walkley y Black y método de calcinación en el estrato 0,15 m a 0,65 m. ....                        | 82 |
| <i>Figura 34.</i> Distribución de Carbono Orgánico mediante el método de Walkley y Black y método de calcinación en el estrato 0,64 m a 1,15 m. ....                        | 83 |
| <i>Figura 35.</i> Distribución de Carbono Orgánico mediante el método de Walkley y Black y método de calcinación en el estrato 1,15 m a 1,65 m. ....                        | 84 |
| <i>Figura 36.</i> Distribución de Carbono Orgánico mediante el método de Walkley y Black y método de calcinación en diferentes estratos .....                               | 85 |
| <i>Figura 37.</i> Distribución de Carbono Orgánico mediante el método de Walkley y Black y método de calcinación en estado de conservación Excelente .....                  | 87 |
| <i>Figura 38.</i> Distribución de Carbono orgánico mediante método de Walkley y Black y método de calcinación en estado de conservación Bueno. ....                         | 72 |
| <i>Figura 39.</i> Distribución de Carbono orgánico mediante método de Walkley y Black y método de calcinación en estado de conservación Regular. ....                       | 73 |
| <i>Figura 40.</i> Distribución de Carbono orgánico mediante método de Walkley y Black y método de calcinación en estado de conservación Pobre. ....                         | 90 |
| <i>Figura 41.</i> Mapa de Distribución de Carbono orgánico mediante método de Walkley y Black y método de calcinación en zonas con diferentes estados de conservación. .... | 91 |
| <i>Figura 42.</i> Correlación entre el estado de conservación y el contenido de carbono mediante el método de Walkley y Black .....   | 93 |
| <i>Figura 43.</i> Correlación entre el estado de conservación y el contenido de carbono mediante el método de calcinación .....   | 94 |
| <i>Figura 44.</i> Correlación entre el estado de conservación y volumen de turba. ....  | 95 |

## ÍNDICE DE APÉNDICES

|  |     |
|--|-----|
| Apéndice 1. <i>Fotografías</i> .....   | 102 |
| Apéndice 2. <i>Mapa de estado de Conservación</i> .....  | 107 |
| Apéndice 3. <i>Especies registradas en los puntos de muestreo del bofedal sector Moya</i> .... | 108 |
| Apéndice 4. <i>Flujograma del proceso de Walkley y Black</i> .....                             | 111 |

## RESUMEN

Los bofedales son sumideros de carbono que reducen el CO<sub>2</sub> de la atmósfera contribuyendo a mitigar el cambio climático, la investigación tuvo como finalidad evaluar la relación entre el estado de conservación y el almacenamiento de carbono del bofedal sector Moya, del Santuario Histórico de Chacamarca. Se emplearon metodologías como el cuadrante para determinar la cobertura vegetal, evaluando 54 puntos de muestreo; y la metodología de Walkley y Black, para determinar el carbono almacenado, identificando 27 puntos de muestreo de donde se extrajeron 61 muestras de turba. Los resultados indican que la cobertura vegetal está compuesta principalmente por *Poa spicigera* Tovar, *Hypochaeris meyeniana* (Walp.) Benth. & Hook. f. ex Griseb y *Oritrophium limnophilum* (Sch. Bip.) Cuatrec. En cuanto al carbono almacenado se registró 47 150,24 Tc/ha, distribuidos según estado de conservación: 109,47 gC/kg (Excelente), 78,84 gC/kg (Buena), 62,25 gC/kg (Regular) y 25,33 gC/kg (Pobre). Se concluyó que la cobertura vegetal refleja el impacto del sobrepastoreo. Asimismo, se concluye que el carbono almacenado fue mayor en zonas con estado de conservación Excelente y Buena, mostrando diferencias significativas de zonas con estado de conservación Regular y Pobre, evidenciando que el sobrepastoreo afecta directamente la capacidad del bofedal para capturar y almacenar carbono.

**Palabras claves:** bofedal, carbono, sobrepastoreo, turba, Walkley y Black.

## ABSTRACT

Wetlands are carbon sinks that reduce CO<sub>2</sub> in the atmosphere, contributing to mitigating climate change. The purpose of the research was to evaluate the relationship between the state of conservation and carbon storage of the Moya sector wetlands, of the Historical Sanctuary of Chacamarca. Methodologies such as the quadrant were used to determine the vegetation cover, evaluating 54 sampling points; and the Walkley and Black methodology, to determine the stored carbon, identifying 27 sampling points from which 61 peat samples were extracted. The results indicate that the vegetation cover is mainly composed of *Poa spicigera* Tovar, *Hypochaeris meyeniana* (Walp.) Benth. & Hook. F. ex Griseb and *Oritrophium limnophilum* (Sch. Bip.) Cuatrec. Regarding stored carbon, 47,150.24 Tc/ha were recorded, distributed according to state of conservation: 109.47 gC/kg (Excellent), 78.84 gC/kg (Good), 62.25 gC/kg (Fair) and 25.33 gC/kg (Poor). It was concluded that vegetation cover reflects the impact of overgrazing. Likewise, it is concluded that the stored carbon was greater in areas with Excellent and Good conservation status, showing significant differences from areas with Regular and Poor conservation status, evidencing that overgrazing directly affects the wetland's capacity to capture and store carbon.

**Keywords:** carbon, overgrazing, peat, Walkley and Black, wetland



## INTRODUCCIÓN

El cambio climático es una de las grandes amenazas de los ecosistemas altoandinos (Useros, 2012; IPCC, 2014), debido a que los cambios de temperatura están provocando disminución de los glaciares, principal fuente hídrica que mantiene a los bofedales. Sumado a factores antrópicos como la sobreexplotación del territorio, sobrepastoreo, agricultura no sostenible y el desconocimiento de uso racional de este ecosistema por parte de la población (Barra, 2019), que contribuyen con la degradación de estos sumideros naturales de carbono (Departamento de Investigación y Documentación Parlamentaria [DIDP], 2018).

En el 2002 durante la 8ª Conferencia de las partes de la Convención relativa de humedales de Importancia Internacional, mediante la Resolución VIII.39 indica a los humedales altoandinos como ecosistemas estratégicos, debido a su valor como espacio para el desarrollo de las comunidades campesinas y la alta biodiversidad que posee (Secretaría de la Convención de Ramsar, 2002). En el Perú el Ministerio de Ambiente (MINAM, 2005) mediante la Ley General de Ambiente N° 28611, Artículo N° 99 declara a los bofedales como ecosistemas altamente frágiles y de vital importancia para su conservación.

Estos humedales altoandinos también conocidos como bofedal u “oconal”, es un ecosistema único, altamente sensible y complejo (Ministerio de Ambiente [MINAM], 2019). Formado principalmente por especies herbáceas de tipo gramínoideas (Flóres, 2005), los que se caracterizan por presentar formaciones vegetales tipo cojín (Ostria, 1987; Estensoro, 1991).

Los bofedales se ubican principalmente entre los 3 200 a 5 000 m s.n.m. (Squeo *et al.*, 2006). En el Perú se estima que el área total de los bofedales es de 1 052 210,60 ha, lo que representa el 0,8 % del territorio nacional. Distribuido en 19 departamentos, entre Puno, Arequipa y Cusco se calcula que está distribuido del 57 % de los bofedales, con una superficie aproximada de 607

712,80 ha (Instituto Nacional de Investigación de Glaciares y Ecosistemas de Montaña [INAIGEM ], 2023).

La importancia de los bofedales se debe a que este ecosistema brinda diversos servicios vitales para la población y ambiente, siendo el servicio de captura y almacenamiento de carbono la más importante (Oyague, 2021; Alvis, 2018). Los humedales poseen una tasa de almacenamiento de carbono mayor que cualquier otro ecosistema (Consejo Consultivo Científico para el Cambio Global [WBGU], 1998).

Pese a la importancia de los bofedales en el Perú son pocos los estudios realizados sobre mediciones de flujos de carbono (Turner *et al.*, 2006). Por otro lado, hay pocos estudios sobre la profundidad o características de la turba en los bofedales. Ante la falta de información el Ministerio del Ambiente a través de INAIGEM, ha desarrollado investigaciones que buscan cerrar la brecha actual y de esta manera contribuir a la conservación del ecosistema (INAIGEM, 2023).

Ante la realidad el presente estudio se desarrolló en el bofedal sector Moya que se encuentra en el Área Natural Protegida Santuario Histórico de Chacamarca, ubicado entre las provincias de Junín, Tarma y San Pedro de Cajas. Esta área alberga especies de flora y fauna propias de este ecosistema, como también suelos residuales con poca profundidad denominada turba el cual por sus características es un sumidero natural de carbono. Sin embargo, el bofedal es usado actualmente por la cooperativa agrícola San Francisco de Chichausiri para el desarrollo de la actividad ganadera (Instituto Nacional de Recursos Naturales [INRENA], 2007).

Es así como, la presente investigación tuvo como finalidad evaluar la relación entre el estado de conservación y el nivel de almacenamiento de turba del bofedal sector Moya el Santuario Histórico de Chacamarca, los resultados obtenidos contribuirán con brindar información sobre la función de almacenamiento de carbono en la turba del bofedal. Asimismo, servirá

como fuente de información para futuras investigaciones como también para la toma de decisiones a favor de la conservación de este ecosistema.

## **OBJETIVOS**

### **Objetivo general**

Evaluar la relación entre el estado de conservación y el nivel de almacenamiento de carbono del bofedal sector Moya en el Santuario Histórico de Chacamarca.

### **Objetivos específicos**

- Determinar la cobertura vegetal en relación al almacenamiento de carbono del bofedal sector Moya en el Santuario Histórico de Chacamarca.
- Determinar la distribución del contenido total de carbono a diferentes profundidades y en sectores con distinto estado de conservación del bofedal sector Moya en el Santuario Histórico de Chacamarca.
- Calcular el volumen total de turba almacenado del bofedal sector Moya en el Santuario Histórico de Chacamarca.
- Analizar la correlación entre el volumen de turba, la cantidad de carbono y el estado de conservación del bofedal sector Moya en el Santuario Histórico de Chacamarca
- Realizar el análisis económico y financiero del almacenamiento de carbono del bofedal sector Moya en el Santuario Histórico de Chacamarca.

## CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO

### 1.1 Antecedentes

#### Ámbito internacional

Lozano (2017) investigó la “Valoración económica de carbono capturado en el suelo de los bofedales de la reserva de producción de fauna Chimborazo (RPFCh)”, Ecuador. El objetivo del estudio fue valorar económicamente el carbono orgánico almacenado en el suelo de los bofedales de la RPFCh y su efecto por la actividad antrópica. Para ello, empleó el método de calicata para cuantificar y valorar el Carbono Orgánico Total (COT) almacenado, que consistió en realizar una calicata de 1 x 1 x 1 m para la extracción de muestras, posterior a ello procedió a recoger las muestras de cada horizonte en un recipiente cerrado con el etiquetado correspondiente, para el análisis físico químico utilizó la Metodología del Manual para Análisis de Suelo de la Red de Laboratorios de Suelos del Ecuador, finalmente para la valoración económica del almacenamiento de carbono realizó una revisión de los precios que establece en el mercado de carbono a nivel mundial. Los resultados mostraron que el 75 % de los bofedales correspondieron a un régimen hidromórfico. Además, el suelo del bofedal almacenó altos niveles de materia orgánica 7,27 %, el cual representó el 97,32 tC orgánico en una extensión de 519 ha, que de acuerdo con el análisis económico financiero representaron un Valor Anual Neto de \$ 323 217 y una Tasa Interna de Retorno del 128 %. Asimismo, determinó que mientras el grado de amenaza (GA) incrementó, el valor económico (VE) del carbono orgánico disminuyó, por lo tanto, de acuerdo al coeficiente de correlación de Pearson GA vs VE fue -0,62. Por consiguiente, concluyó que podría ser viable la implementación de un modelo de pago por servicios ecosistémicos a través de la comercialización de créditos de carbono.

Hribljan *et al.* (2016) realizaron un estudio sobre “Reservas de carbono en turberas y tasas de acumulación en el páramo ecuatoriano”, Ecuador. El objetivo fue cuantificar la existencia

de carbono y las tasas de acumulación en suelos de turberas de páramo en dos regiones del noreste de Ecuador. La metodología que emplearon fue recolectar núcleos de turba (cores) en la Reserva Ecológica Antisana y el Parque Nacional Cayambe-Coca. A partir de estos núcleos midieron la densidad de carbono a diferentes profundidades dataron mediante  $^{14}\text{C}$  cada uno de dichos estratos para estimar las tasas de acumulación a lo largo del tiempo. Los resultados mostraron que la profundidad media de la capa de turba en ambas regiones fue de 3,80 m y contenía en promedio 1 282 t/ha/año. Las turberas con una antigüedad mayor de 3 000 años tuvieron una tasa media de acumulación de C de 0,000 026 t/m<sup>2</sup>/año; mientras que, en aquellas con edades menores a 500 años, la tasa media de acumulación de C fue 0,000134 t/m<sup>2</sup>/año. Estas turberas reciben grandes aportes de material mineral, predominantemente de la deposición volcánica, lo que ha creado muchos horizontes de suelos minerales no turbosos que contenían hasta 48 % del carbono medido. Los autores concluyeron que el páramo ecuatoriano contiene turberas que acumulan C en sus suelos desde hace más de 7 000 años, además en las turberas de mayor edad y los densos en C han producido mayor almacenamiento de C.

Hribljan *et al.* (2015) desarrollaron un estudio sobre el “Almacenamiento de carbono y la tasa de acumulación a largo plazo en turberas andinas de gran altitud de Bolivia”, Bolivia. El objetivo fue cuantificar los reservorios de carbono, las edades basales y las tasas de acumulación de turba a largo plazo en las turberas (Manasaya y Tuni) en dos áreas de la ecorregión de puna árida de Bolivia. Para este estudio realizaron la extracción de un solo núcleo de cada uno de los dos sitios de estudio, los 50 cm superiores de cada turbera fue extraído con un descorazonador de cloruro de polivinilo (PVC) de 10 cm de diámetro por 50 cm de largo, asimismo, las muestras de secciones de núcleo más profundas (< 50 cm) fueron realizadas con un perforador de turba de patrón ruso, una vez recolectadas, las muestras de turba fueron cortadas en secciones de 10 cm en el campo, finalmente transportadas al laboratorio y las secciones del núcleo fueron secadas en un horno de convección a 65 °C hasta obtener una masa constante. Las secciones del núcleo fueron cortadas la mitad en muestras de aproximadamente 5 cm de largo para análisis de carbono (C). La proporción de materia orgánica fue determinada en una submuestra de aproximadamente 1 g de la muestra molida para todas las secciones del núcleo mediante el método de pérdida de peso por ignición (Loss On Ignition - LOI) a 550 °C durante cuatro horas. Por otro lado, para

determinar la edad y las tasas de acumulación de turba fueron analizadas la datación masiva con carbono 14. Los resultados dieron a conocer que la edad basal de Manasaya fue de 3 675 años, la existencia de carbono fue 1 040 t/ha/año y la tasa de acumulación de turba a largo plazo fue 1,4 mm/año y una tasa de acumulación de masa de suelo de 0,000 22 t/m<sup>2</sup>/año, con una tasa de acumulación d carbono a largo plazo (LARCA) de 0,000047 t/m<sup>2</sup>/año, por otro lado, Tuni tuvo una edad basal de 2 230 años, la existencia de carbono fue 572 t/ha/año y la tasa de acumulación de turba a largo plazo fue 2,20 mm/año y una tasa de acumulación de masa de suelo 0,00008 t/m<sup>2</sup>/año, con un LARCA de 0,000037 t/m<sup>2</sup>/año. Los autores concluyeron que, a pesar del ambiente seco de la puna boliviana, la región contiene numerosas turberas con altas reservas de carbono y rápidas tasas de acumulación de carbono utilizadas para el pastoreo de llamas y alpacas.

Cooper *et al.* (2015) realizaron una investigación titulada “Crecimiento y producción de carbono orgánico en las turberas dominadas por *Distichia muscoides*, Bolivia, América del Sur”. Evaluaron cuatro bofedales de los Andes tropicales de Bolivia (en la Cordillera Real y la Cordillera Occidental); cuyo objetivo fue medir el crecimiento y producción de carbono orgánico en las turberas dominadas por *Distichia muscoides*. En octubre de 2012 iniciaron el estudio, utilizando el sistema de alambres para medir el crecimiento de la planta y finalizaron el estudio en marzo de 2014; como parte del muestreo recolectaron núcleos de bloques de cojines de *Distichia* de 30 x 30 cm del área superficial y aproximadamente 30 cm de profundidad sin alterar su densidad o volumen para así determinar la biomasa y la tasas de producción de carbono orgánico; las muestras fueron secadas en un horno a 105 °C durante 24 horas, posteriormente pesados y quemado en una mufla a 550 °C durante siete horas. Los resultados que obtuvieron indicaron que el crecimiento de las plantas fue de 0,10 a 5,37 cm/año, señalando el rápido crecimiento principalmente durante la época húmeda. El promedio de producción neta de carbono orgánico para los cuatro bofedales osciló entre 1,50 a 4,00 kg/m<sup>2</sup>/año, estos valores de acumulación de turba fueron reportados para ecosistemas de altas elevaciones. Los autores concluyeron que los métodos utilizados en su estudio proporcionaron un enfoque importante para estudios estacionales, anuales y a largo plazo de las plantas en cojín y deberían emplearse ampliamente para proporcionar información importante, para monitorear los efectos del cambio climático en las condiciones del bofedal.

## **Ámbito nacional**

Galarza y Jorge (2020) desarrollaron la investigación titulada “Evaluación del estado de conservación del bofedal sector Moya en el Santuario Histórico de Chacamarca, Junín”. Tuvieron como objetivo determinar el estado de conservación del bofedal durante la época húmeda. La metodología que utilizaron fue el transecto al paso, empleando un anillo censador de 2 cm de diámetro. Establecieron nueve transectos, los cuales fueron repartidos aleatoriamente en tres zonas de muestreo, los cuales fueron seleccionadas según el tipo de uso que tenía el bofedal sector Moya, obtuvieron 900 puntos de evaluación. Los resultados mostraron que el bofedal sector Moya presentó estados de conservación que varían de Excelente, Bueno, Regular y Pobre, asimismo, soportó una carga animal de 1,50 UA/ha/año en relación al ganado ovino. Por otro lado registraron en el bofedal 40 especies de flora, distribuidas en 27 géneros, pertenecientes a 15 familias, siendo la más diversa la familia Asteraceae con 10 especies, Poaceae con 6 especies y Cyperaceae con 4 especies, asimismo, respecto a la diversidad alfa, estimada mediante el índice de Simpson, esta presentó una baja dominancia con un valor de 0,91 mientras que el índice de Shannon-Wiener presentó una diversidad alta con un valor de 4,12 y en cuanto a la diversidad beta, según el índice de Jaccard, determinaron que comparten en común entre las zonas de estudio 66 y 58 % de similitud. Las autoras concluyeron que el bofedal sector Moya presenta diferentes estados de conservación.

Muñoz (2020) realizó un estudio sobre “Evaluación de la Eficiencia Neta mediante la acumulación de carbono, en base a la biomasa en el bofedal sector Huachipampa Nor Yauyos, Lima”. El objetivo del estudio fue evaluar la Eficiencia Neta mediante la acumulación de carbono, en base a la biomasa en el bofedal sector Huachipampa. Para ello, ubicó cinco puntos de muestreo al azar, donde evaluó la productividad primaria (PP) y la descomposición de la turba. Para determinar la PP del bofedal pesó la biomasa terrestre; determinó la acumulación de biomasa en función del crecimiento vegetal; muestreó núcleos de suelos para evaluar la descomposición de la biomasa (turba) mediante un Core, finalmente determinó la Eficiencia Neta del bofedal mediante la acumulación de la biomasa menos la descomposición. Los resultados que obtuvo en el sector de Huachipampa, fueron que en época de lluvias (diciembre, enero y febrero) presentaron Eficiencia Neta con un valor alto en los puntos de muestreo punto 1 (P-1) con un valor de 0,76 g/cm<sup>2</sup>; -2,96 g/cm<sup>2</sup>, y



-2,06 g/cm<sup>2</sup>, punto 3 (P-3) con -2,61 g/cm<sup>2</sup>, 1,57 g/cm<sup>2</sup> y -0,85 g/cm<sup>2</sup>, punto 4 (P-4) con -0,59 g/cm<sup>2</sup>; 0,05 g/cm<sup>2</sup> y -0,97 g/cm<sup>2</sup> y el punto 5 (P- 5) con -0,57 g/cm<sup>2</sup>;-0,2 g/cm<sup>2</sup> y -0,05 g/cm<sup>2</sup> respectivamente, lo cual indicó que en esa época el bofedal acumuló más biomasa de la que fue descompuesta, a excepción del punto 2 (P-2) el cual presentó la Eficiencia Neta con un valor bajo, es decir, que el bofedal estuvo descomponiendo más biomasa de la que estuvo acumulando. Por otro lado, la evaluación en época seca (mayo y junio) determinó que los puntos P-1, P-3, P-4 y P-5 mostraron eficiencia positiva a diferencia del P-2, lo cual indicó que en condiciones naturales el P-2 fue encontrado muy degradado, por lo cual devuelve el CO<sub>2</sub> a la atmósfera, mientras que en junio si presentó acumulación de CO<sub>2</sub>. Asimismo, obtuvo como resultado el inventario florístico del bofedal en sus puntos de muestreo, el cual compone de 16 especies de 7 familias, siendo las más importantes la familia Rosaceae y Juncaceae, en cuanto a la condición del bofedal señaló que estuvo en un rango entre Regular a Pobre. Concluyó la importancia de conservar los bofedales altoandinos en buenas condiciones, para que el bofedal continúe brindando el servicio ecosistémico de almacenamiento de carbono y de esta forma ayudar a mitigar las variaciones climáticas.

Mamani y Mamani (2019) realizaron el estudio titulado “Determinación del secuestro de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) en el suelo mediante sumideros de carbono: “puyas de Raimondi” (*Puya raimondii* Harms), pajonal con Chillihuales y bofedal, en el distrito de Putina – Puno, 2018”; el objetivo del estudio fue determinar el secuestro de dióxido de carbono en el suelo mediante sumideros de carbono los cuales fueron “puya de Raimondi”, Pajonal con Chillihuales y Bofedal. La investigación que realizaron fue de tipo no experimental descriptivo transversal. Evaluaron la densidad aparente, materia orgánica y dióxido de carbono presente en los sumideros; para ello realizaron un muestreo en nueve puntos los cuales fueron elegidos de forma aleatoria, en tres profundidades diferentes: 0 a 10, 20 a 30 y 30 a 60 cm. Posteriormente emplearon el diseño de arreglo factorial de 3 x 3, con 9 tratamientos y tres repeticiones por tratamiento, obteniendo de esa manera un total de 27 unidades experimentales. Los resultados que presentaron que no hubo diferencia significativa ( $p = 0,012 > p = 0,01$ ) entre sumideros, sin embargo, existe diferencia significativa en las profundidades ( $p = 0,005 < p = 0,01$ ). Por lo tanto, concluyeron que el ecosistema de bofedal, es el sumidero de carbono que proporciona mayor secuestro de dióxido de carbono, seguido por pajonal con Chillihuales y finalmente las “puyas de Raimondi, los cuales registraron un valor de 501,96 (44 %), 442,05 (39 %) y

187,68 (17 %) tCO<sub>2</sub>/ha respectivamente. De esta manera demostraron que los suelos de la comunidad de Bellavista del distrito de Putina son un gran potencial como sumideros de carbono debido a la capacidad para capturar el dióxido de carbono, y siendo un gran aliado para contribuir a los esfuerzos para mitigar los efectos del cambio climático.

Barra (2019) estudió la “Captura de carbono por la vegetación en el bofedal de la Moya, en el distrito de Melgar – Ayaviri, 2019” Puno. El objetivo del estudio fue evaluar la capacidad de captura de carbono en el bofedal. Para ello estableció cinco zonas de investigación de las 54 ha del bofedal la Moya, recogió muestras de plantas en los meses de enero a marzo con el uso de cuadrantes de 1 m<sup>2</sup>. Posterior a ello analizó el porcentaje de carbono mediante el método de Walkley-Black modificado. Obtuvo como resultado, que el bofedal de la Moya capturó 331 620,50 tC en 54 hectáreas. Así mismo, determinó que las especies con más aporte en captura de carbono estuvieron compuestas por *Hydrocotyle* sp. con un aporte de 39 gC, *Trifolium repens* con 32,30 gC y *Deyeuxia rigescens* con 30,60 gC, debido a que contuvieron una biomasa compacta y también tuvieron buen peso húmedo. Las especies que aportaron a la captura de carbono de manera limitada fueron conformadas por *Poa* sp. 10 gC y *Sporobolus* sp. con 9,4 gC. En cuanto a los bonos de carbono halló que China está dispuesto a pagar 19 dólares por tonelada de carbono equivalente a un certificado de emisión de reducción, del bofedal de la Moya obtendría 6 300 785,50 dólares/año y los países que conforman la unión europea están dispuestos a pagar 20 a 30 Euros por tonelada de carbono lo cual haría 6 632 410 Euros al año de las 54 ha del bofedal. El autor concluyó que todas las especies del bofedal aportan de manera continua al servicio ambiental de captura y almacenamiento de carbono.

León (2016) en el estudio sobre la “Reserva de carbono en bofedales y su relación con la florística y condición del pastizal” realizado en los departamentos de Ancash, Arequipa, Puno y Huancavelica; tuvo como objetivo principal evaluar la composición florística, estimar la cantidad de carbono almacenado, determinar la condición para pastoreo y determinar la calidad de materia orgánica almacenada en el suelo, de nueve bofedales en las regiones Ancash (dos bofedales), Arequina (dos bofedales), Huancavelica (dos bofedales) y Puno (tres bofedales). Para ello utilizó el método de Parker modificado por Flórez y Malpartida para evaluar la condición para pastoreo y la composición florística. Asimismo,

evaluó el porcentaje de materia orgánica con el método de Walkley-Black y usó la proporción de sustancias húmicas: ácido fúlvico, ácido húmico y húminas mediante la metodología de Kononova para evaluar la calidad. Obtuvo como resultado que los bofedales evaluados a pesar de poseer las mismas condiciones climáticas y posición topográfica, presentaron variación en cuanto a perfiles, cantidad de Carbono y estado de conservación. Los bofedales que presentaron mejor condición registraron mayor cantidad de especies palatables y especies poco palatables como *Distichia muscoides*, *Plantago tubulosa*, *Alchemilla diplophylla* y *Werneria pygmaea* y los de condición pobre presentaron *Oxychloe andina*, *Aciachne acicularis* y *Plantago rigida*. Sin embargo, determinó que los bofedales que presentaron condición regular a pobre registraron mayor acumulación de carbono con valores de 185 y 223 tC/ha a diferencia de bofedales que registraron mejor estado de conservación donde el carbono almacenado fue de 77 y 47 tC/ha. Concluyó en que los bofedales que presentaron mejor condición almacenan menor cantidad de Carbono, pero poseen mejor calidad de materia orgánica, lo cual puede estar directamente relacionado a la presencia de especies palatables lo cual incrementa la actividad ganadera dentro del bofedal.

## **1.2 Bases teóricas especializadas**

### **1.2.1 Cambio climático**

El cambio climático es la variación significativa de los patrones de clima, siguiendo una tendencia determinada, la cual se expresa generalmente en el incremento de temperatura, la modificación en los patrones de lluvia y ocurrencia de eventos extremos (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [IPCC], 2021). Los efectos del cambio climático se evidencian a través de un cambio, ya sea de condiciones climáticas medias o su variabilidad, los cuales se mantienen durante un período prolongado, generalmente durante decenios (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [IPCC], 2007).

Este fenómeno viene ocurriendo desde hace muchas décadas. Sin embargo, en los últimos años se ha incrementado de manera exponencial debido a procesos naturales internos,

fuerzas externas o cambios antropogénicos en la composición de la atmósfera o el cambio de uso de la tierra.

### **1.2.2 Calentamiento global**

En la actualidad se viene usando este término para referirse al acelerado aumento de temperatura que se viene produciendo en la superficie terrestre como resultado de una mayor acumulación de GEI (Vargas, 2009). Esto se ha convertido en un problema social actual que amenaza gravemente a distintos ecosistemas (Useros, 2012). Como consecuencia la temperatura de la superficie terrestre y marina ha incrementado, los patrones espaciales y temporales de las precipitaciones han variado; se ha elevado el nivel del mar y un incremento de la frecuencia e intensidad de los fenómenos asociados con “El Niño” (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [IPCC], 2001).

### **1.2.3 El ciclo del carbono**

El ciclo del carbono comprende todas las transformaciones químicas de compuestos que contienen en su composición el elemento carbono (C). El ciclo del carbono es un ciclo biogeoquímico, representa gran importancia debido a su acción como regulador del clima y para sostener la vida en el planeta. Este ciclo interviene en procesos vitales que contribuyen en el funcionamiento y existencia de la vida, estos procesos son: la respiración y la fotosíntesis mediante el cual se realiza el intercambio de CO<sub>2</sub> y oxígeno. Durante estos procesos los organismos que lo realizan reciben energía en forma de ATP (Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada [CICESE], 2012).

### **1.2.4 Sumideros de carbono**

Los ecosistemas que contienen la capacidad de capturar dióxido de carbono de la atmósfera son conocidos bajo el nombre de sumideros. Los sumideros almacenan carbono en compuestos orgánicos que conforman la biomasa y la materia orgánica de los suelos, y contribuyen a una de las formas de mitigación del efecto invernadero (Martino, 2000). Los bofedales son ecosistemas que podrían llegar a ser sumideros de carbono tan o igual de importantes que los bosques, contribuyendo así en la mitigación del cambio climático y

reducción del CO<sub>2</sub> considerado como uno de los GEI en mayor abundancia en la tierra (Rivera, 2018).

### **1.2.5 Almacenamiento de carbono**

El carbono almacenado es la fracción de este elemento que se encuentra retenido en diversos componentes de la corteza terrestre, como suelos, plantas en pie y materia orgánica. En tanto que los flujos de carbono son todos aquellos procesos que afectan el almacenamiento. Cuando se cuantifica el almacenamiento de una cobertura vegetal, se muestrea: a) la biomasa viva almacenada en las hojas, las ramas, el fuste y las raíces; b) la necromasa almacenado en la hojarasca y la madera; y c) el carbono en la materia orgánica de los suelos (Honorio y Baker, 2010).

El almacenamiento de carbono ocurre debido a la combinación de suelos saturados y bajas temperaturas, lo que limita la descomposición y permite un balance neto positivo debido a que la fijación de carbono por fotosíntesis supera a las pérdidas por respiración y descomposición (Oyague, 2021; Alvis, 2018), este ecosistema presenta una tasa de almacenamiento de carbono mayor por unidad de área que cualquier otro ecosistema (WBGU, 1998).

### **1.2.6 Ecosistema de bofedal**

Es un ecosistema caracterizado por presentar condición hidromórfica durante todo el año. Este ecosistema presenta vegetación herbácea de tipo hidrófila. Los bofedales altoandinos se ubican generalmente en los Andes y presenta una topografía de los suelos planos, con depresiones o ligeramente inclinados, permanentemente inundados o saturados de agua, asimismo, los bofedales acumulan suelos orgánicos (turba). La vegetación es densa y compacta, el cual forma almohadilla o cojines en la superficie y herbazales de 0,10 a 0,50 m (MINAM, 2019). Por otro lado, Loza *et al.* (2015) definen que los bofedales son un tipo particular de humedales de turbera, característicos de la zona altoandino y puneña dentro de los andes subtropicales y tropicales entre los 3 200 a 5 000 m s.n.m.

### 1.2.7 Tipos de bofedales

Existen diversos tipos de bofedales los cuales se clasifican de acuerdo a su cobertura vegetal, su pendiente, altitud, profundidad de suelo, estacionalidad del agua, entre otros (Limpens *et al.*, 2008; Secretaría de la Convención de Ramsar, 2006). En la Tabla 1 se muestran los diferentes tipos de bofedales.

**Tabla 1**

*Tipos de Bofedales*

| <b>De acuerdo con</b>                     | <b>Tipos de bofedal</b>   |
|---|---|
| Origen                                    | <b>Naturales:</b> Son aquellas creadas por la humedad producida por el deshielo de los glaciares, manantiales subterráneos o superficiales y las precipitaciones pluviales.<br><b>Artificiales o Antrópicos:</b> Son creados por el hombre, en función a su conveniencia o necesidad. |
| Altitud                                   | <b>Altiplánicos:</b> Ubicados por debajo de los 4 100 m s.n.m.<br><b>Altoandinos:</b> Ubicados por encima de los 4 100 m s.n.m.   |
| Régimen Hídrico                           | <b>Hidromórficos o Údicos:</b> Tienen presencia de agua permanente.<br><b>Mesicos o Ústicos:</b> Tienen presencia de agua temporal.   |
| Potencial de hidrógeno (pH) de los Suelos | <b>Ácidos:</b> pH menor a 6,4.<br><b>Neutros:</b> de 6,4 a 7,4.<br><b>Básicos:</b> pH mayor a 7,4.  |
| Tamaño                                    | <b>Pequeños:</b> Uso Familiar<br><b>Grandes:</b> Uso poblacional.   |
| Fisiografía                               | De cordillera o altura. De llanura, pampa y aluviales.  |

*Nota.* Elaborado a partir de información obtenida de Cárdenas y Encina (2008). [https://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con4\\_uibd.nsf/BC55AAE235A063F705257C6200804154/\\$FILE/Guia\\_Metodologica\\_Bofedales.pdf](https://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con4_uibd.nsf/BC55AAE235A063F705257C6200804154/$FILE/Guia_Metodologica_Bofedales.pdf)

### **1.2.8 Estado de conservación del bofedal**

El estado de conservación refleja la condición del ecosistema en términos de procesos y funcionalidades ecológicas y es evaluado mediante una escala de valores de sus atributos e indicadores, que manifiestan la capacidad del ecosistema para cumplir funciones ecológicas claves tales como: flujo de energía, ciclo de nutrientes, ciclo hidrológico y la capacidad que tiene de recuperarse ante componentes perturbadores. El estado de conservación de un pastizal altoandino es determinado como el estado de salud de este, una planta forrajera en forma natural, sin que se le pastoree, puede crecer hasta su máxima expresión, hasta alcanzar el clímax “condición Excelente” (León, 2016).

### **1.2.9 Turberas**

Las turberas son humedales de importancia global y local, eficientes al momento de almacenar y capturar carbono, además de proveer y regular la provisión de agua dulce, siendo crucial para la existencia humana, demostrando también su importancia para la mitigación y la adaptación al cambio climático. Pero a pesar de la relevancia de estos espacios, los humedales de turbera aún permanecen poco conocidos y reconocidos por las políticas públicas (Wildlife Conservation Society [WCS], 2020).

### **1.2.10 Captura de carbono por bofedales**

La acumulación neta de Carbono en los humedales resulta de la productividad primaria y la deposición o acumulación de sustancias alóctonas, menos la descomposición de materia orgánica en el suelo. Este balance determina si un humedal actúa como fuente de gases invernadero o como trampa de Carbono, evitando que el Carbono sea emitido a la atmósfera, en los humedales la acumulación de carbono se realiza en dos compartimentos principales, la biomasa vegetal y los suelos (turba) (Mita, 2019).

### **1.2.11 Servicios ecosistémicos**

Los servicios ecosistémicos son los beneficios económicos, sociales y ambientales, directos e indirectos, que las personas obtienen como resultado del buen funcionamiento de los

ecosistemas. Según la Resolución Ministerial N° 311 del 2015 (MINAM), los bofedales se agrupan de acuerdo a los servicios que proveen, en cuatro tipos: servicios de suministro, servicios de regulación, servicios culturales y servicios de base.

### 1.2.12 Servicios ecosistémicos de los bofedales

Los bofedales son ecosistemas complejos de gran importancia para las comunidades, debido a que proveen diversos servicios ecosistémicos que son indispensables para el desarrollo de la vida. De igual forma mantienen de manera directa o indirectamente la calidad de vida de las comunidades adyacentes. El estudio presentado por Ecosistemas del Milenio, clasifica los servicios ecosistémicos en: i) servicios de provisión (alimentos, agua y energía); ii) servicios de regulación (como la purificación del agua y la regulación climática); iii) servicios culturales (educación y ocio) y iv) servicios de soporte, el cual mantiene todos los demás servicios (ciclo de nutrientes y formación del suelo) tal como se detalla en la Tabla 2. Asimismo, los bofedales proveen el servicio ecosistémico de secuestro y almacenamiento de C, por lo tanto, son considerados importantes en la mitigación del efecto invernadero (IPCC, 2007).

**Tabla 2**

*Servicios Ecosistémicos de bofedales*

| Tipos de servicios ecosistémicos | Servicios ecosistémicos del bofedal   |
|----------------------------------|---|
| Provisión                        | Agua dulce<br>Forraje   |
| Regulación                       | Captura de carbono<br>Control de erosión de suelo<br>Regulación de inundaciones<br>Calidad y cantidad de agua<br>Purificación de agua<br>Sedimentación y carga nutrientes<br>Almacenamiento de agua<br>Regulación del clima local |
| Apoyo                            | Refugio fauna silvestre<br>Cobertura y hábitat para reproducción<br>Migración de animales silvestres<br>Funcionamiento del ciclo hidrológico<br>Mantenimiento de los ciclos de vida   |
| Culturales                       | Belleza escénica y paisajística<br>Patrimonio cultural<br>Recreación y turismo  |



### 1.2.13 Principales amenazas de los bofedales

A pesar de su importancia, los bofedales se consideran ecosistemas que han perdido parte de su capacidad para proporcionar bienes y servicios ecosistémicos. Según el Ministerio del Ambiente (2019) “las amenazas que pueden degradar el área del bofedal son: la ganadería, cosecha de turba, quemas y cambios en la provisión, cantidad y calidad de agua que alimenta el bofedal” (p. 14). En la Tabla 3 se muestra las principales amenazas de los bofedales.

**Tabla 3**

*Principales amenazas de los bofedales*

| Naturaleza | Amenazas  |
|------------|---|
| Abióticas  | Retroceso glaciár.<br>Contaminación natural.<br>Sequías prolongadas.<br>Variaciones extremas de los patrones de precipitación.  |
| Antrópicas | Sobrepastoreo producido por la actividad pastoril que sobrepasa la capacidad del bofedal para regenerarse.<br>Fragmentación del terreno.<br>Construcción de caminos y carreteras.<br>Construcción de represas.          |
| Antrópicas | Introducción de especies exóticas vegetales o animales.<br>Contaminación ambiental.<br>Drenaje para la expansión de la agricultura o para actividades productivas y extractivas.<br>Expansión de la actividad agrícola. |
| Antrópicas | Introducción de especies exóticas vegetales o animales.<br>Contaminación ambiental.<br>Drenaje para la expansión de la agricultura o para actividades productivas y extractivas.<br>Expansión de la actividad agrícola. |
| Antrópicas | Minería.<br>Urbanización.<br>Altas tasas de extracción de la vegetación y suelos orgánicos con fines de combustible y/o musgo.  |

Nota. Elaborado a partir de Sotil y Flores (2014). Lineamientos para el desarrollo de proyectos de inversión pública en recuperación de bofedales. [https://mef.gob.pe/contenidos/inv\\_publica/docs/instrumentos\\_metod/ambiente/Lineamientos-para-la-formulacion-de-PIP-en-DB-y-SE.pdf](https://mef.gob.pe/contenidos/inv_publica/docs/instrumentos_metod/ambiente/Lineamientos-para-la-formulacion-de-PIP-en-DB-y-SE.pdf)

## **CAPÍTULO II: MATERIALES Y MÉTODOS**

### **2.1 Diseño de la investigación**

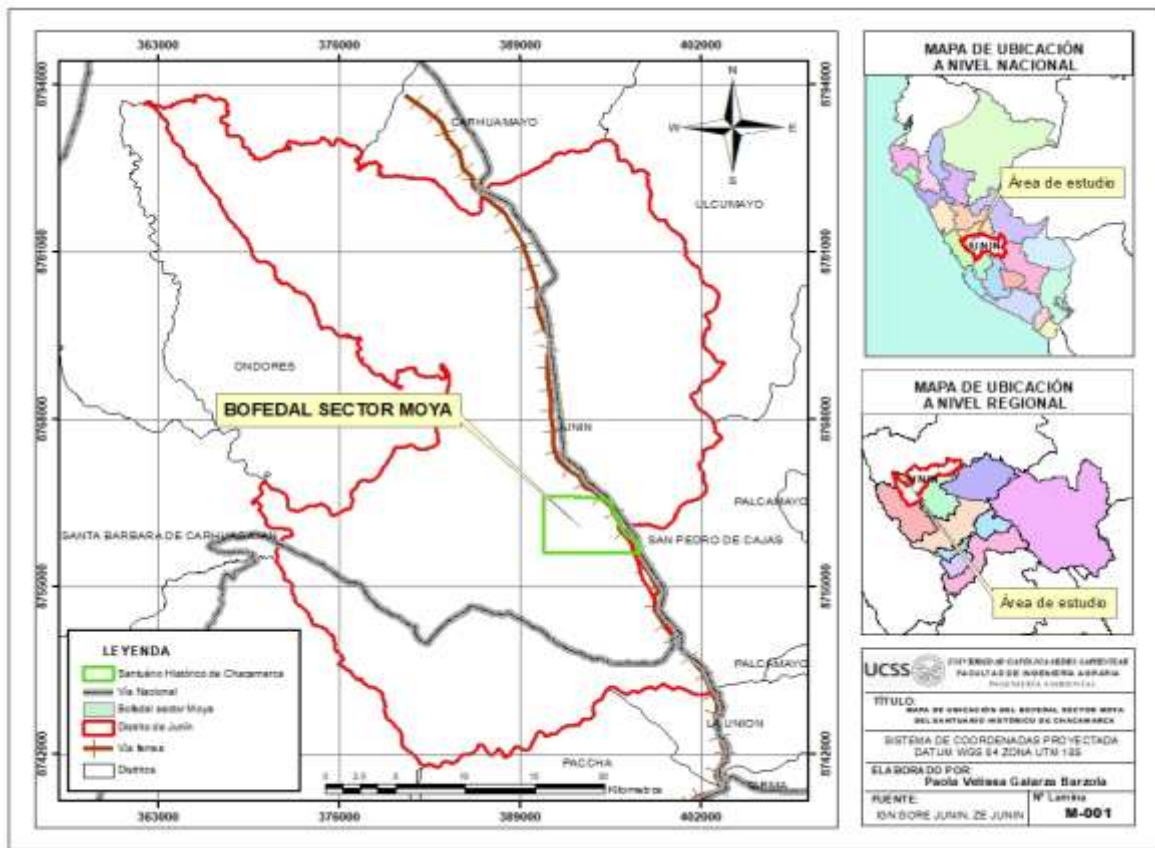
La investigación fue no experimental (Hernández *et al.*, 2014), porque no hubo la intervención y manipulación de las variables durante la investigación, con alcance descriptivo transversal debido a que se tomaron todos los datos obtenidos durante el proceso de evaluación en época húmeda tal cual se presentaron en campo. Asimismo, la metodología descrita en el estudio fue recopilada mediante la revisión bibliográfica de diferentes investigaciones como tesis de grado, artículos científicos y reportes técnicos.

### **2.2 Lugar y fecha**

El presente estudio fue realizado en el bofedal sector Moya en el Santuario Histórico de Chacamarca, localizada en la cuenca del Mantaro, en el Departamento de Junín, en las provincias de Tarma y Junín, en los distritos de Junín y San Pedro de Cajas (Figura 1). Este sector tiene las coordenadas UTM 8760008 al norte y 392885 al este, y se encuentra a una altitud de 4100 m s.n.m. El trabajo de campo se realizó entre los meses de enero y marzo del 2022.

**Figura 1**

*Mapa de ubicación del bofedal sector Moya*



### 2.3 Población y muestra

#### Población

La población estuvo definida por toda la flora y la turba presente en todo el bofedal sector Moya ubicado en el Santuario Histórico de Chacamarca.

#### Muestra

La muestra estuvo definida por 27 puntos de muestreo para el caso de la turba y el carbono presente en el bofedal sector Moya, la que está basada en el estudio previo realizado por Galarza y Jorge (2020) en el mismo bofedal; quienes evaluaron 9 transectos de 100 m distribuidos de forma aleatoria en toda el área del bofedal. Los puntos de muestreo en este

estudio se ubicados al inicio, medio y al final de los transectos que fueron evaluados en el primer estudio, haciendo un total de 27 puntos de muestreo.

En cuanto al muestreo de la flora en el bofedal, estas fueron evaluadas mediante el método del cuadrante 1 x 1 m en 54 puntos los cuales fueron ubicados a la izquierda y derecha de los puntos de muestreo de turba (27 puntos de muestreo de turba).

## **2.4 Técnicas e instrumentos**

### **Técnicas**

#### **a) Determinación de la cobertura vegetal en relación al almacenamiento de carbono del bofedal sector Moya en el Santuario Histórico de Chacamarca**

El método de los cuadrantes es una de las formas más comunes de muestreo de vegetación. Los cuadrantes hacen muestreos más homogéneos y tienen menos impacto de borde en comparación a los transectos. El método consiste en colocar un cuadrado sobre la vegetación, para determinar la densidad, cobertura y frecuencia de las plantas (Mostacedo y Fredericksen, 2000).

#### **b) Distribución del contenido total de carbono a diferentes profundidades y en sectores con distinto estado de conservación en el bofedal Sector Moya**

Se determinó la distribución del contenido total de carbono a diferentes profundidades y en sectores con distinto estado de conservación por medio de un muestreador de núcleos (*Russian peat corer*), para su posterior traslado al laboratorio de la Universidad Católica Sede Sapientiae y de esta forma poder estimar el porcentaje de carbono (% C) mediante la aplicación de Walkley y Black.

### **Muestreador de núcleos (*Russian peat corer*)**

El muestreador de turbas o barrena rusa, es una herramienta usada por la Unión Soviética propuesta por Belokopytov y Beresnevich a mediados del siglo XX. Este diseño fue modificado y refinado con el pasar de los años, llegando a la forma y diseño actual. El

muestreador está elaborado en acero inoxidable (también llamado “lanza”, o “barrena de aleta”), el cual consiste básicamente en una barrena de media caña que es insertada en la superficie (sedimento) de manera manual. Este muestreador solo es adecuado para sedimentos blandos, siendo por tanto ideal para muestreo de turbas (Quiles, 2014).

### **Método de Walkley y Black**

Es un método propuesto por Walkley y Black (1934) para determinar carbono en muestras de suelo es uno de los más empleados. Este método consiste en realizar la oxidación química del suelo a partir de la adición de ácido sulfúrico a la muestra en comparación con una muestra blanco, para medir el carbono presente (ver apéndice 4). Desde su origen ha sufrido varias modificaciones orientadas básicamente a mejorar su desempeño y reducir la escala de trabajo.

### **c) Volumen total de turba almacenado en el bofedal sector Moya en el Santuario Histórico de Chacamarca**

Se calculó el volumen de turba almacenada mediante mediciones manuales. Posteriormente a ello se realizó la interpolación mediante el método de Kriging, con respecto a la manera de interpolación y validación se efectuó con e Arcgis; como se detalla a continuación:

#### **Mediciones manuales**

Efectuadas generalmente por una varilla de metal, la cual es introducida en la turba por un evaluador entrenado, registrándose el valor de la profundidad en el punto en el cual se percibe un cambio notorio en la resistencia o densidad del sustrato (Parry *et al.*, 2014; Hogan *et al.*, 2006).

#### **El Kriging o Krigeado**

El Kriging (Krigeado) es un procedimiento geoestadístico que genera una superficie estimada a partir de un conjunto de puntos dispersados con valores  $z$  (profundidad en este caso). El método Kriging pondera los valores medidos circundantes para calcular una predicción de una ubicación sin mediciones (similar a otro método de interpolación:

distancia ponderada invertida, IDW). La ponderación asignada a cada uno de los valores vecinos en el Kriging se asignó como producto de un variograma o semivariograma elaborado preliminarmente (De Carvalho *et al.*, 2019; Young *et al.*, 2018 y Mcbratney y Webster, 2006).

**d) Analizar la correlación entre el volumen de turba, la cantidad de carbono y el estado de conservación del bofedal sector Moya en el Santuario Histórico de Chacamarca**

Se evaluó la correlación entre el volumen de la turba, la cantidad de carbono y el estado de conservación del bofedal determinados en un estudio anterior por (Galarza y Jorge, 2020) por medio de los resultados obtenidos de cada muestreo.

Las unidades de muestreo han sido determinados en base a una investigación previa de (Galarza y Jorge, 2020). Para determinar el estado de conservación se realizó la revisión bibliográfica, teniendo en cuenta los resultados de investigaciones desarrolladas en Nor Yauyos Cochabamba (Oyague y Cooper, 2020) y en otros sectores de los andes centrales (Salvador *et al.*, 2014; Maldonado, 2014). Estas investigaciones dan a conocer que las especies indicadoras de la buena calidad de bofedal son: *Oritrophium limnophilum* (Sch. Bip.) Cuatrec, *Hypochaeris meyeniana* (Walp.) Benth. & Hook. f. ex Griseb., *Hypochaeris taraxacoides* (Meyen & Walp.) Ball, *Carex* sp., *Carex mandoniana* Boeckeler, *Distichia filamentosa* Buchenau, *Distichia muscoides* Nees & Meyen, *Plantago lanceolata* L., *Plantago tubulosa* Decne. *Ranunculus breviscapus* DC.

## **2.5. Descripción de la investigación**

### **Fase preliminar**

Durante esta etapa se realizó la obtención de información que sirvieron como sustento, asimismo, se obtuvo materiales e instrumentos necesarios para la investigación, que consistió en las siguientes actividades:

### **a) Recopilación de información bibliográfica**

Se recopiló, procesó y analizó la información referente al tema de investigación, mediante la revisión de todas las investigaciones publicadas relacionadas con el tema, tales como: tesis previas, artículos científicos, reportes, revistas científicas, normativa legal en repositorios institucionales y bases de datos. Para desarrollar la metodología de investigación se revisó la información bibliográfica mediante un proceso sistemático y definido.

### **b) Solicitud de permiso al Área Natural Protegida Santuario Histórico de Chacamarca**

Se envió una solicitud el permiso de colecta de muestras, considerando los requisitos del Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado (SERNANP), al Santuario de Chacamarca, posterior a obtener el permiso se desarrolló la investigación dentro del bofedal sector Moya de dicha ANP.

### **Fase de campo**

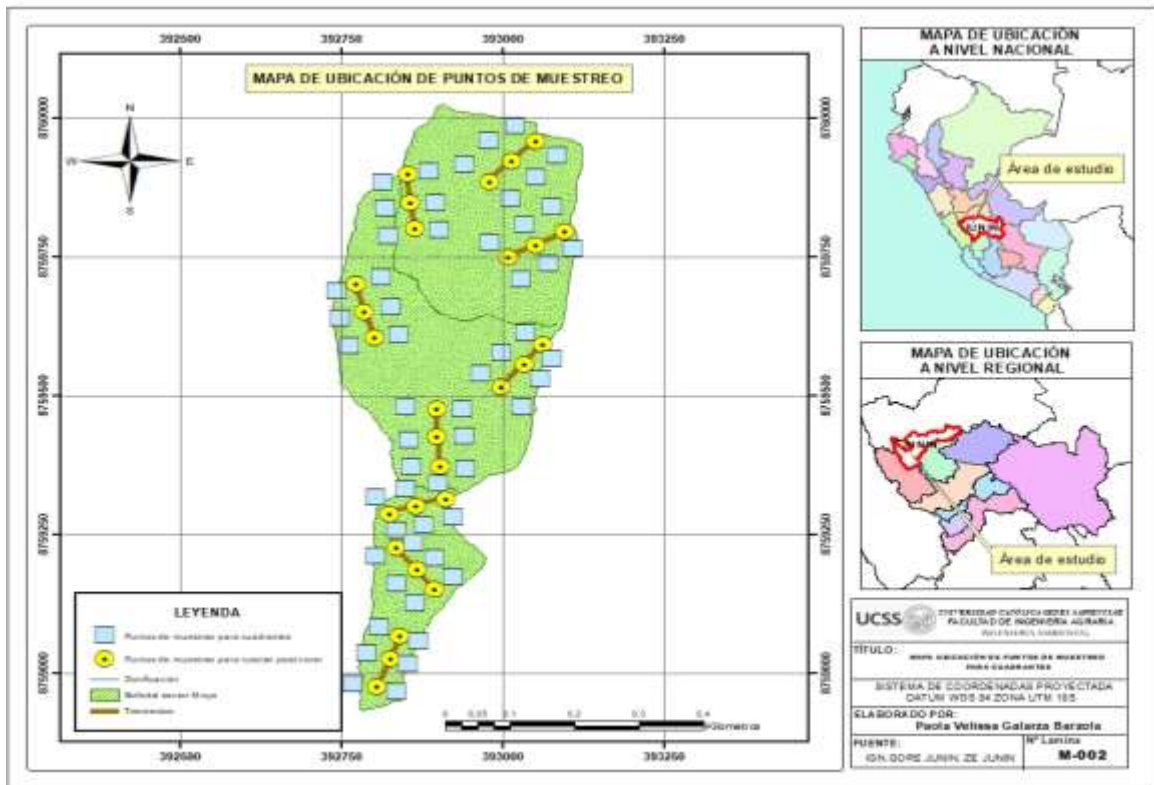
Durante la fase de campo se realizó las siguientes actividades:

#### **a) Establecimiento de los puntos de muestreo**

Para establecer los puntos de muestreos se empleó los mapas de estudio realizado por Galarza y Jorge (2020) donde delimitaron el área del bofedal sector Moya del Santuario Histórico de Chacamarca, el cual permitió representar la dimensión del bofedal y sus límites. Una vez obtenidos los mapas del bofedal, se ubicaron los 54 puntos de muestreo (ver Apéndice 1) para evaluar los cuadrantes de vegetación, asimismo, se definió la ubicación de los 27 puntos (Figura 2), para obtener muestras de turbas mediante un muestreador ruso (*Russian peat corer*). La ubicación de estos puntos de muestreo se realizó utilizando una herramienta de información geográfica (SIG) como ArcGIS 10.5.

**Figura 2**

*Mapa de Ubicación de puntos de muestreo*



**b) Determinación de la profundidad de la capa de turba en el bofedal sector Moya del Santuario Histórico de Chacamarca**

Los datos de profundidad registrados apropiadamente permitieron determinar el volumen total de turba almacenada y los volúmenes diferenciados por estrato (con diferentes niveles de descomposición).

Para determinar la profundidad de la capa de la turba, se emplearon mediciones manuales mediante el uso de una varilla de metal con un diámetro de 3/8 de pulgada (0,95 cm) el cual fue introducido en la turba del bofedal sector Moya del Santuario Histórico de Chacamarca (ver Apéndice 1), con el apoyo de un evaluador entrenado, se registró el valor de profundidad en el punto donde se percibió un cambio en la resistencia del sustrato (Hogan *et al.*, 2006; Parry *et al.*, 2014).



**c) Determinación de la distribución del contenido total de carbono a diferentes profundidades y en sectores con distinto estado de conservación en el bofedal sector Moya del Santuario Histórico de Chacamarca**

Se recolectó muestras de turba utilizando un muestreador ruso (*russian peat corer*), cada muestra tuvo un volumen total de 514,72 cm<sup>3</sup> y fue almacenado en un tubo de PVC de 5,08 cm de diámetro y 50 cm de longitud (ver Apéndice 1). Cada muestra fue rotulada adecuadamente para su traslado al laboratorio de la Universidad Católica Sede Sapientiae (UCSS). Cabe indicar que las muestras fueron colocadas en dos *coolers* con el objetivo de mantener la temperatura óptima para no alterar las características naturales de la muestra.

**d) Determinación de la cobertura vegetal en relación al almacenamiento de carbono del bofedal sector Moya en el Santuario Histórico de Chacamarca**

La aplicación del método del cuadrante tuvo por objetivo relacionar la cobertura vegetal con los patrones de almacenamiento de carbono en las muestras de turba. Estos cuadrantes tuvieron un área de 1 m<sup>2</sup> y contaron con divisiones de 10 x 10 cm (ver Apéndice 1), de modo que se tomaron los datos de 100 submuestras de vegetación.

**Fase de laboratorio**

**a) Análisis de carbono orgánico mediante el método de Walkley y Black**

Las muestras de materia orgánica del suelo fueron oxidadas por una mezcla de dicromato de potasio (K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>) más ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>). El exceso de (K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>) fue determinado por titulación con sulfato de hierro (FeSO<sub>4</sub>) o con sulfato ferroso (NH<sub>4</sub>Fe)<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub> (Apéndice 1). El proceso fue el siguiente:

- En un Erlenmeyer de 500 ml se colocó 1,0 g o 1 ml de suelo. De las muestras muy oscuras se pesó 0,5 g o 0,5 ml de suelo (Apéndice 1). En forma paralela se llevó un blanco (sin muestra) para conocer la normalidad del sulfato ferroso.
- Se adicionó 10 ml de 1 N dicromato de potasio (K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>).
- Se adicionaron 20 ml de ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) concentrado.
- Se mezcló para homogeneizar la solución (durante esta reacción y generación de calor).

- Se dejó la reacción por una hora aproximadamente.
- Se adicionó aproximadamente 200 ml de agua destilada.
- Se adicionó 5 ml de ácido fosfórico concentrado (H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>) y 0,5 ml del indicador difenilamina sulfúrica o 3 - 4 gotas de Ferroín.
- Luego se tituló con 0,5 N de sulfato ferroso amoniacal, con agitación y en forma lenta hasta cambio de color de violeta a verde. En el cambio, se detuvo la titulación.
- Se tituló el blanco.

## **b) Análisis de densidad aparente**

Las muestras obtenidas durante la fase de campo fueron sometidas primero al secado constante en un horno de abyección a 65 °C durante 24 horas, el peso seco fue registrado para el cálculo de densidad aparente dividiéndose entre el volumen inicial (Chambers *et al.*, 2011), aplicando la siguiente formula:

$$D. a(g\ cm^{-3}\ o\ Mg/m^{-3}) = \frac{\text{Peso de los solidos de la muestra o peso seco}}{\text{Volumen de los sólidos} + \text{Volumen de los poros}}$$

## **Fase de gabinete**

En esta fase se ordenaron, analizaron y procesaron todos los datos obtenidos durante la fase de campo y del laboratorio.

### **a) Interpolación de los datos de profundidad y estimación del volumen de turba almacenada**

Con los datos de profundidad que se adquirieron en la etapa anterior, se realizó la interpolación mediante del método de interpolación Kriging (Burgess y Webster, 2019; Olea, 1974; Williams, 1998) para adquirir el volumen total de la turba almacenada en cada uno de los bofedales estudiados. El procedimiento de interpolación y validación se efectuó utilizando los paquetes de spatstat 1,63-3 (Baddeley *et al.*, 2015; Baddeley *et al.*, 2013) y raster 3,0-12 (Hijmans, 2021), ambos ejecutados en R 3.6.3 (R Core Team, 2020). Con el objeto espacial raster adquirido del procedimiento anterior, se estimó el volumen total de

turba por bofedal y el volumen correspondiente a capas dividida cada 50 cm. Para ello se usó un procedimiento de análisis espacial implementado en QGIS 3.12.

**b) Determinación de la distribución del contenido total de carbono a diferentes profundidades y en sectores con distinto estado de conservación en el bofedal sector Moya**

Las muestras de diferentes profundidades provenientes del bofedal sector Moya fueron procesadas. Los datos de densidad aparente ( $\text{g/cm}^3$ ) y porcentaje de carbono (% C) fueron ajustados a un modelo lineal ( $D A \sim \text{profundidad}$ , % C  $\sim$  profundidad), teniendo como resultado el valor del intervalo de confianza al 95 % (IC95) para cada uno de ellos. Este ajuste lineal se realizó con la totalidad de los datos obtenidos sin diferenciarlos.

**c) Determinación de carbono orgánico mediante el método de Walkley y Black**

- La estequiometría de la reacción muestra que  $10 \text{ ml de } K_2Cr_2O_7 = 10 \text{ meq de } K_2Cr_2O_7 = 10 \text{ meq de } C = 30 \text{ mg de } C$ .
- Adicionamos sulfato ferroso amoniacal (a ml) al blanco (b ml) para la muestra, la diferencia de titulación  $a - b$  corresponde con:

$$\frac{30x(a - b)}{a} \text{ mgC}$$

- Si el peso de la muestra fue 1 g, el contenido de carbono oxidable es:

$$\frac{30x(a - b)x100}{ax1000} \text{ gC por } 100 \text{ g de suelo}$$

$$C(\%) = \frac{3(a - b)}{a}$$

- Se debe tener en consideración que el método de Walkley y Black es un método común o convencional que se ha ido mejorando y perfeccionando desde su inicio. El proceso de oxidación es solo del 75 % de carbono orgánico total presente. Esto hace que se fije al carbono equivalente un valor de 4 en vez del valor estequiométrico de 3. La resultante es:

$$(\%) = \frac{4(a-b)}{a}$$

Si se asume que la materia orgánica consiste en 58 % de C, el % de materia orgánica es: MO (%) = C (%) x 1,724.

#### **d) Transformación a toneladas por hectárea**

Los resultados de determinación de carbono se presentan en gC/kgT, debido a ello se realizó la conversión de unidades para determinar el contenido de carbono a toneladas por hectárea tC/ha. La fórmula empleada fue la siguiente:

$$\frac{tC}{ha} = \frac{((Vt \times DAo) \times 1000) \times C}{10000}$$

Donde:

tC : Tonelada Carbono.

ha: hectárea.

vT= Volumen de turba.

DA: Densidad aparente del suelo.

C: Carbono.

#### **e) Análisis estadístico para correlacionar el volumen de turba, la cantidad de carbono y el estado de conservación**

Para evaluar la correlación diferencial se tomó en consideración los datos obtenidos de carbono almacenado y el nivel de turba presente en el bofedal en relación con el estado de conservación, evaluado mediante especies indicadoras de buen estado de bofedal.

### **2.6 Identificación de las variables y su mensuración**

En la presente investigación se han determinado las siguientes variables y su mensuración respectiva (Tabla 4):

**Tabla 4***Variables y su mensuración*

| <b>Variables</b>                   | <b>Metodologías</b>                              | <b>Unidades</b>                        |
|------------------------------------|--|--|
| Variables Independientes           |  |  |
| Acumulación de Turba               | Interpolación de distribuciones Gaussianas       | m <sup>2</sup>                         |
| Densidad Aparente                  | Peso seco/Volumen inicial                        | g/cm <sup>3</sup>                      |
| Contenido de Carbono               | Walkley y Black                                  | tC/ha                                  |
| Variables Dependientes             |  |  |
| Estado de conservación del bofedal | Especies indicadoras de buena calidad de bofedal | Pobre<br>Regular<br>Buena<br>Excelente |
| Cobertura Vegetal                  | Método de cuadrante                              | %                                      |

**2.7 Diseño estadístico de los datos**

Los datos obtenidos durante el estudio de evaluación de la relación entre el estado de conservación y el nivel de almacenamiento de carbono en el bofedal sector Moya fueron ordenados mediante el programa Microsoft Excel y dispuestos en gráficos de barras y tablas. Para el análisis de la cobertura vegetal y su relación con el almacenamiento de carbono se empleó el programa R. Asimismo, las variables presentes en el estudio fueron explicadas a través de la estadística descriptiva mediante el uso de promedios y regresión lineal con la finalidad de determinar la relación entre la cobertura vegetal y la cantidad de carbono almacenado en la turba del bofedal, de igual forma se usó la prueba T de Student para determinar la existencia de diferencias significativas entre las partes y puntos de muestreo.

**2.8 Materiales y equipos**

En la presente investigación se emplearon los materiales y equipos que se detallan a continuación (Tabla 5).

**Tabla 5***Materiales, equipos y servicios que se emplearon en la investigación*

| <b>Materiales biológicos</b>  | <b>Materiales de campo</b>  | <b>Materiales de Gabinete</b>  | <b>Equipos y Materiales de Laboratorio</b>  | <b>Servicios</b>  |
|---|---|--|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Muestra de vegetación</li> <li>• Muestra de turba</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Wincha</li> <li>• Muestreador tipo CORE</li> <li>• Tubos PVC</li> <li>• Bolsas ziploc</li> <li>• Cinta métrica</li> <li>• Pulmón indeleble</li> <li>• Marcos de madera</li> <li>• GPS</li> <li>• Cámara</li> <li>• Balanza</li> <li>• Cooler</li> <li>• Barreno</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Lápiz</li> <li>• Lapicero</li> <li>• Hojas</li> <li>• Computadora</li> <li>• Arcgis</li> <li>• Excel</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Balanza analítica</li> <li>• Estufa</li> <li>• Erlenmeyers de 250 ml</li> <li>• Agitador magnético con barra de teflón</li> <li>• Buretas</li> <li>• Pipetas graduadas y volumétricas</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Laboratorio</li> </ul> |

*Nota.* Esta tabla detalla todos los materiales, equipos y servicios que se emplearon durante la ejecución de la investigación.

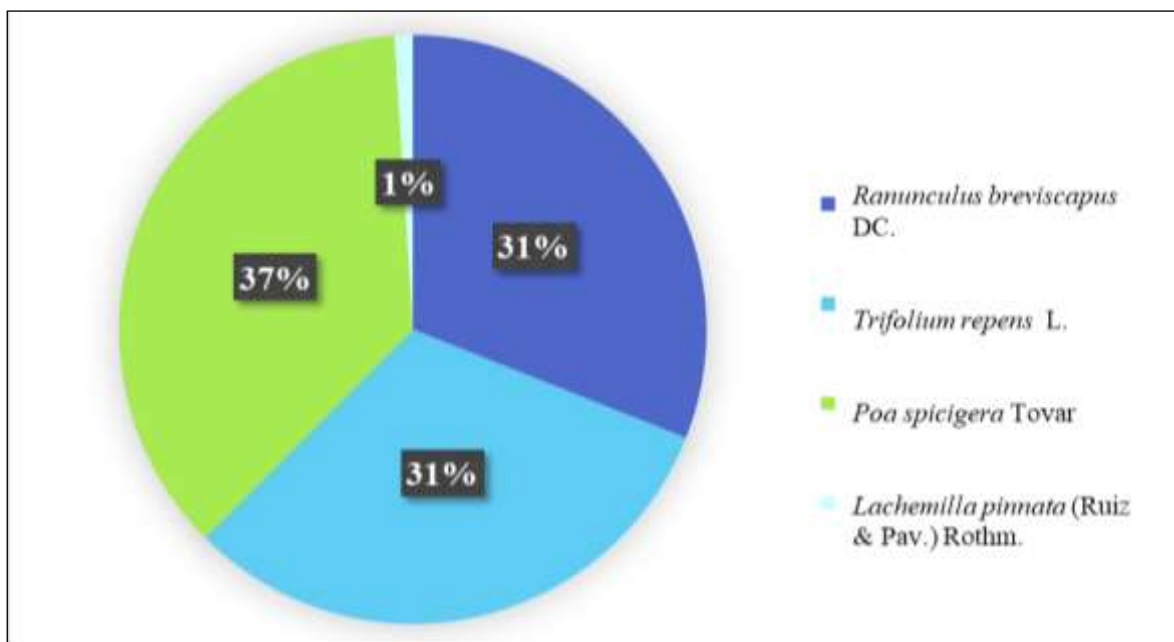
## CAPÍTULO III: RESULTADOS

### 3.1. Determinación de la cobertura vegetal en relación al almacenamiento de carbono del bofedal sector Moya en el Santuario Histórico de Chacamarca

En los resultados obtenidos del punto de muestreo T1-P1, la especie *Poa spicigera* Tovar ocupa mayor cobertura vegetal con 37 % y la especie que ocupa menor cobertura vegetal es la especie *Lachemilla pinnata* (Ruiz & Pav.) Rothm con 1 %, por otro lado, se puede observar que en este punto de muestreo se presenta una menor diversidad de especies (Figura 3).

**Figura 3**

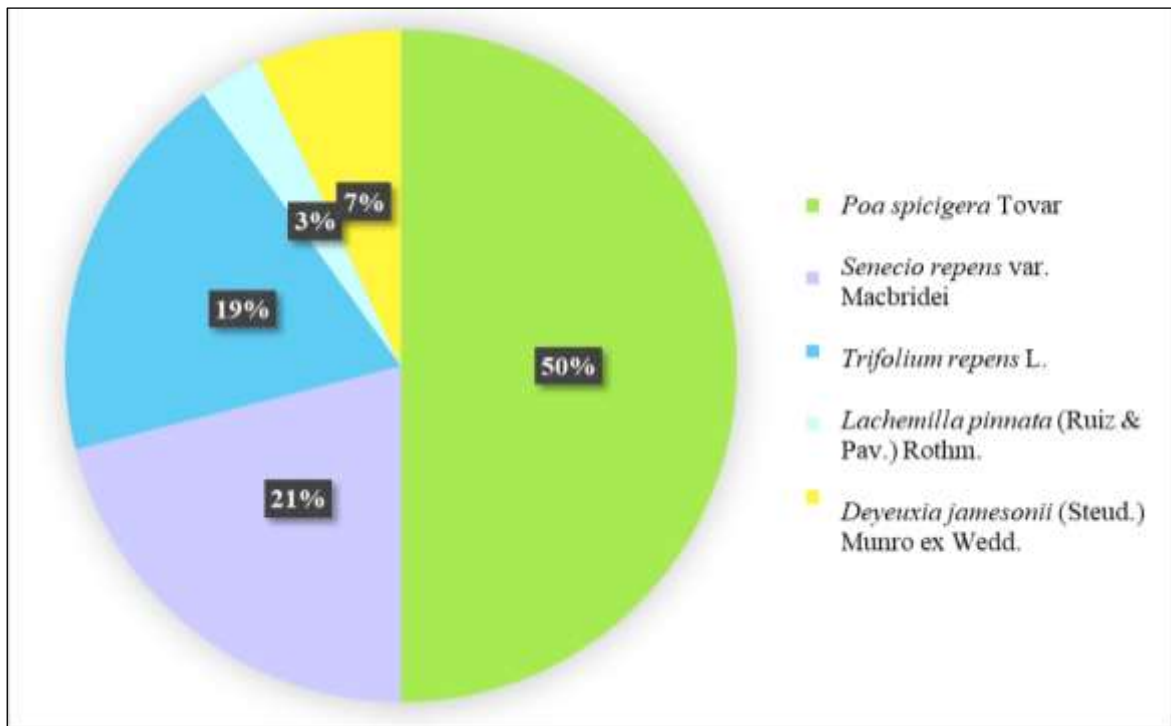
*Cobertura vegetal del punto de muestreo T1-P1*



En los resultados obtenidos del punto de muestreo T1-P2, se puede evidenciar que la especie *Poa spicigera* Tovar ocupa mayor cobertura vegetal con 50 % y la especie que menor cobertura vegetal ocupa es *Lachemilla pinnata* (Ruiz & Pav.) Rothm con 3 %, cabe resaltar que este punto de muestreo se encuentra pastoreado todo el año (Figura 4).

**Figura 4**

*Cobertura vegetal del punto de muestreo T1-P2*

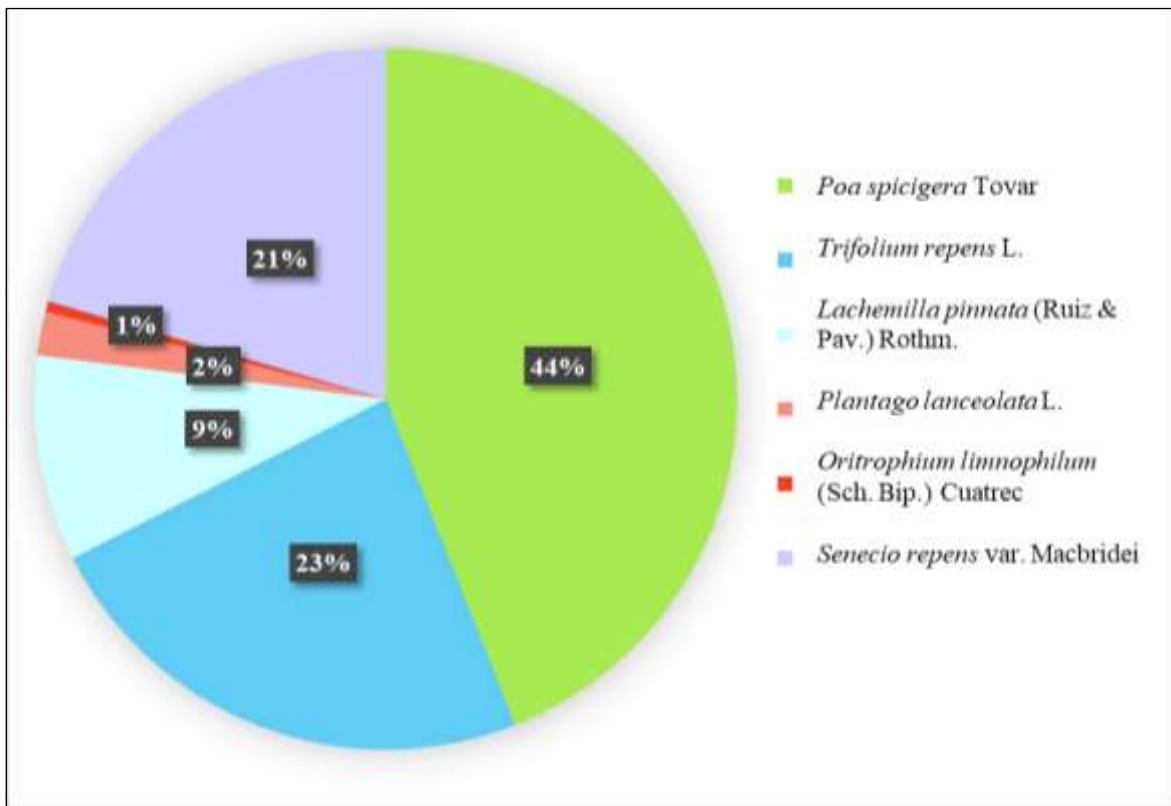


Se puede visualizar en los resultados del punto de muestreo T1-P3, que la especie *Poa spicigera* Tovar ocupa mayor cobertura vegetal con 44 % y la especie que menor cobertura vegetal ocupa *Oritrophium limnophilum* (Sch. Bip.) Cuatrec. con 1 %, asimismo, la especie *Trifolium repens* L. presenta una cobertura vegetal con 23 % debido a que en esta zona se realizaba sembrío de pastos (Figura 5).



**Figura 5**

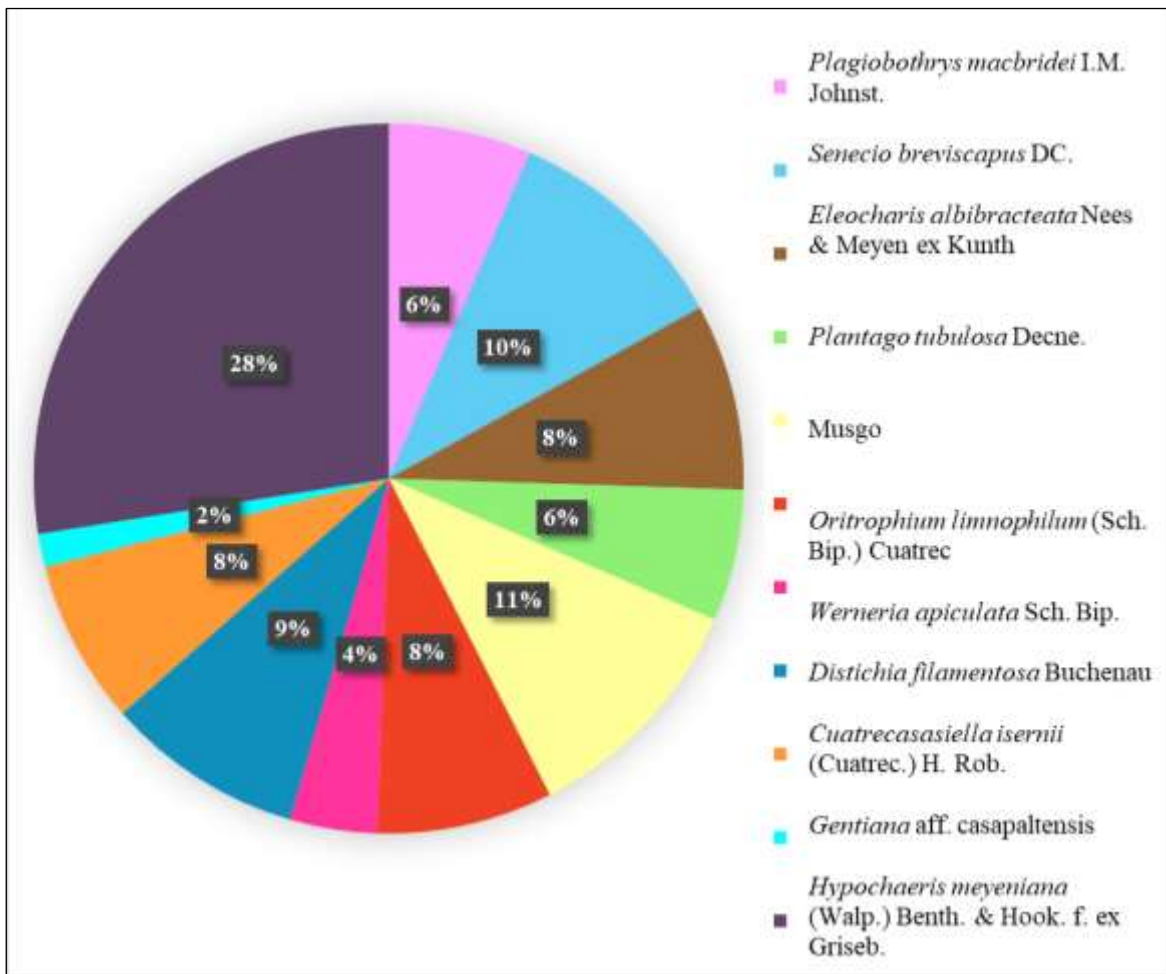
*Cobertura vegetal del punto de muestreo T1-P3*



En los resultados obtenidos del punto de muestreo T2-P1, se observa que la especie *Hypochoeris meyeniana* (Walp.) Benth. & Hook. f. ex Griseb. ocupa mayor cobertura vegetal con 28 % y la especie que menor cobertura vegetal ocupa es *Gentiana* aff. *casapaltensis* con 2 %, asimismo, presenta una mayor diversidad de especies y existe presencia de musgo (Figura 6).

**Figura 6**

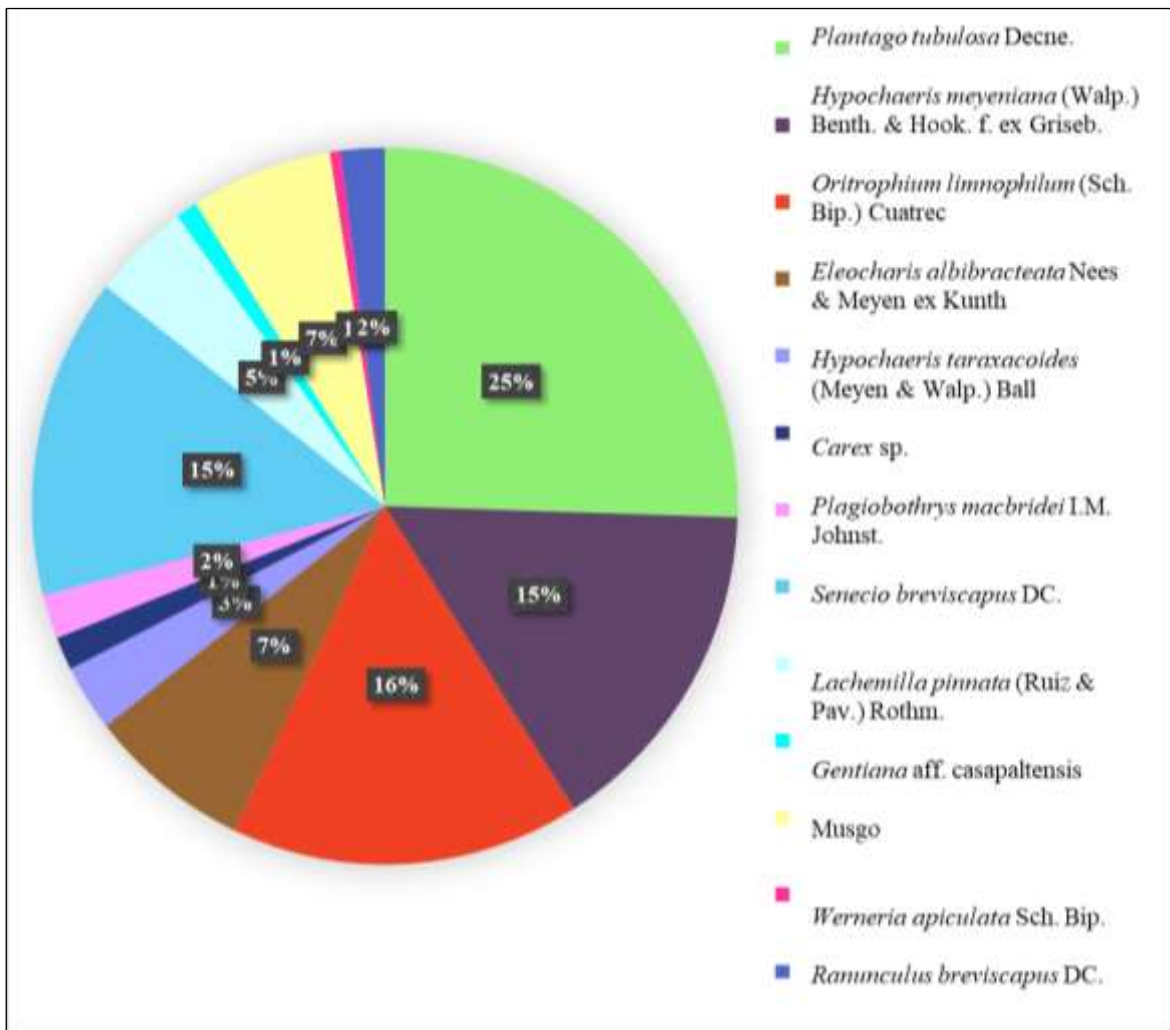
*Cobertura vegetal del punto de muestreo T2-P1*



En los resultados obtenidos del punto de muestreo T2-P2, se puede apreciar que la especie *Plantago tubulosa* Decne. ocupa mayor cobertura vegetal con 25 % y la especie que menor cobertura vegetal ocupa es *Gentiana* aff. *casapaltensis* con 2 %. Asimismo, presenta una diversidad de 12 especies y existe presencia de musgo (Figura 7).

**Figura 7**

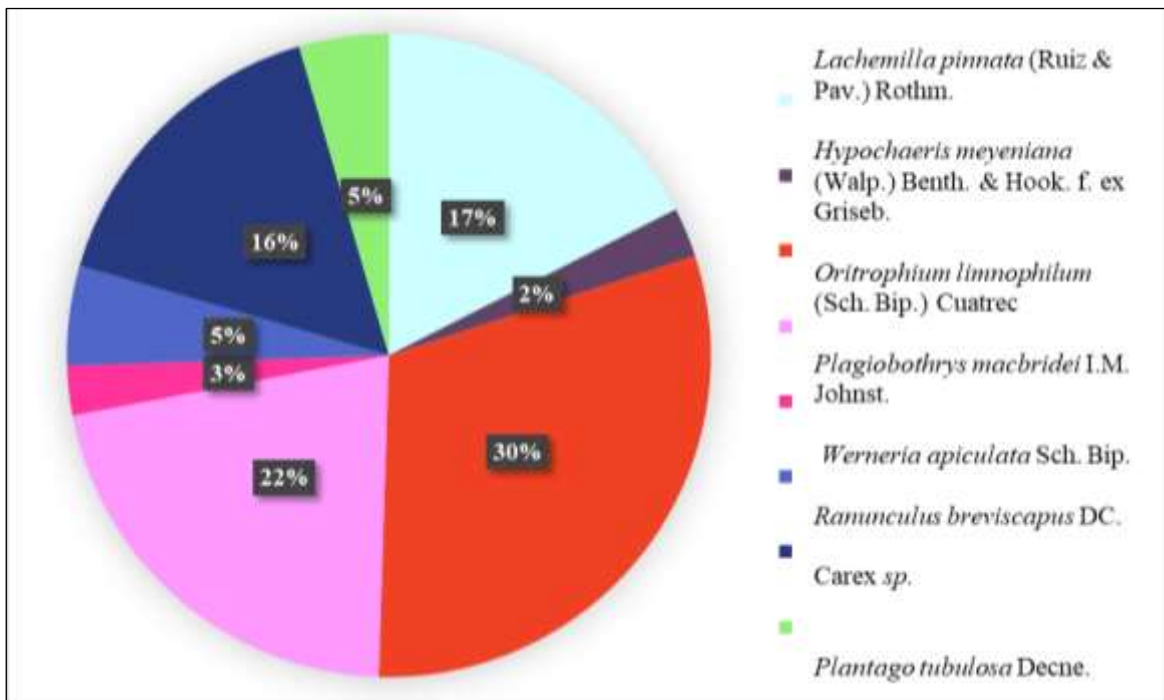
*Cobertura vegetal del punto de muestreo T2-P2*



Se evidencia en los resultados obtenidos del punto de muestreo T2-P3, que la especie *Oritrophium limnophilum* (Sch. Bip.) Cuatrec. ocupa mayor cobertura vegetal con 30 % y la especie que menor cobertura vegetal ocupa *Hypochaeris meyeniana* (Walp.) Benth. & Hook. F. ex Griseb. con 2 %, con una diversidad de ocho especies (Figura 8).

**Figura 8**

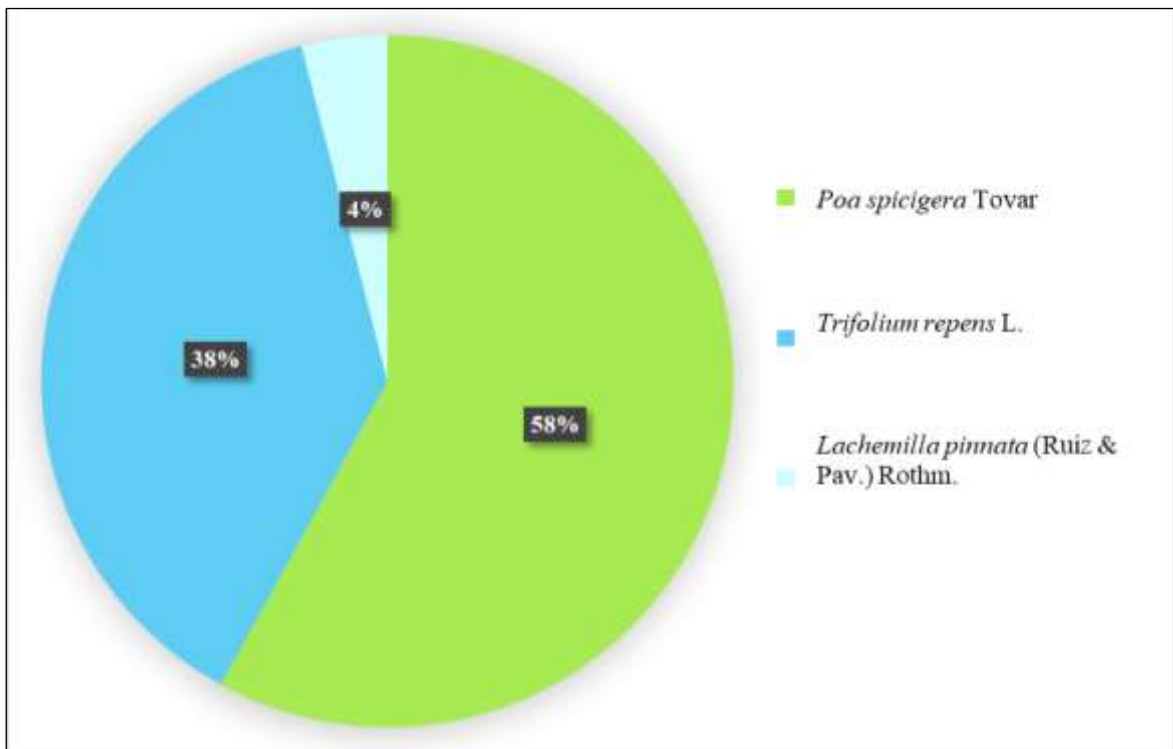
*Cobertura vegetal del punto de muestreo T2-P3*



Se puede apreciar los resultados obtenidos del punto de muestreo T3-P1, que la especie *Poa spicigera* Tovar ocupa mayor cobertura vegetal con 58 % y la especie que menor cobertura vegetal ocupa *Lachemilla pinnata* (Ruiz & Pav.) Rothm con 4 %, en esta zona existe una menor diversidad de especies debido a que se realiza un pastoreo constante tanto de ganado ovino y vacuno (Figura 9).

## Figura 9

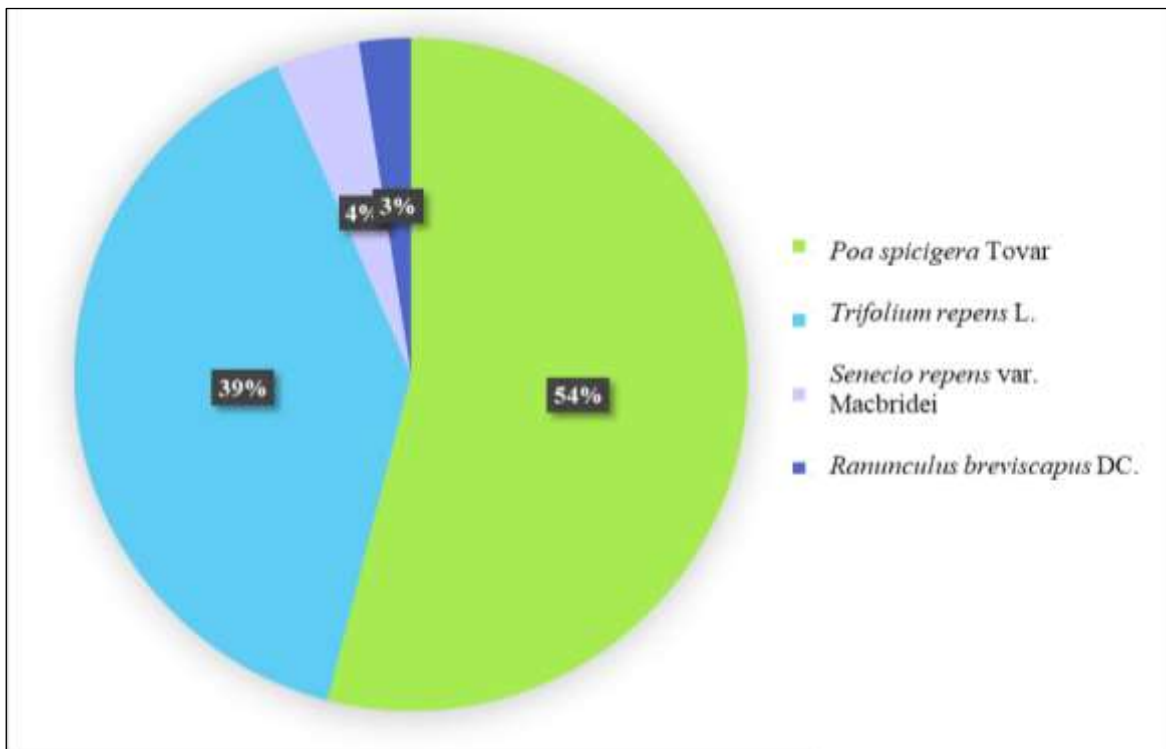
Cobertura vegetal del punto de muestreo T3-P1



Se visualiza en los resultados obtenidos del punto de muestreo T3-P2, que la especie *Poa spicigera* Tovar ocupa mayor cobertura vegetal con 54 % y la especie que menor cobertura vegetal ocupa *Ranunculus breviscapus* DC con 3 %, cabe resaltar que en este punto de muestreo existe una baja diversidad de especies debido al pastoreo constante (Figura 10).

**Figura 10**

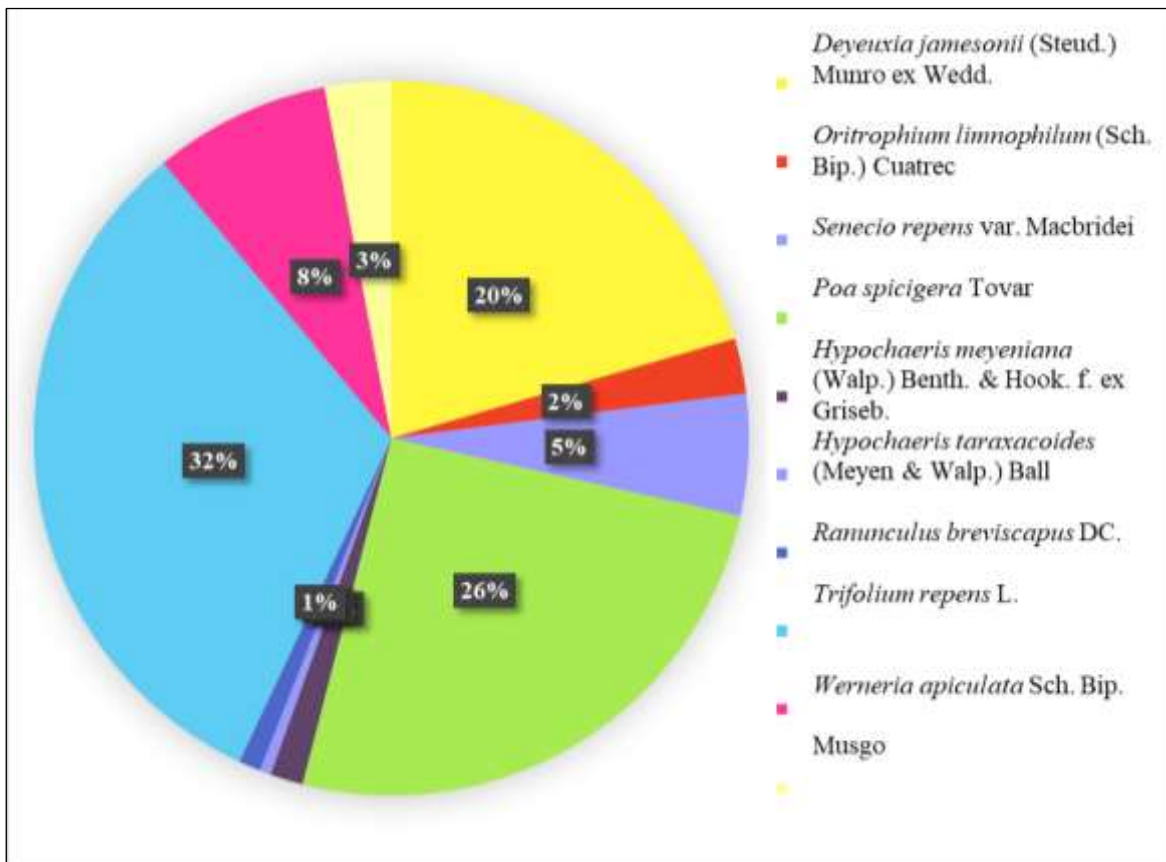
*Cobertura vegetal del punto de muestreo T3-P2*



En los resultados obtenidos del punto de muestreo T3-P3, se puede observar que la especie *Poa spicigera* Tovar ocupa mayor cobertura vegetal con 54 % y la especie que menor cobertura vegetal ocupa *Ranunculus breviscapus* DC con 3 %, asimismo, se registró la presencia de musgo con 3 % de cobertura (Figura 11).

**Figura 11**

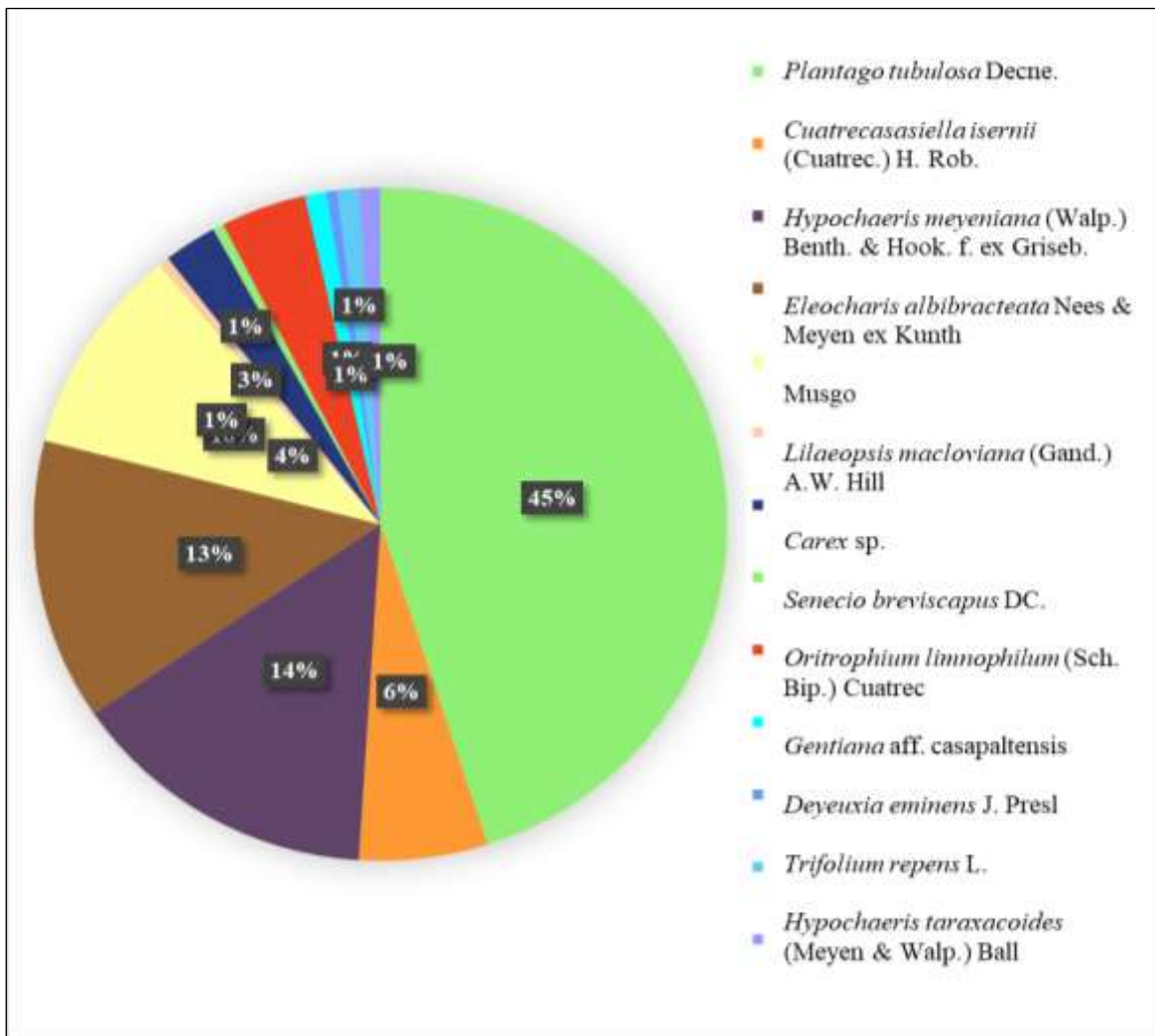
*Cobertura vegetal del punto de muestreo T3-P3*



En los resultados obtenidos del punto de muestreo T4-P1, se evidencia que la especie *Plantago tubulosa* Decne ocupa mayor cobertura vegetal con 45 % y las especies que menor cobertura vegetal ocupan son: *Senecio breviscapus* DC, *Lilaeopsis macloviana* (Gand.) A.W. Hill y *Deyeuxia eminens* J. Presl con 1 %, asimismo, se registró la presencia de musgo con 10 % de cobertura, por otro lado, presenta una diversidad de 12 especies (Figura 12).

**Figura 12**

*Cobertura vegetal del punto de muestreo T4-P1*

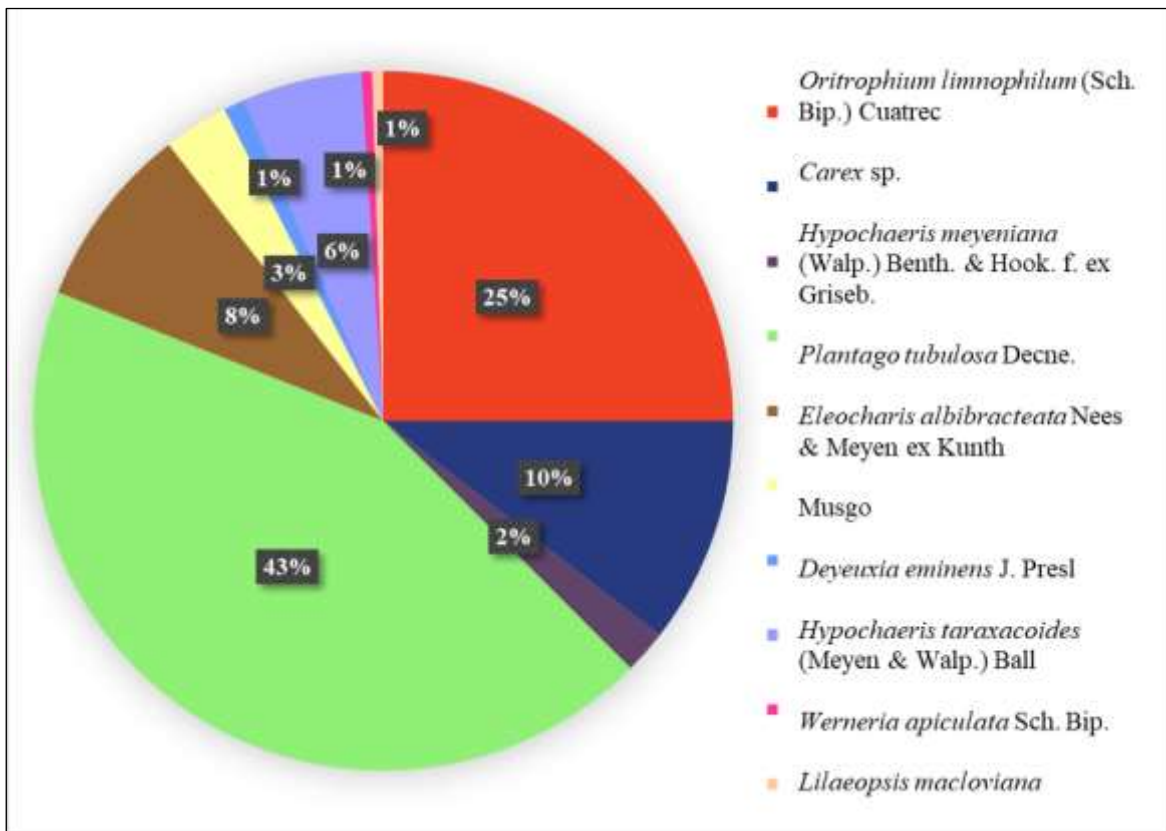


Se puede apreciar en los resultados obtenidos del punto de muestreo T4-P2, que *Plantago tubulosa* Decne ocupa mayor cobertura vegetal con 43 % y las especies que menor cobertura vegetal ocupan son: *Lilaeopsis macloviana* (Gand.) A.W. Hill y *Werneria apiculata* Sch. Bip. con 1 %, asimismo, se registró la presencia de musgo con 3 % de cobertura (Figura 13).



**Figura 13**

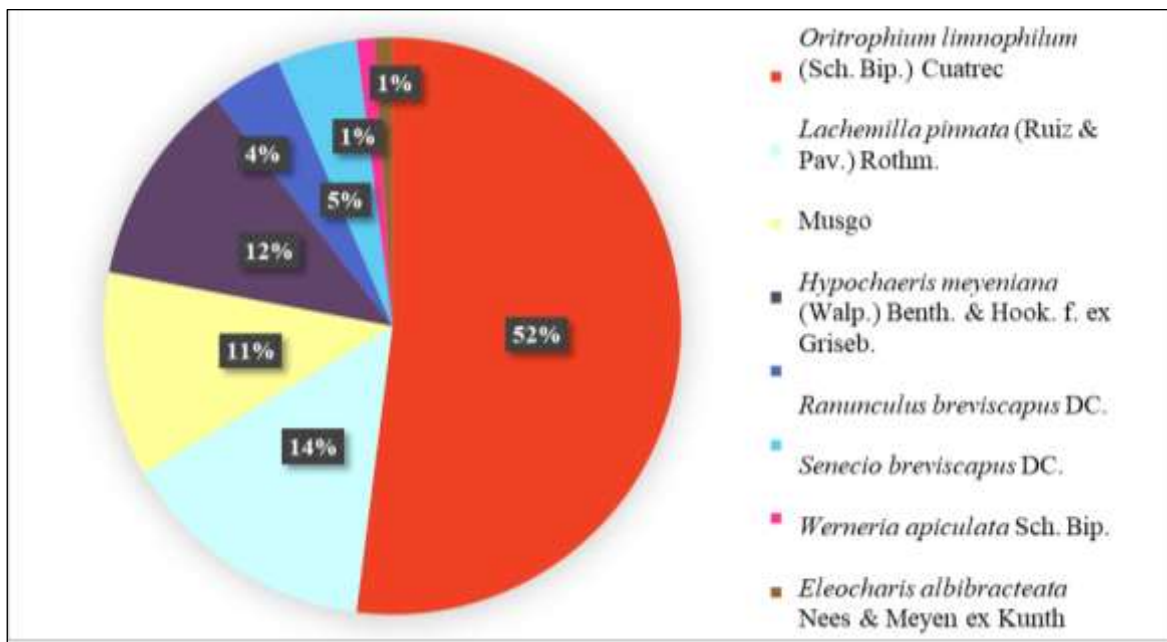
*Cobertura vegetal del punto de muestreo T4-P2*



En los resultados obtenidos del punto de muestreo T4-P3, se observa que la especie *Oritrophium limnophilum* (Sch. Bip.) Cuatrec. ocupa mayor cobertura vegetal con 52 % y las especies que menor cobertura vegetal ocupa son: *Werneria apiculata* Sch. Bip. y *Eleocharis albibracteata* Nees & Meyen ex Kunth con 1 %, asimismo, se registró la presencia de musgo con 12 % de cobertura (Figura 14).

**Figura 14**

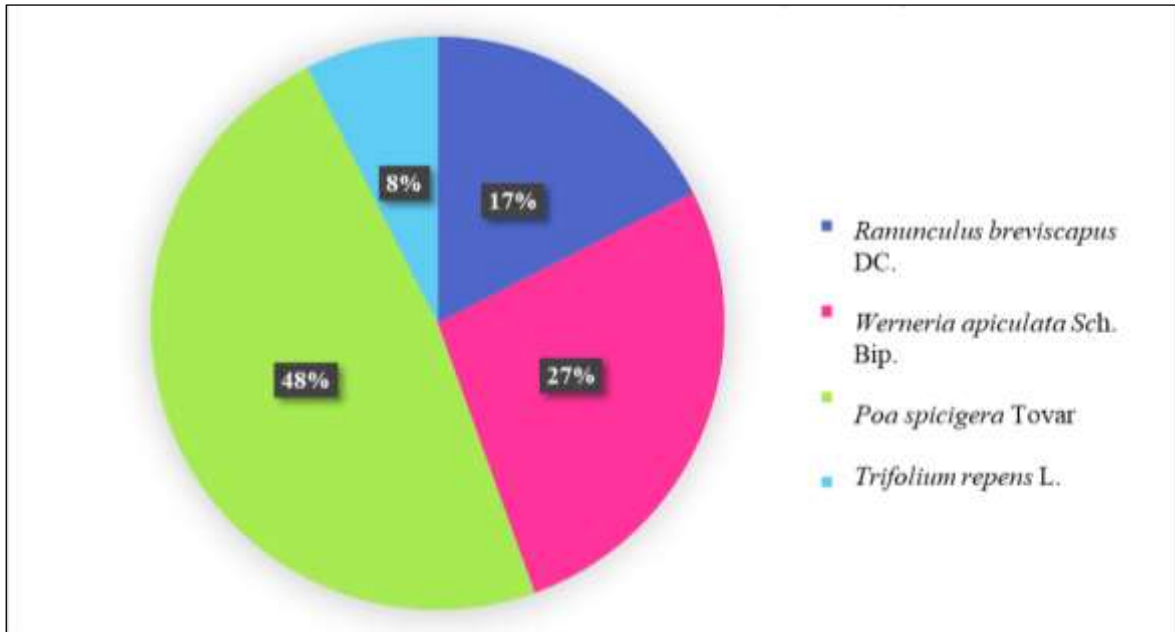
*Cobertura vegetal del punto de muestreo T4-P3*



Los resultados obtenidos del punto de muestreo T5-P1, se aprecia que la especie *Poa spicigera* Tovar ocupa mayor cobertura vegetal con 48 % y la especie que menor cobertura vegetal ocupa es *Trifolium repens* L. con 8 %, asimismo, se observa que existe una baja diversidad de especies (Figura 15).

## Figura 15

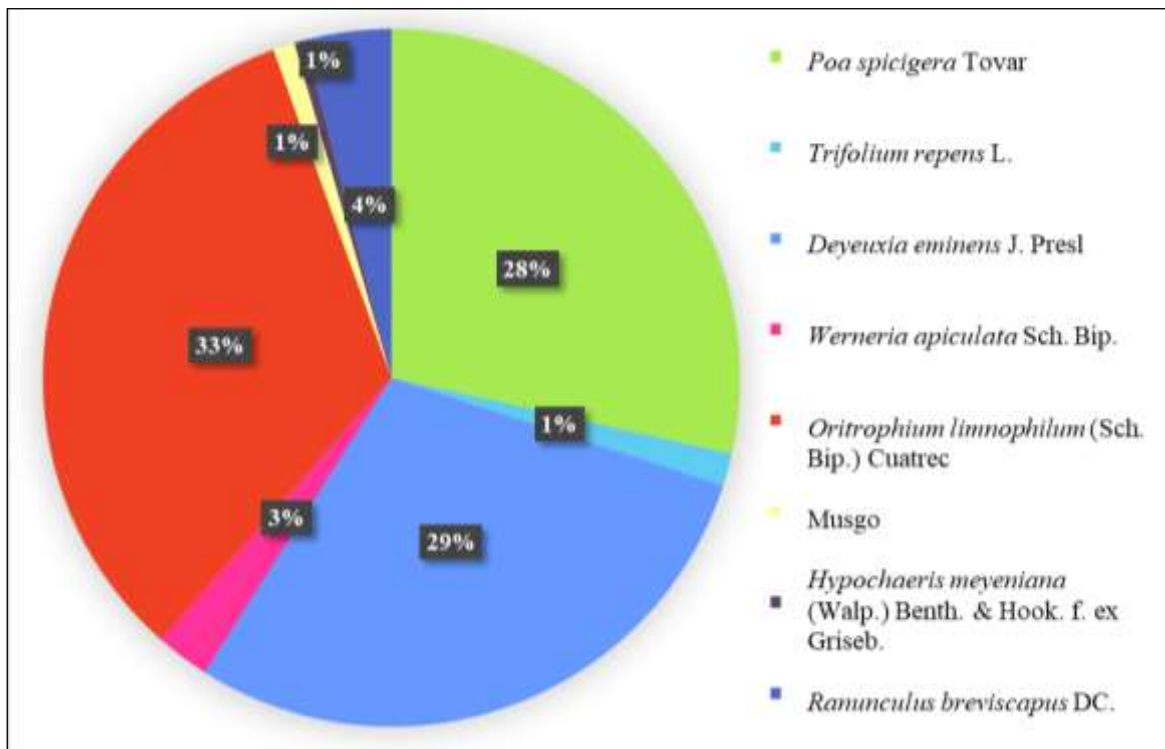
### Cobertura vegetal del punto de muestreo T5-P1



De acuerdo a los resultados se aprecia que en el punto de muestreo T5-P2, la especie *Deyeuxia eminens* J. Presl ocupa mayor cobertura vegetal con 29 % y la especie que menor cobertura vegetal ocupa es *Hypochaeris meyeniana* (Walp.) Benth. & Hook. f. ex Griseb con 1 %, asimismo, se registró la presencia de musgo con 1 % de cobertura y presenta una diversidad de ocho especies (Figura 16).

**Figura 16**

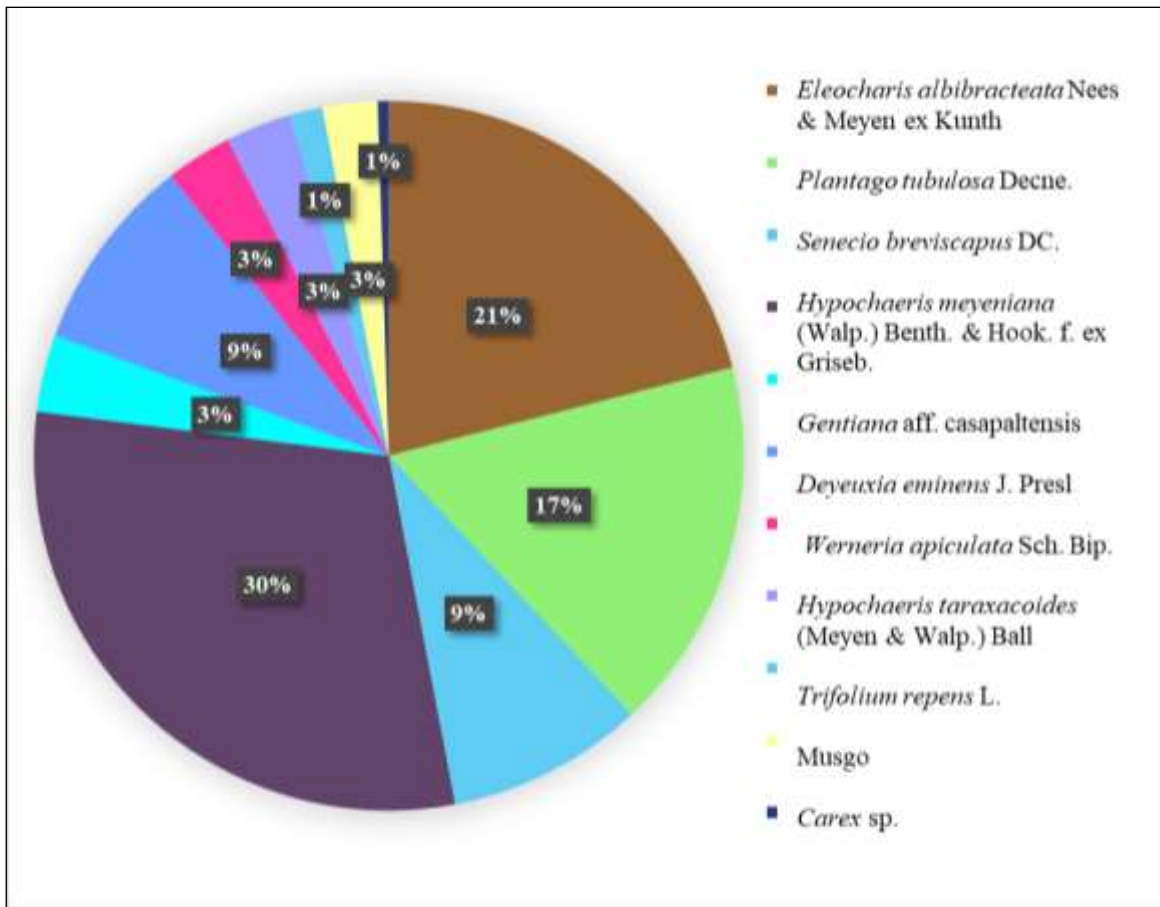
*Cobertura vegetal del punto de muestreo T5-P2*



De acuerdo a los resultados obtenidos en el punto de muestreo T5-P3, la especie *Hypochaeris meyeniana* (Walp.) Benth. & Hook. f. ex Griseb. ocupa mayor cobertura vegetal con 30 % y la especie que menor cobertura vegetal ocupa es *Carex* sp. con 1 %, asimismo, se registró la presencia de musgo con 3 % de cobertura, asimismo se observa que posee una diversidad de 10 especies (Figura 17).

**Figura 17**

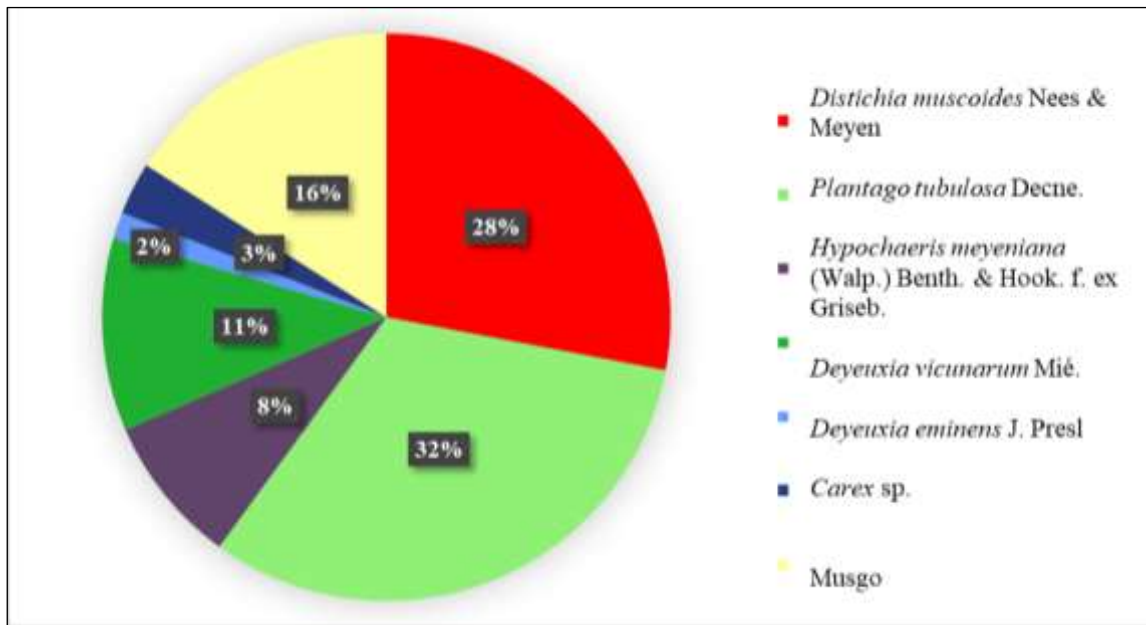
*Cobertura vegetal del punto de muestreo T5-P3*



En los resultados obtenidos del punto de muestreo T6-P1, se observa que la especie *Plantago tubulosa* Decne. ocupa mayor cobertura vegetal con 32 % y la especie que menor cobertura vegetal ocupa es *Deyeuxia eminens* J. Presl con 2 %, asimismo, se registró la presencia de musgo con 16 % de cobertura y una diversidad de seis especies (Figura 18).

**Figura 18**

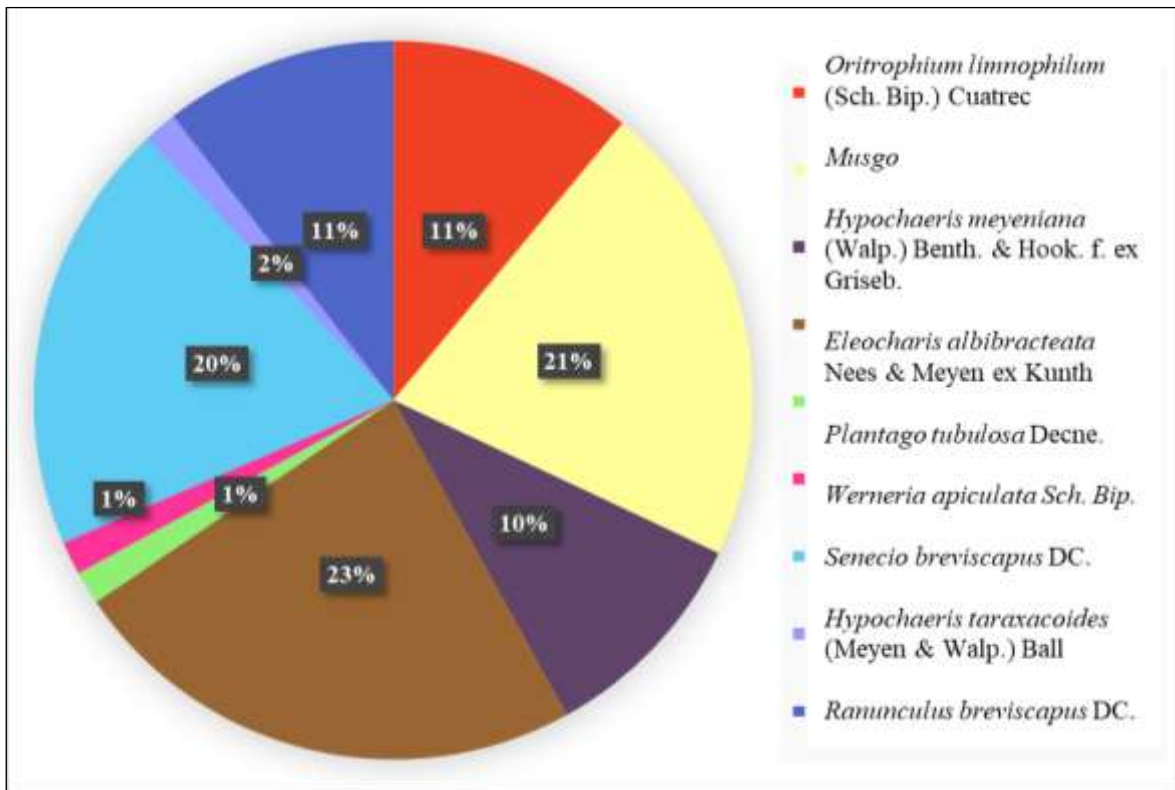
*Cobertura vegetal del punto de muestreo T6-P1*



Se puede evidenciar en los resultados obtenidos del punto de muestreo T6-P2, que la especie *Eleocharis albibracteata* Nees & Meyen ex Kunth ocupa mayor cobertura vegetal con 23 % y las especies que menor cobertura vegetal presentaron fueron *Werneria apiculata* Sch. Bip. y *Plantago tubulosa* Decne. con 1 %, asimismo, se registró la presencia de musgo con 21 % de cobertura y una diversidad de ocho especies (Figura 19).

**Figura 19**

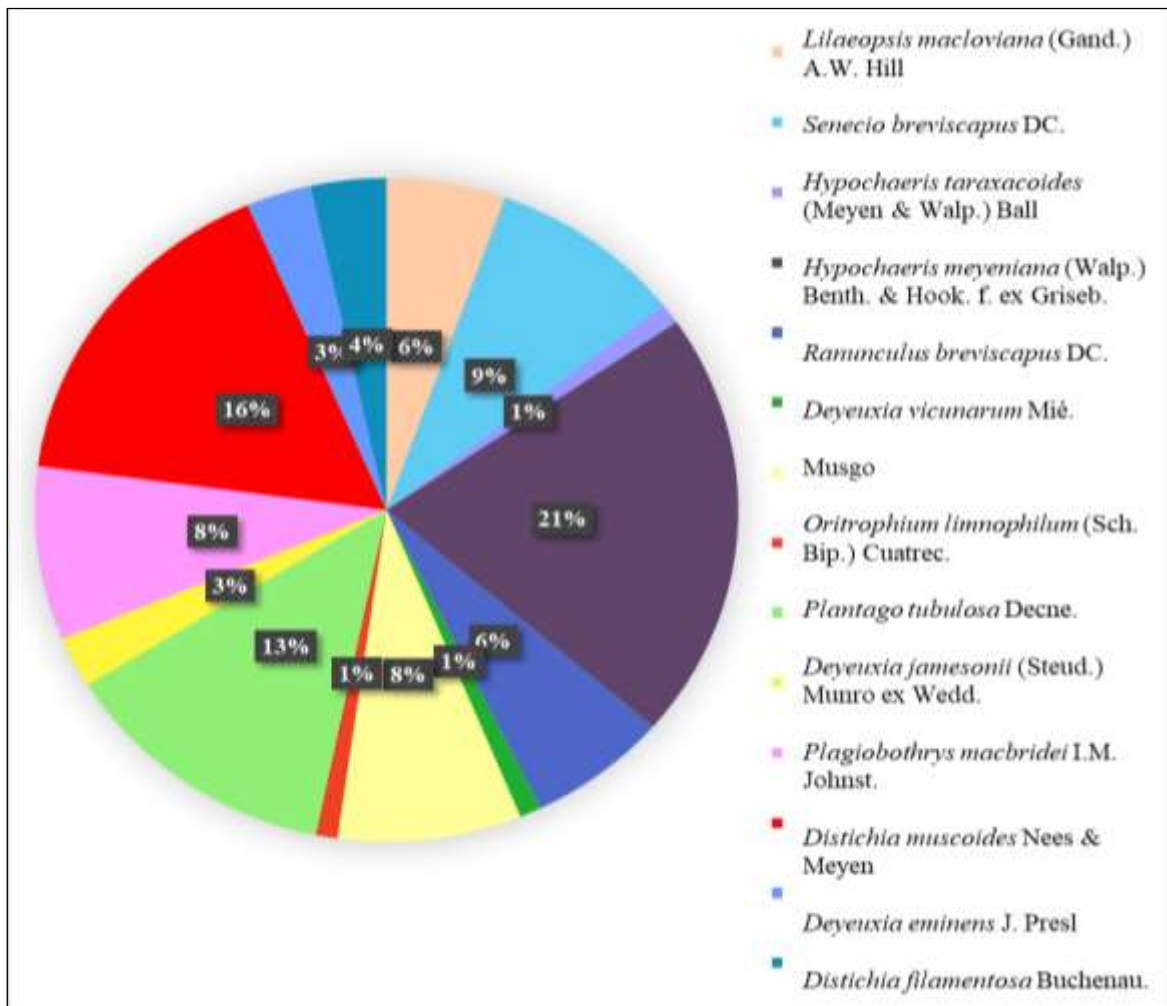
*Cobertura vegetal del punto de muestreo T6-P2*



De acuerdo a los resultados obtenidos del punto de muestreo T6-P3, la especie *Hypochaeris meyeniana* (Walp.) Benth. & Hook. f. ex Griseb. ocupa mayor cobertura vegetal con 21 % y las especies que menor cobertura vegetal presentaron fueron: *Hypochaeris taraxacoides* (Meyen & Walp.) Ball, *Deyeuxia vicunarum* Wedd., *Oritrophium limnophilum* (Sch. Bip.) Cuatrec. con 1 %, asimismo, se registró la presencia de musgo con 8 % de cobertura y una diversidad de 13 especies (Figura 20).

**Figura 20**

*Cobertura vegetal del punto de muestreo T6-P3*

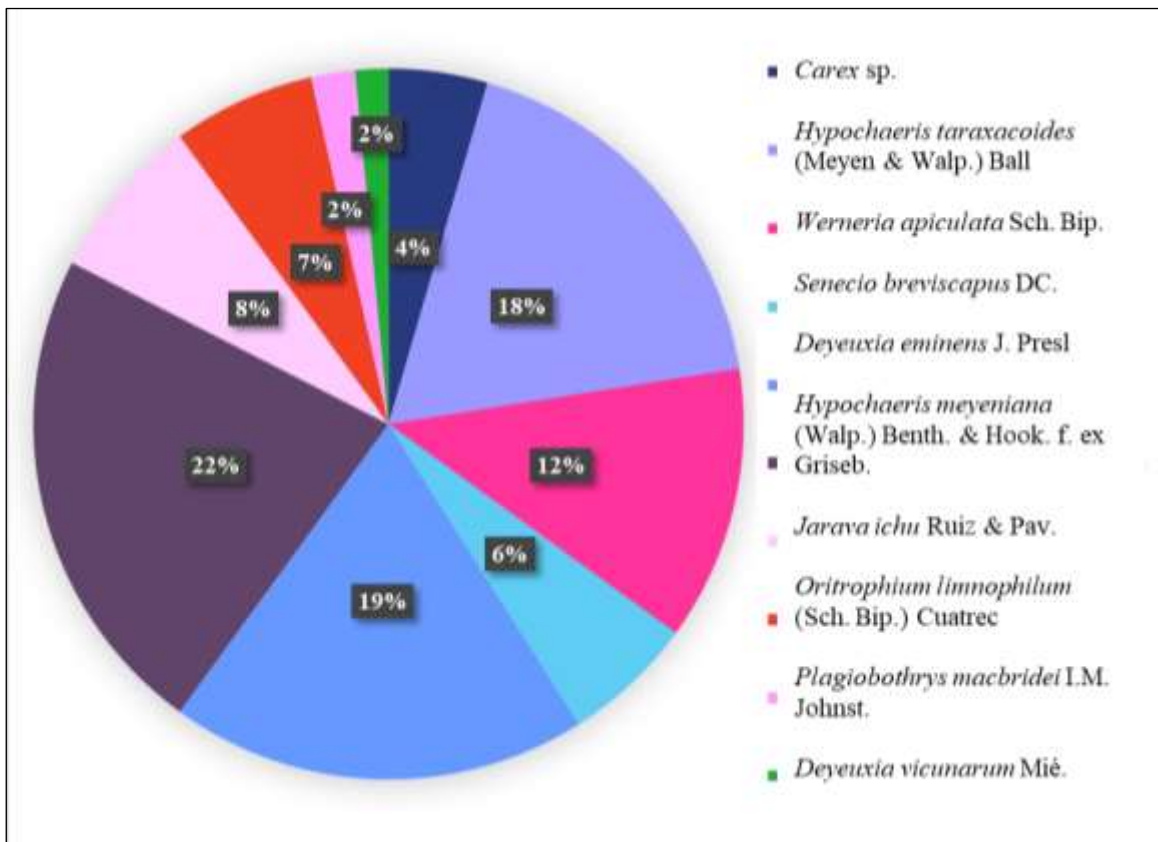


Los resultados obtenidos del punto de muestreo T7-P1, evidencia que la especie *Hypochaeris meyeniana* (Walp.) Benth. & Hook. f. ex Griseb. ocupa mayor cobertura vegetal con 22 % y las especies que menor cobertura vegetal ocupan son: *Plagiobothrys macbridei* I.M. Johnst. Y *Deyeuxia vicinarum* Wedd. Con 2 %, asimismo, presenta una diversidad de 10 especies (Figura 21).



**Figura 21**

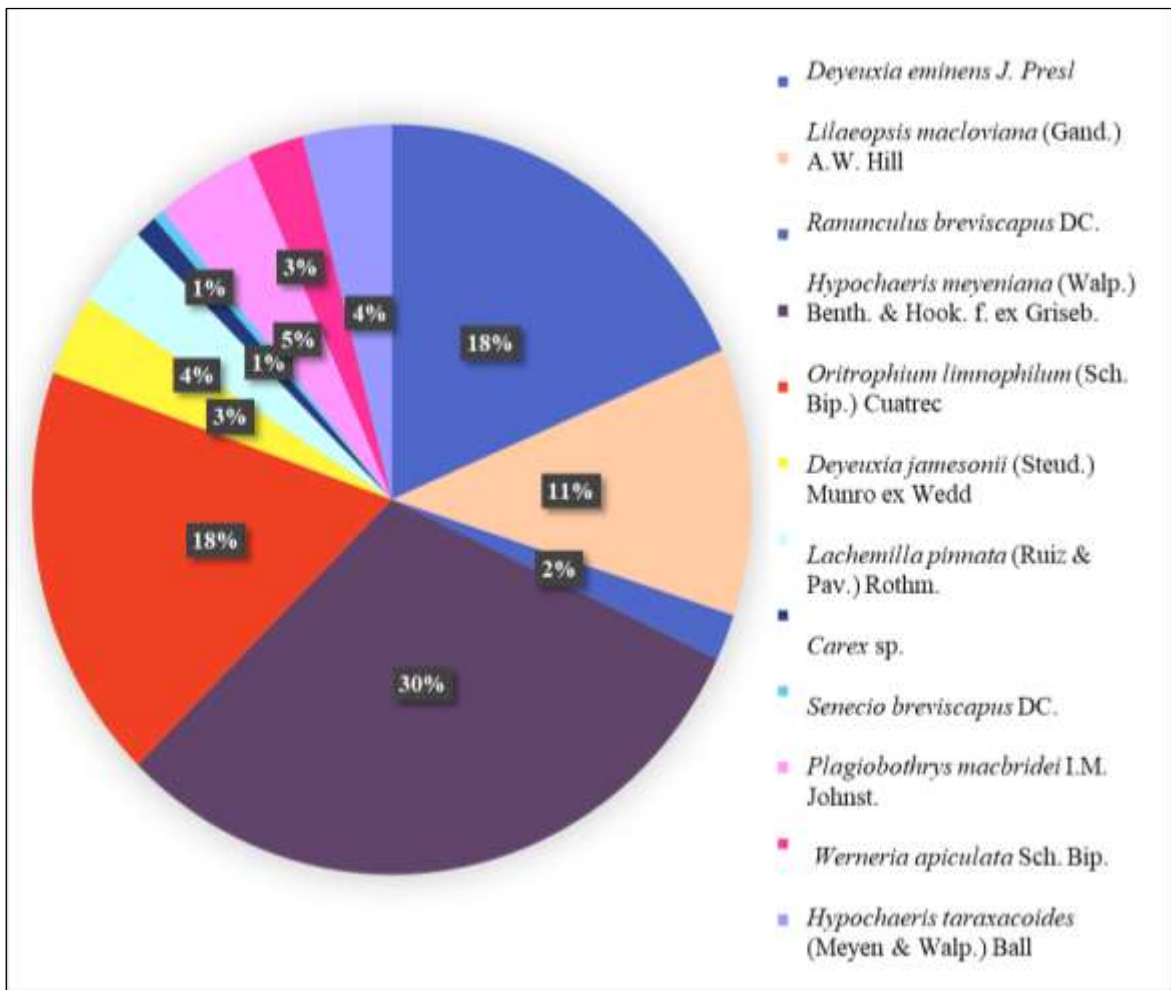
*Cobertura vegetal del punto de muestreo T7-P1*



Según los resultados obtenidos del punto de muestreo T7-P2, la especie *Hypochaeris meyeniana* (Walp.) Benth. & Hook. f. ex Griseb. ocupa mayor cobertura vegetal con 30 % y la especie que menor cobertura vegetal ocupa es *Carex* sp. y *Senecio breviscapus* DC. con 1 %, asimismo, se visualiza que existe una diversidad de 12 especies (Figura 22).

**Figura 22**

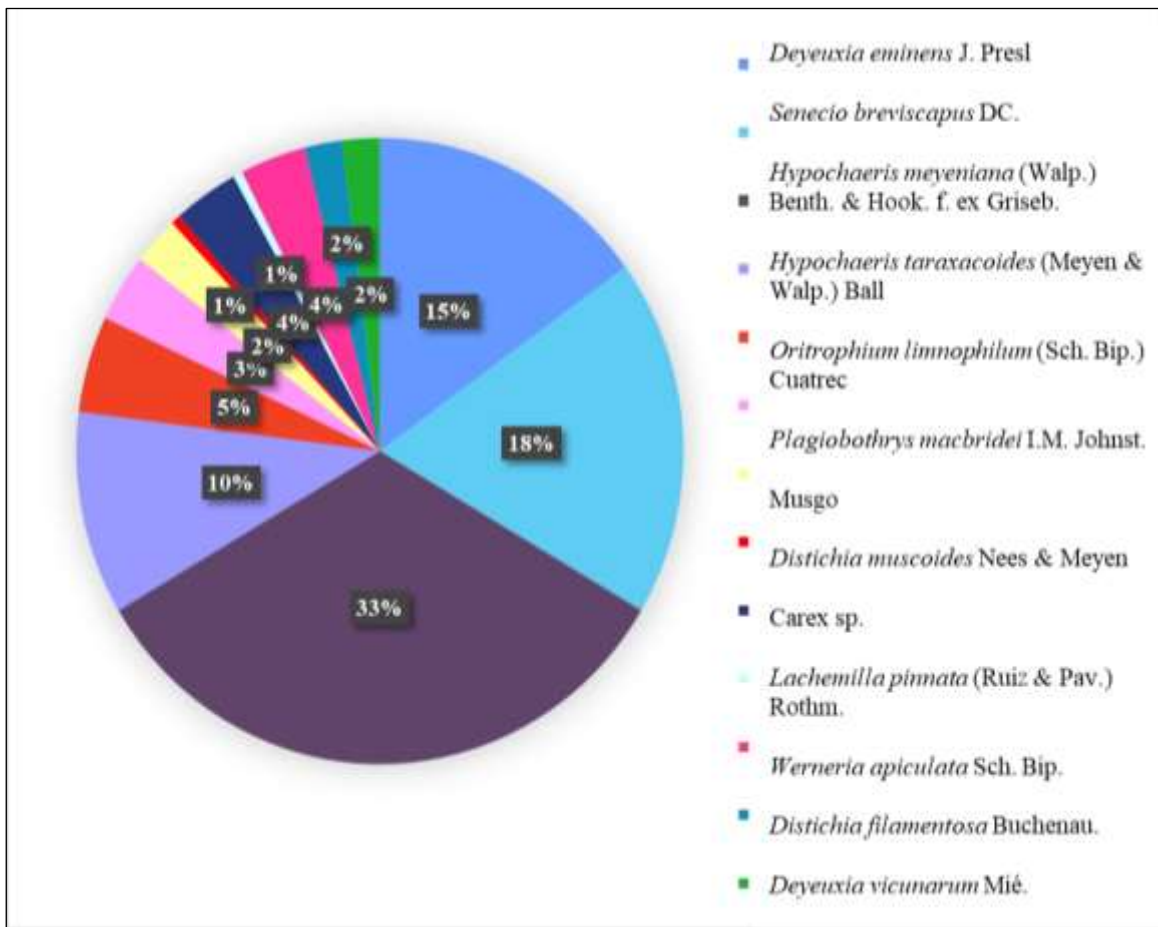
*Cobertura vegetal del punto de muestreo T7-P2*



Los resultados obtenidos del punto de muestreo T7-P3, muestran que la especie *Hypochaeris meyeniana* (Walp.) Benth. & Hook. f. ex Griseb. ocupa mayor cobertura vegetal con 33 % y las especies que menor cobertura vegetal presentan son: *Distichia muscoides* Nees & Meyen y *Lachemilla pinnata* (Ruiz & Pav.) Rothm. con 1 %, asimismo, se registró la presencia de musgo con 3 % de cobertura y una diversidad de 12 especies (Figura 23).

**Figura 23**

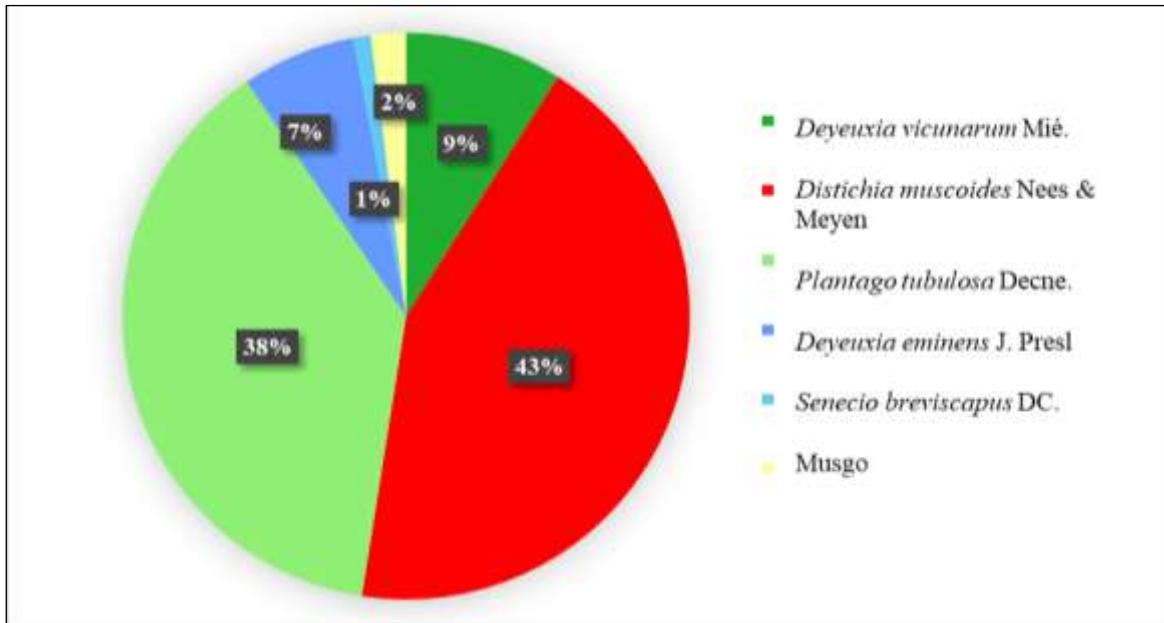
*Cobertura vegetal del punto de muestreo T7-P3*



Según los resultados obtenidos del punto de muestreo T8-P1, se observa que la especie *Distichia muscoides* Nees & Meyen ocupa mayor cobertura vegetal con 43 % y la especie que menor cobertura vegetal ocupa es *Senecio breviscapus* DC. con 1 %, asimismo, se registró la presencia de musgo con 2 % de cobertura, en este punto de muestreo existe una dominancia significativa de las dos especies a comparación de las demás especies (Figura 24).

**Figura 24**

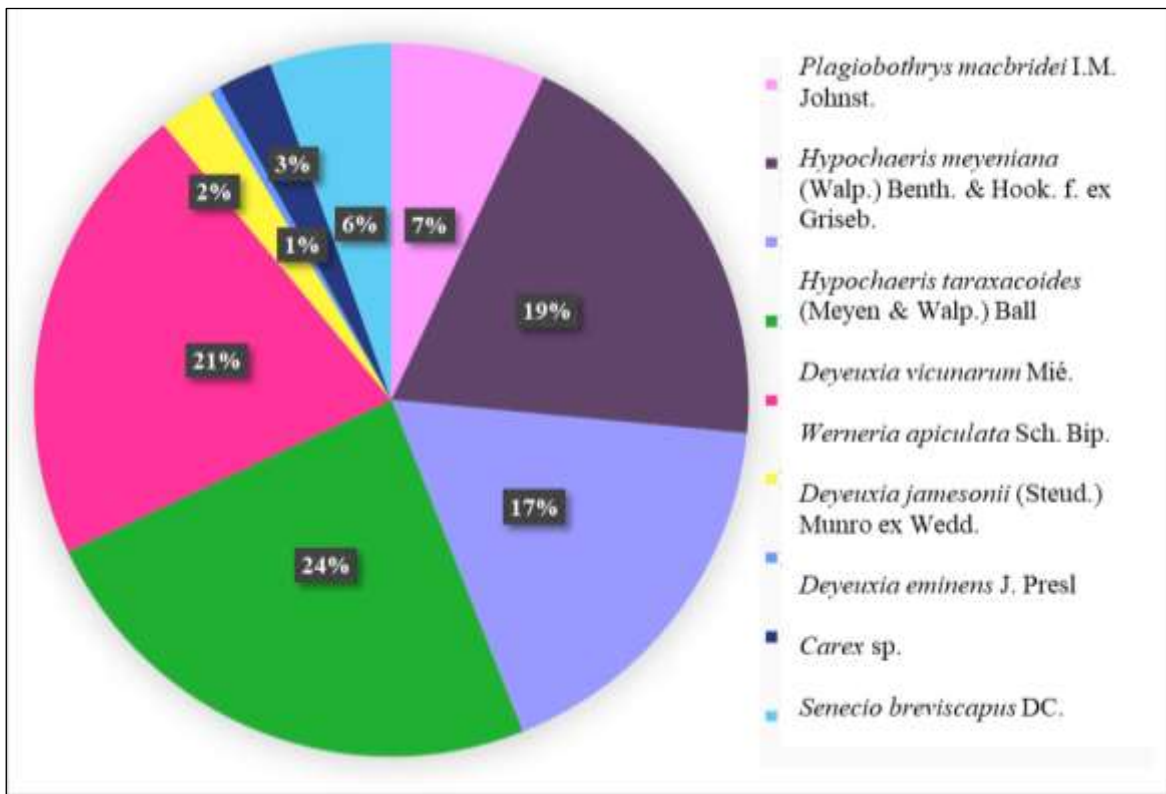
*Cobertura vegetal del punto de muestreo T8-P1*



De acuerdo a los resultados obtenidos del punto de muestreo T8-P2, se aprecia que la especie *Deyeuxia vicinarum* Wedd. Ocupa mayor cobertura vegetal con 24 % y la especie que menor cobertura vegetal ocupa es *Deyeuxia eminens* J. Presl con 1 %, asimismo, presenta una diversidad de nueve especies (Figura 25).

**Figura 25**

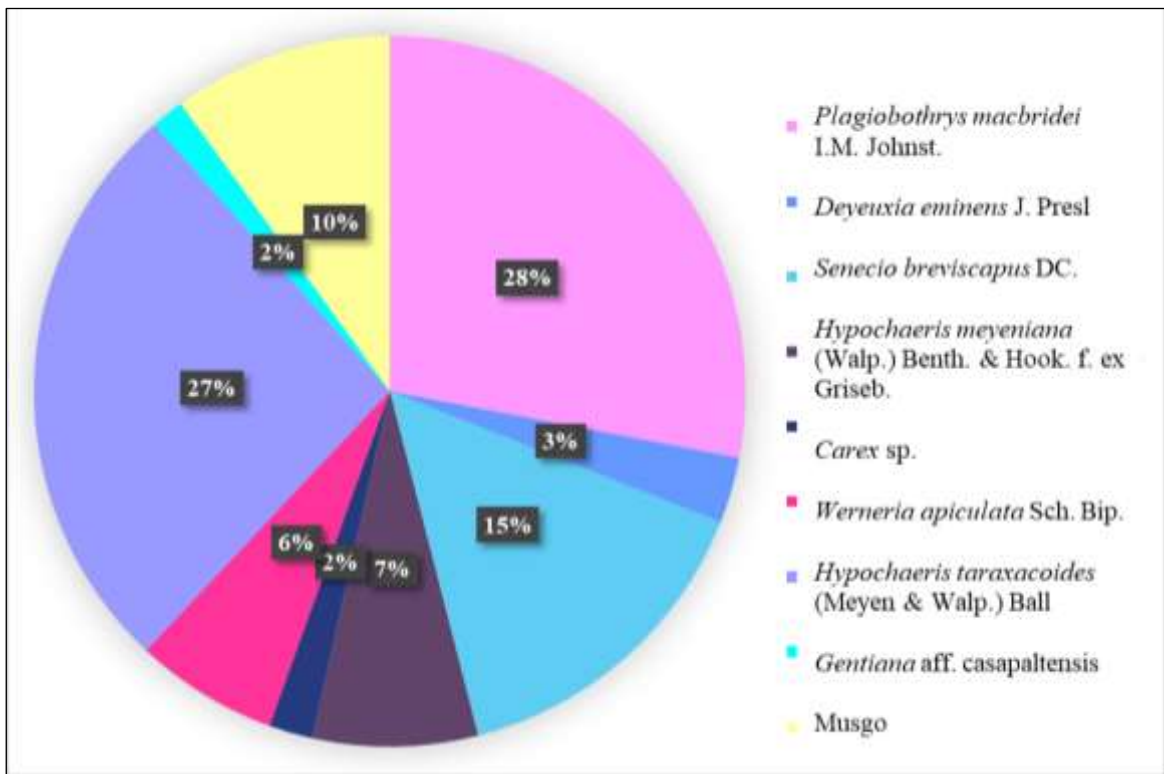
*Cobertura vegetal del punto de muestreo T8-P2*



Los resultados obtenidos del punto de muestreo T8-P3, muestran que la especie *Plagiobothrys macbridei* I.M. Johnst ocupa mayor cobertura vegetal con 28 % y las especies que menor cobertura vegetal ocupan son *Gentiana* aff. *casapaltensis* y *Carex* sp. con 2 %, asimismo, se registró la presencia de musgo con 10 % de cobertura (Figura 26).

**Figura 26**

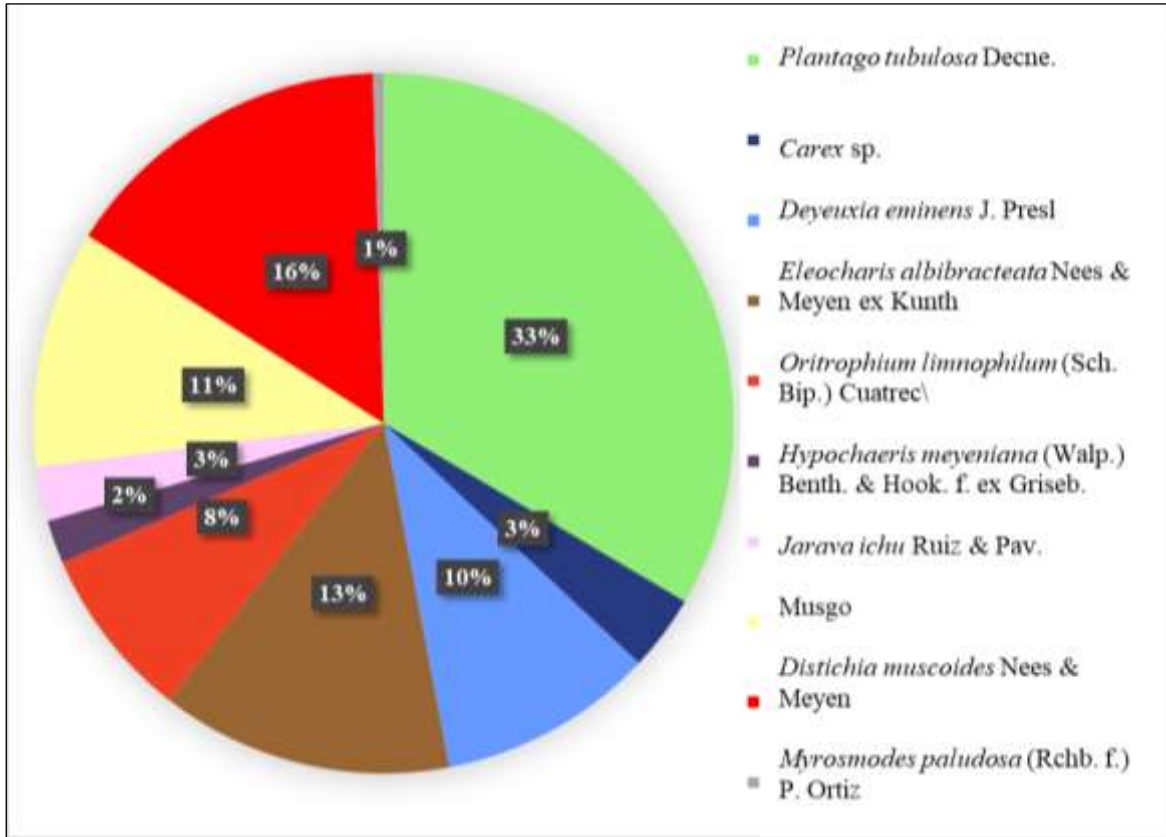
*Cobertura vegetal del punto de muestreo T8-P3*



De acuerdo a los resultados obtenidos del punto de muestreo T9-P1, se visualiza que la especie *Plantago tubulosa* Decne ocupa mayor cobertura vegetal con 33 % y la especie que menor cobertura vegetal ocupa *Myrosmodes paludosa* (Rchb. F.) P. Ortiz con 1 %, asimismo, se registró la presencia de musgo con 11 % de cobertura y una diversidad de nuevas especies (Figura 27).

**Figura 27**

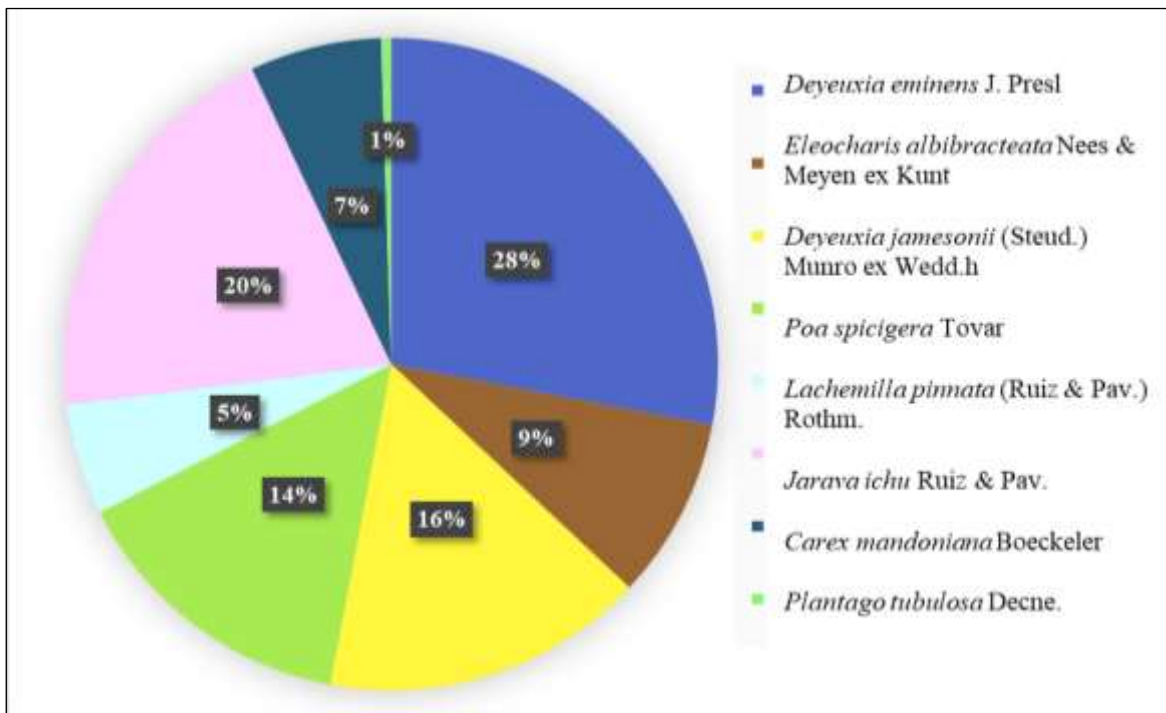
*Cobertura vegetal del punto de muestreo T9-P1*



En los resultados obtenidos del punto de muestreo T9-P2, se observa que la especie *Deyeuxia eminens* J. Presl ocupa mayor cobertura vegetal con 28 % y la especie que menor cobertura vegetal ocupa *Plantago tubulosa* Decne con 1 %. Cabe resaltar que en este punto de muestreo la especie *Poa spicigera* Tovar ocupa una considerable cobertura con 14 % debido a que esta zona se encuentra poco inundada y presenta una ligera inclinación (Figura 28).

**Figura 28**

*Cobertura vegetal del punto de muestreo T9-P2*

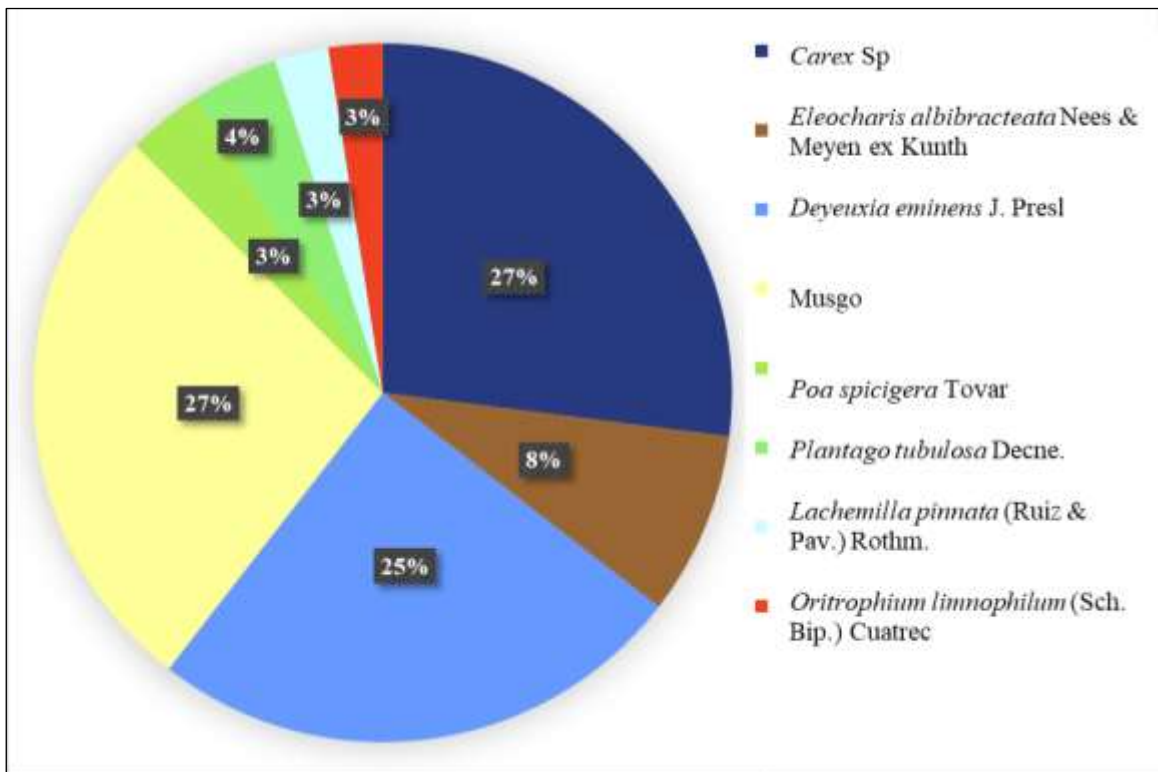


En los resultados obtenidos del punto de muestreo T9-P3, se evidencia que la especie *Eleocharis albibracteata* Nees & Meyen ex Kunth ocupa mayor cobertura vegetal con 27 % y las especies que menor cobertura vegetal presentan son: *Poa spicigera* Tovar, *Lachemilla pinnata* (Ruiz & Pav.) Rothm y *Oritrophium limnophilum* (Sch. Bip.) Cuatrec. con 3 %, asimismo, se registró la presencia de musgo con 27 % de cobertura (Figura 29).



**Figura 29**

*Cobertura vegetal del punto de muestreo T9-P3*



### 3.1.1 Especies de flora registradas

En los nueve transectos del bofedal sector Moya del Santuario Histórico de Chacamarca, se registró un total de 27 especies de flora, 20 géneros, pertenecientes a 13 familias siendo las más diversas la familia Asteraceae con siete especies, Poaceae con cinco especies y Cyperaceae con tres especies (Tabla 6). Las especies que se han registrado de flora en cada punto de muestreo evaluado se indican en el Apéndice 3.

**Tabla 6***Familias y especies de flora identificadas mediante el método del cuadrante*

| <b>Familia</b> | <b>Especies</b>  |
|----------------|--|
| ASTERACEAE     | <i>Hypochaeris meyeniana</i> (Walp.) Benth. & Hook. f. ex Griseb.<br><i>Hypochaeris taraxacoides</i> (Meyen & Walp.) Ball<br><i>Oritrophium limnophilum</i> (Sch. Bip.) Cuatrec<br><i>Werneria apiculata</i> Sch. Bip.<br><i>Senecio repens</i> Stokes<br><i>Senecio breviscapus</i> DC.<br><i>Cuatrecasasiella isernii</i> (Cuatrec.) H. Rob. |
| APIACEAE       | <i>Lilaeopsis macloviana</i> (Gand.) A.W. Hill   |
| BORAGINACEAE   | <i>Plagiobothrys macbridei</i> I.M. Johnst.  |
| CYPERACEAE     | <i>Eleocharis albibracteata</i> Nees & Meyen ex Kunth<br><i>Carex</i> sp.<br><i>Carex mandoniana</i> Boeckeler   |
| FABACEAE       | <i>Trifolium repens</i> L.   |
| GENTIANACEAE   | <i>Gentiana</i> aff. <i>casapaltensis</i>  |
| JUNCACEAE      | <i>Distichia filamentosa</i> Buchenau<br><i>Distichia muscoides</i> Nees & Meyen   |
| ORCHIDACEAE    | <i>Myrosmodes paludosa</i> (Rchb. f.) P. Ortiz   |
| PLANTAGINACEAE | <i>Plantago lanceolata</i> L.<br><i>Plantago tubulosa</i> Decne.   |
| POACEAE        | <i>Poa spicigera</i> Tovar<br><i>Jarava ichu</i> Ruiz & Pav.<br><i>Deyeuxia jamesonii</i> (Steud.) Munro ex Wedd.<br><i>Deyeuxia eminens</i> J. Presl<br><i>Deyeuxia vicunarum</i> Wedd.   |
| RANUNCULACEAE  | <i>Ranunculus breviscapus</i> DC.  |
| ROSACEAE       | <i>Lachemilla pinnata</i> (Ruiz & Pav.) Rothm.   |

|  |       |
|--|-------|
|  | Musgo |
|--|-------|

### 3.1.2 Composición y cobertura vegetal del bofedal sector Moya del SHC en relación al almacenamiento de carbono

Se determinó las especies dominantes de flora y la cantidad de carbono almacenado en los puntos de muestreo evaluados, obteniendo como resultado que en zonas donde se registró mayor acumulación de carbono orgánico existe mayor presencia de especies como *Plantago tubulosa* Decne, *Distichia muscoides* Nees & Meyen, *Hypochaeris meyeniana* (Walp.) Benth. & Hook. f. ex Griseb y *Oritrophium limnophilum* (Sch. Bip.) Cuatrec., esto se aprecia en los puntos de muestreo donde el estado de conservación varía entre Excelente y Bueno (Tabla 7).

Asimismo, se determinó que en áreas donde presenta un estado de conservación Pobre se registró menor cobertura de especies indicadores de buen estado de conservación, la especie predominante fue *Poa spicigera* Tovar y almacenó de 13,26 a 27,69 g/kg de carbono orgánico.

**Tabla 7**

*Cobertura vegetal y almacenamiento de carbono*

| Puntos de muestreo                | Estado de conservación                | Especie con mayor cobertura                | Carbono orgánico almacenado                |
|-----------------------------------|---------------------------------------|--|--|
| T1-P1                             | Regular                               | <i>Poa spicigera</i> Tovar                 | 51,87                                      |
| Puntos de muestreo (continuación) | Estado de conservación (continuación) | Especie con mayor cobertura (continuación) | Carbono orgánico almacenado (continuación) |
| T1-P2                             | Pobre                                 | <i>Poa spicigera</i> Tovar                 | 13,26                                      |

|  |  |  |   |
|--|--|--|---|
| T1-P3  | Pobre  | <i>Poa spicigera</i> Tovar   | 13,26   |
| T2-P1  | Bueno  | <i>Hypochaeris meyeniana</i> (Walp.)<br>Benth. & Hook. f. ex Griseb. | 75,08   |
| T2-P2  | Excelente  | <i>Plantago tubulosa</i> Decne.                                      | 108,81  |
| T2-P3  | Bueno  | <i>Oritrophium limnophilum</i> (Sch.<br>Bip.) Cuatrec                | 77,42   |
| T3-P1  | Pobre  | <i>Poa spicigera</i> Tovar   | 27,69   |
| T3-P2  | Pobre  | <i>Poa spicigera</i> Tovar   | 25,35   |
| T3-P3  | Pobre  | <i>Trifolium repens</i> L.   | 20,67   |
| T4-P1  | Excelente  | <i>Plantago tubulosa</i> Decne.                                      | 111,8   |
| T4-P2  | Excelente  | <i>Plantago tubulosa</i> Decne.                                      | 106,08  |
| T4-P3  | Excelente  | <i>Oritrophium limnophilum</i> (Sch.<br>Bip.) Cuatrec                | 109,40  |
| T5-P1  | Pobre  | <i>Poa spicigera</i> Tovar   | 41,73   |
| T5-P2  | Pobre  | <i>Deyeuxia eminens</i> J. Presl                                     | 36,86   |
| T5-P3  | Bueno  | <i>Hypochaeris meyeniana</i> (Walp.)<br>Benth. & Hook. f. ex Griseb. | 76,25   |
| T6-P1  | Excelente  | <i>Plantago tubulosa</i> Decne.                                      | 111,8   |
| T6-P2  | Regular  | <i>Eleocharis albibracteata</i> Nees &<br>Meyen ex                   | 55,64   |
| T6-P3  | Excelente  | <i>Hypochaeris meyeniana</i> (Walp.)<br>Benth. & Hook. f. ex Griseb. | 108,68  |
| T7-P1  | Bueno  | <i>Hypochaeris meyeniana</i> (Walp.)<br>Benth. & Hook. f. ex Griseb. | 78,20   |
| <b>Puntos de<br/>muestreo<br/>(continuación)</b> | <b>Estado de<br/>conservación<br/>(continuación)</b> | <b>Especie con mayor cobertura<br/>(continuación)</b>                | <b>Carbono orgánico<br/>almacenado<br/>(continuación)</b> |
| T7-P2  | Bueno  | <i>Hypochaeris meyeniana</i> (Walp.)<br>Benth. & Hook. f. ex Griseb. | 85,02   |
| T7-P3  | Bueno  | <i>Hypochaeris meyeniana</i> (Walp.)<br>Benth. & Hook. f. ex Griseb. | 69,03   |

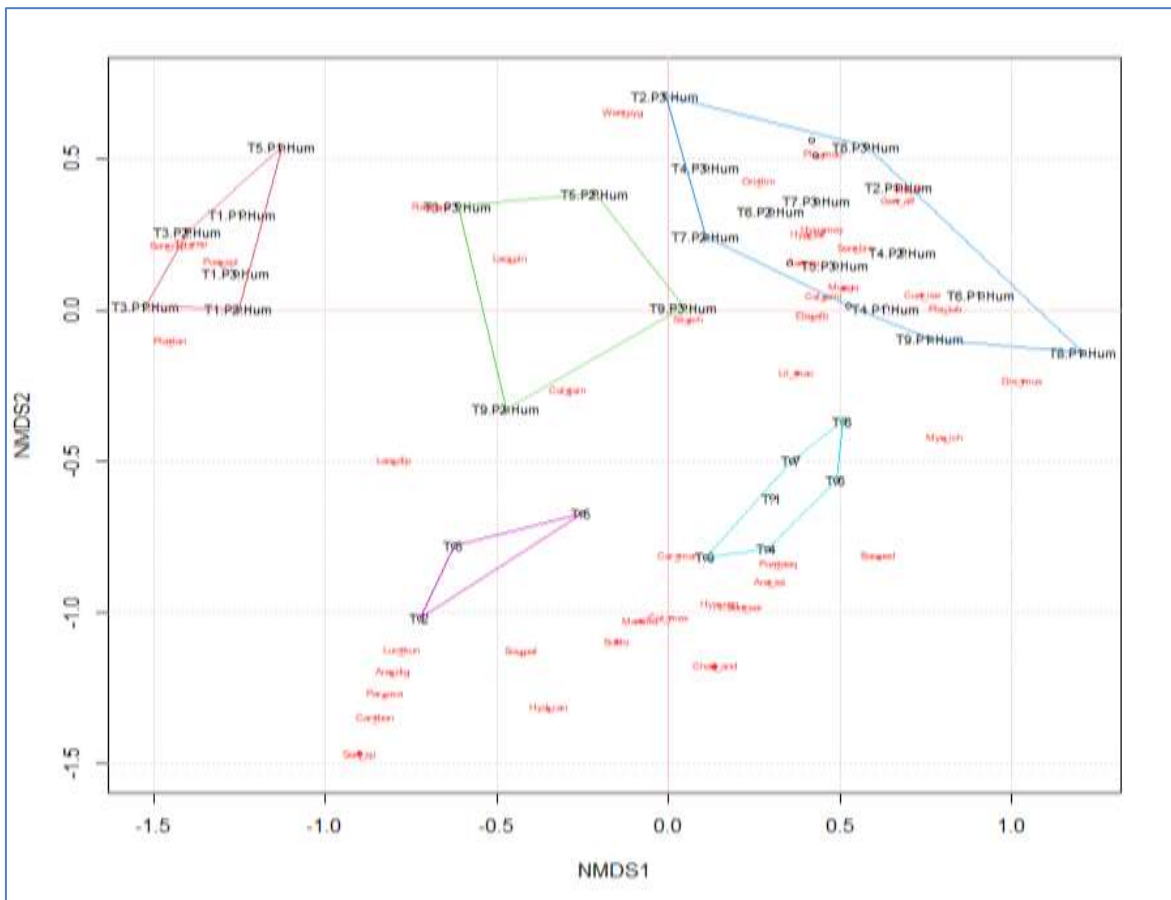
|       |           |  |        |
|-------|-----------|--|--------|
| T8-P1 | Excelente | <i>Distichia muscoides</i> Nees & Meyen        | 109,72 |
| T8-P2 | Bueno     | <i>Deyeuxia vicunarum</i> Wedd.                | 90,87  |
| T8-P3 | Regular   | <i>Plagiobothrys macbridei</i> I.M. Johnst.    | 65,91  |
| T9-P1 | Excelente | <i>Plantago tubulosa</i> Decne.                | 108,42 |
| T9-P2 | Pobre     | <i>Calamagrostis eminens</i> (J. Presl) Steud. | 23,79  |
| T9-P3 | Regular   | <i>Carex</i> sp.                               | 78,90  |

### Variabilidad de especies

Según los gráficos *Non-metric multidimensional scaling* (NMDS), método de ordenamiento sin restricciones más sólida que está basado en una de las formas de orden, el resultado establece las especies en común que conforman entre los grupos; por otro lado, el grupo conformado por los puntos de muestreo T1-P1, T1-P2, T1-P3, T3-P1, T3-P2 no comparte ninguna especie en común con los demás grupos. La distancia que une a estos grupos posee mayor distancia, lo que indica una varianza de especies entre los demás grupos de especies (Figura 30).

**Figura 30**

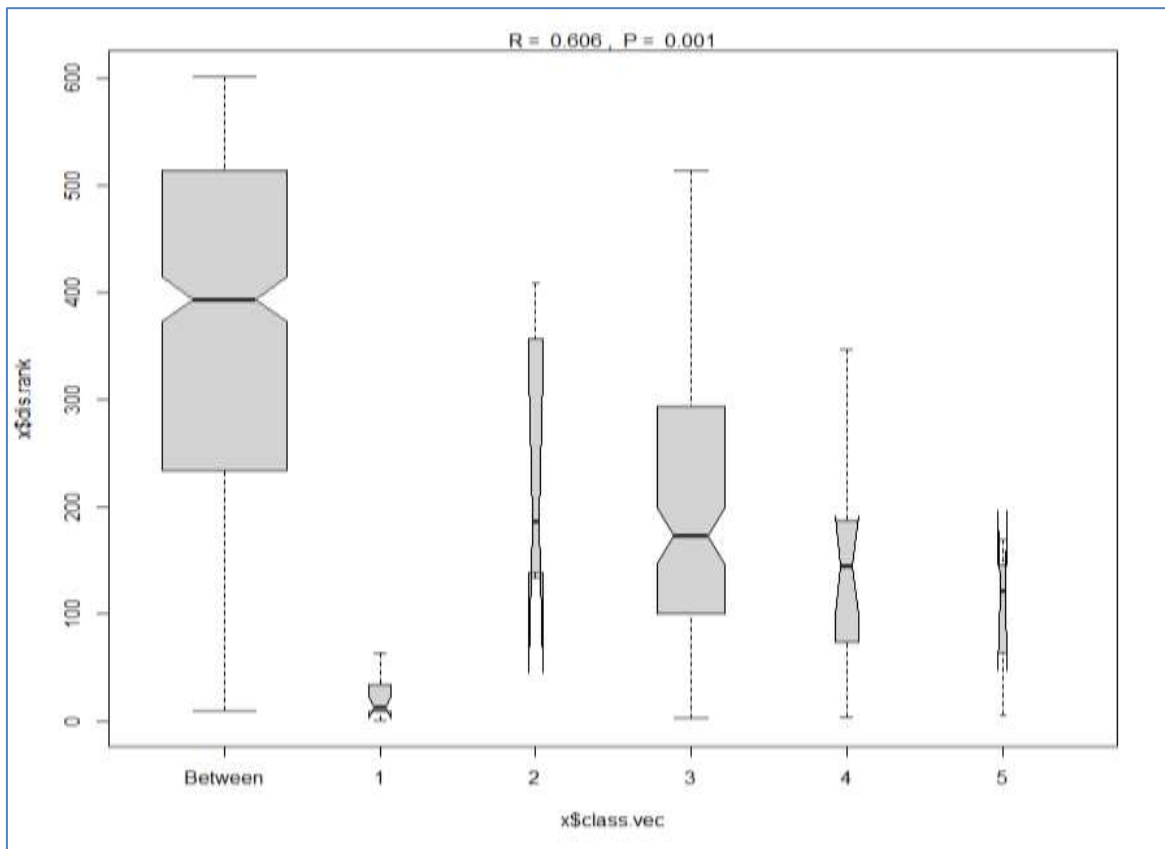
*Análisis Non-Metric Multidimensional Scaling NMDS*



Se muestra el gráfico de ANOSIM, en la Figura 31, con respecto a la prueba estadística no paramétrica, que sirvió para determinar la diferencia estadística de los grupos obtenidos mediante el análisis de conglomerados, estableció que entre los grupos de especies existen diferencias significativas. Asimismo, tiene un P valor de 0,001 lo que significa que posee distinta composición de especies, por otro lado, muestra que el grupo 1 tiene una composición de especies homogéneo, en cambio, los grupos del 2 al 5 son heterogéneos, aunque contienen una composición de especies en menor cantidad.

**Figura 31**

*Análisis de gráfico ANOSIM*



### **3.2. Calcular el volumen total de turba almacenado del bofedal sector Moya en el Santuario Histórico de Chacamarca**

#### **3.2.1 Volumen de turba por estratos**

El volumen total de turba almacenada del bofedal sector Moya, se determinó mediante la interpolación Kriging, obteniendo como resultado que el volumen total de turba es de 1 444 799,70 m<sup>3</sup>, en el nivel de profundidad de 0,15 a 0,65 m se tuvo mayor almacenamiento de volumen de turba, asimismo, en niveles inferiores de profundidad de 1,15 presenta un menor volumen de turba (Tabla 8).

**Tabla 8***Volumen de turba estimado por estratos*

| <b>Estrato</b> | <b>Profundidad (m)</b> | <b>Volumen de Turba (m<sup>3</sup>)</b> |
|----------------|------------------------|---|
| 1              | 0 – 0,15               | 36 201,16                               |
| 2              | 0,15 – 0,65            | 95 144,25                               |
| 3              | 0,65 – 1,15            | 13 445,38                               |
| 4              | 1,15 - >               | 8,91                                    |
| <b>TOTAL</b>   |                        | <b>144 799,70</b>                       |

### 3.2.2 Volumen de turba por estado de conservación del bofedal

Se evidencia que en el estado de conservación Excelente (ver Apéndice 2) el bofedal presenta mayor volumen de turba con un valor de 7 046,36 m<sup>3</sup> debido a que en estas zonas de muestreo el agua es permanente todo el año, porque está cerca de una fuente de agua y está cubierta por especies vegetales, que forman masas muy densas que permite la acumulación una gran cantidad de materia orgánica y humedad, seguido del estado de conservación Bueno con un valor de 6 889,62 m<sup>3</sup>, asimismo, el estado de conservación Regular presentó un volumen de 4 853,92 m<sup>3</sup>, finalmente el estado de conservación Pobre presentó una baja acumulación de turba 4 338,48 m<sup>3</sup> debido a que en esta parte del bofedal solo se encuentra saturada de agua en época de lluvia (Tabla 9).



**Tabla 9***Volumen de turba estimado por estado de conservación*

| <b>Estado de Conservación</b> | <b>Volumen de Turba Total (m<sup>3</sup>)</b> | <b>Superficie</b> | <b>Volumen de Turba / Hectárea</b> |
|-------------------------------|---|-------------------|------------------------------------|
| Excelente                     | 22 999,15                                     | 3,26              | 7 046,36                           |
| Buena                         | 70 043,78                                     | 10,17             | 6 889,62                           |
| Regular                       | 18 931,74                                     | 3,90              | 4 853,92                           |
| Pobre                         | 27 291,31                                     | 6,29              | 4 338,48                           |

### **3.3. Distribución del contenido total de carbono a diferentes profundidades y en sectores con distinto estado de conservación del bofedal sector Moya en el Santuario Histórico de Chacamarca**

#### **3.3.1 Contenido de carbono en diferentes profundidades**

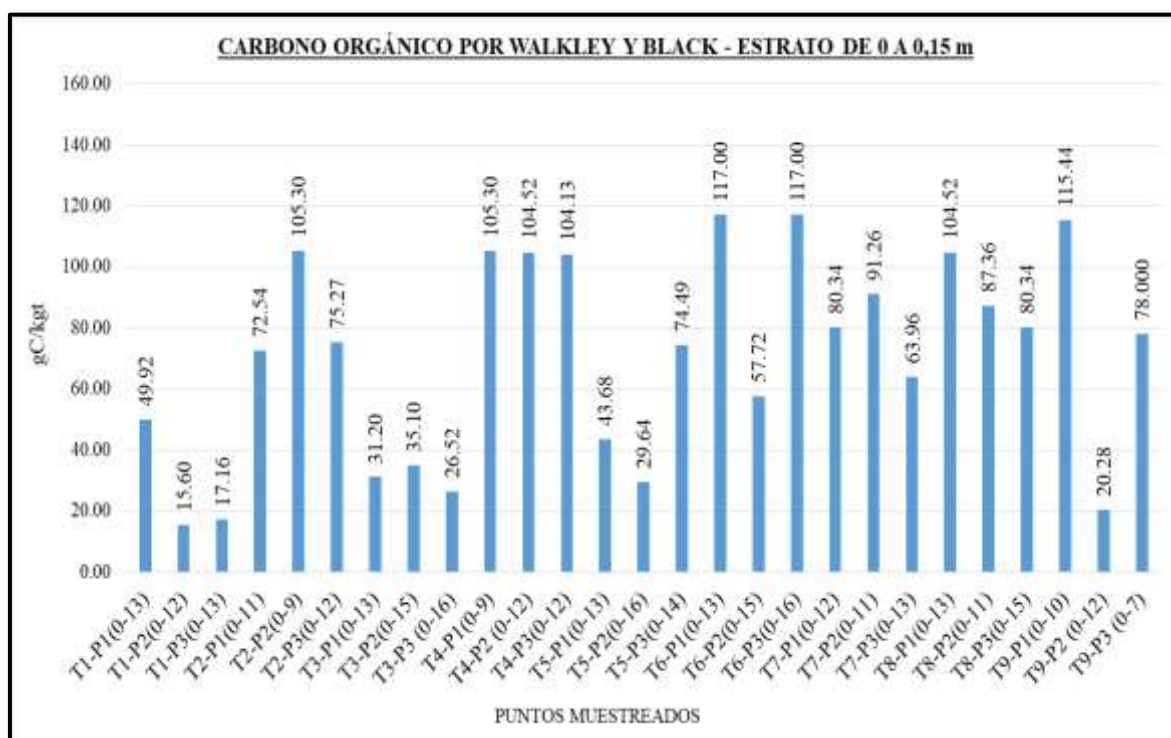
El bofedal sector Moya del Santuario Histórico de Chacamarca, fue distribuido en cuatro estratos, el primer estrato está constituido por una profundidad que varía entre 0 a 0,15 m, el segundo estrato varía entre 0,15 m a 0,65 m de profundidad, en cuanto al tercer estrato este varía entre los 0,65 m a 1,15 m por último para el cuarto estrato se consideró una profundidad mayor a 1,15. Se consideró de esa manera debido a que el bofedal no presenta profundidad mayor de 1,65 cm. Para determinar los niveles de los estratos se tomaron en cuenta los datos obtenidos mediante la medición manual de profundidad y el tamaño de muestras extraídas mediante el muestreador de *Russian Peat Corer* el cual extrae muestras de 50 cm.

### Estrato de 0 m a 0,15 m (primer estrato)

En la Figura 32 se muestra el primer estrato, el cual está compuesto por los primeros 15 cm de profundidad; en este estrato se obtuvo como resultado que mediante el método de Walkley y Black se registró el valor más bajo en el punto T1-P2 (0-12) con 15,60 gC/kg t. a diferencia del punto T6-P1 (0-13) con 117,00 gC/kg t, siendo el valor más alto registrado en el estrato 1. Los valores obtenidos en el primer estrato muestran valores dispersos que difieren unos de otros, esto se debe a que las muestras obtenidas presentan diferente cobertura vegetal y diversos usos de suelo, por tanto, sus características físicas varían unas de otras. Asimismo se puede observar que en los transectos 6, 7, 8 y 9 los valores registrados son mayores en comparación de los otros transectos lo cual se debe que en estas zonas la actividad de pastoreo es menor (Figura 32).

**Figura 32**

*Distribución de Carbono Orgánico mediante el método de Walkley y Black en el estrato 0 a 0,15 m (primer estrato)*

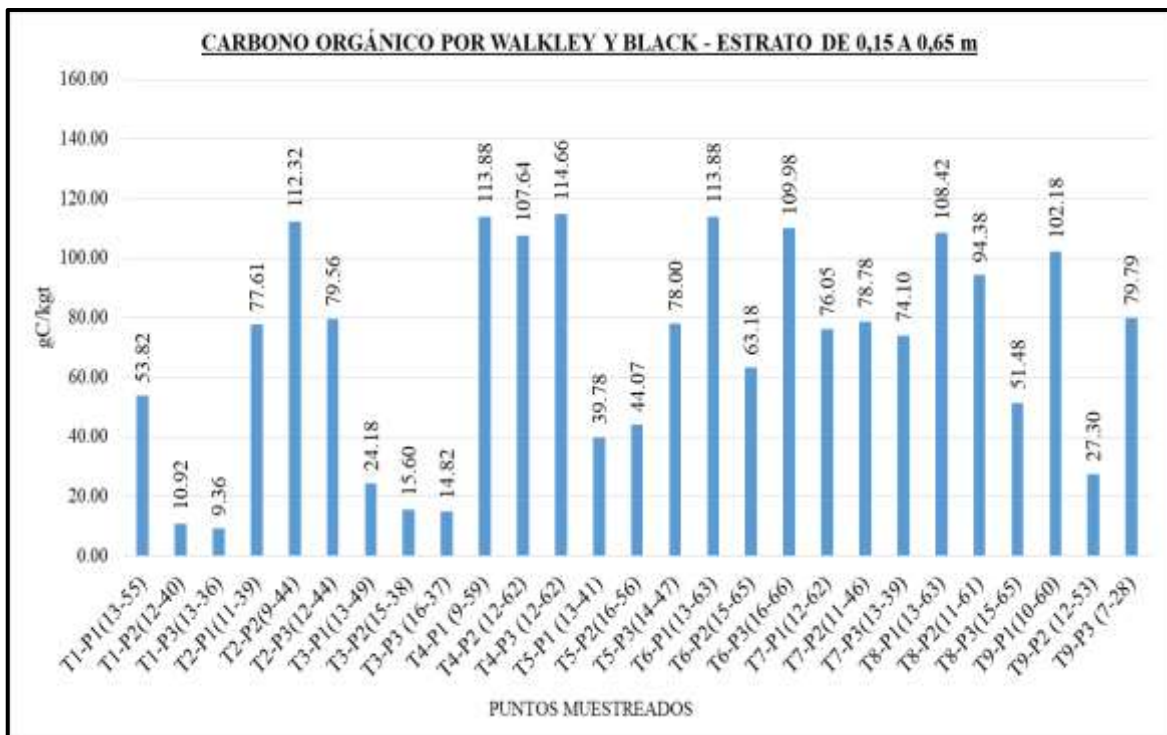


### Estrato de 0,15 a 0,65 m (segundo estrato)

Este segundo estrato, los resultados obtenidos mediante el método de Walkley y Black se obtuvo el valor más bajo de 9,36 gC/kgt en el punto T1-P3 (13-36) a diferencia del punto T4-P3 (12-62) donde se registró el valor de 114,66 gC/kgt, siendo el valor más elevado en todo el estrato. De igual forma que en el primer estrato evaluado, los valores obtenidos difieren unos de otros debido a que las características de las muestras extraídas varían entre ellos, lo cual se debe a al uso de suelo, flujos de agua y la actividad de pastoreo lo cual genera mayor compactación en el suelo (Figura 33).

**Figura 33**

*Distribución de Carbono Orgánico mediante el método de Walkley y Black en el estrato de 0,15 m a 0,65 m (segundo estrato)*

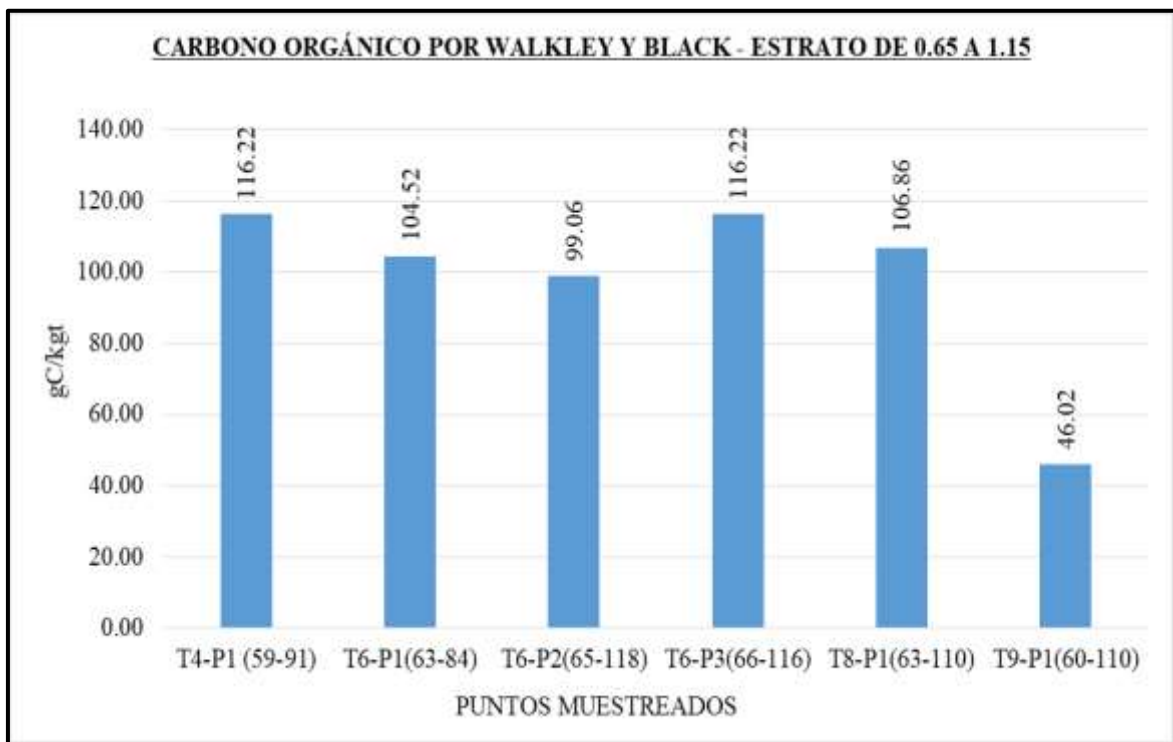


### Estrato de 0,65 a 1,15 m (tercer estrato)

Posterior a la aplicación del método de Walkley y Black se registró el valor mínimo 46,02 gC/kg en el punto T6-P2 (65-118) y el valor máximo de 116,22 gC/kg en el punto T8-91 (63 -110). En este estrato se evidencia que existen valores superiores a diferencia de los estratos 1 y 2, esto se debe principalmente a que a mayor profundidad la turba presenta mejores condiciones debido a que no está expuesta a la compactación producto de las actividades que se desarrollan dentro del bofedal (Figura 34).

### Figura 34

*Distribución de Carbono Orgánico mediante el método de Walkley y Black en el estrato 0,64 m a 1,15 m (tercer estrato)*

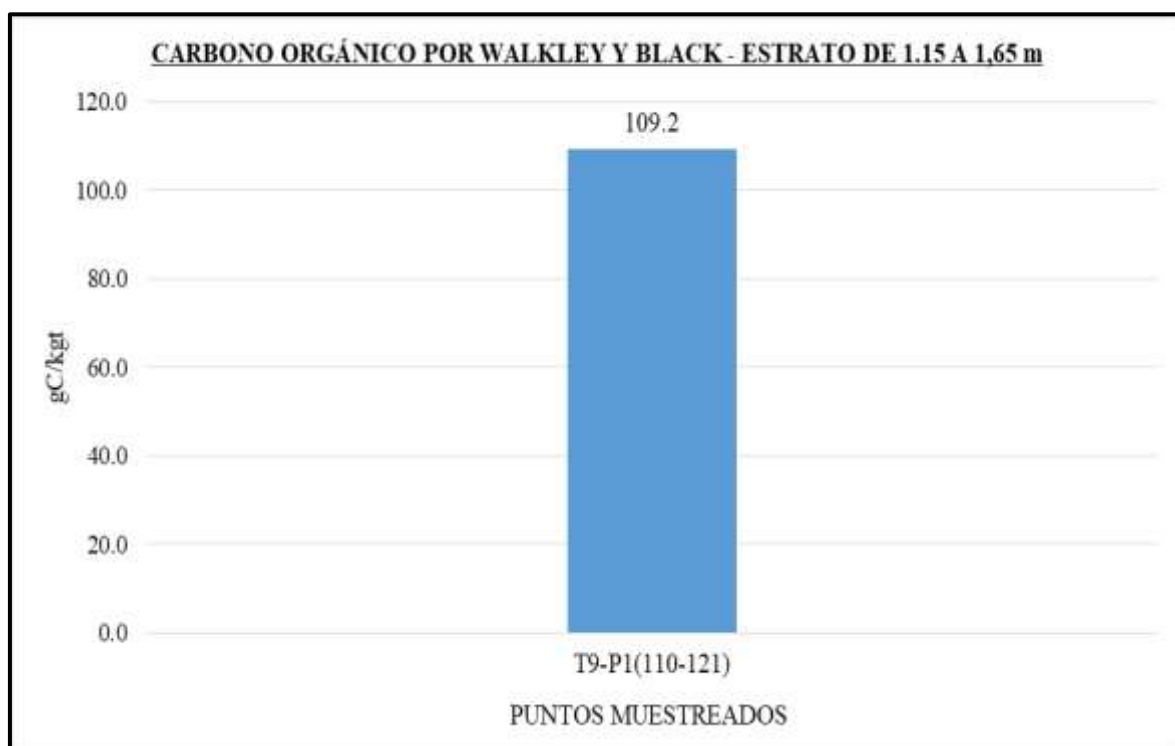


### Estrato de 1,15 m a 1,65 m (cuarto estrato)

En el cuarto estrato, se obtuvo mediante el método de Walkley y Black 109,20 gC/kgt en el punto T9-P1 (110-121). En el último estrato se registró 01 punto de muestreo, lo cual se debió a que en el área del bofedal la turba presente no supera la profundidad de 1,65 cm (Figura 35).

### Figura 35

*Distribución de Carbono Orgánico mediante el método de Walkley y Black en el estrato 1,15 m a 1,65 m (cuarto estrato)*



**Figura 36**

*Distribución de Carbono Orgánico mediante el método de Walkley y Black en los diferentes estratos*



### 3.3.2 Contenido de carbono en sectores con distinto estado de conservación

El bofedal sector Moya del Santuario Histórico de Chacamarca, presenta cuatro diferentes estados de conservación: Pobre, Regular, Bueno y Excelente (ver Apéndice 2). Se realizó el análisis de la distribución de carbono obtenido mediante el método de Walkley y Black, a partir de la clasificación se obtuvo como resultado lo siguiente:

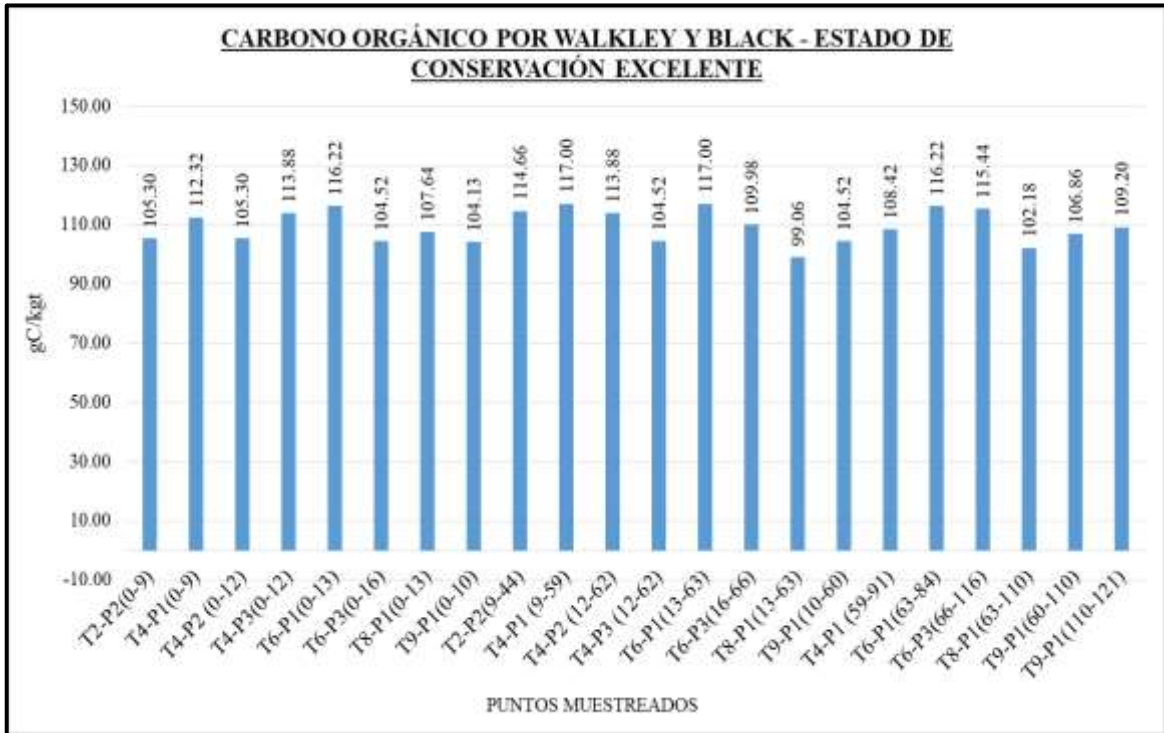
#### Estado de conservación Excelente

En el estado de conservación Excelente, se registra que los niveles de carbono orgánico obtenido mediante el método de Walkley y Black se determinó que el valor mínimo

registrado es de 99,06 gC/kgt en el punto T6-P3 (16-66) en contraste con el valor más alto el cual se obtuvo en el punto T6-P3 (0-16) con 117,00 gC/kgt (Figura 37)

**Figura 37**

*Distribución de Carbono Orgánico obtenido mediante el método de Walkley y Black en estado de conservación Excelente*

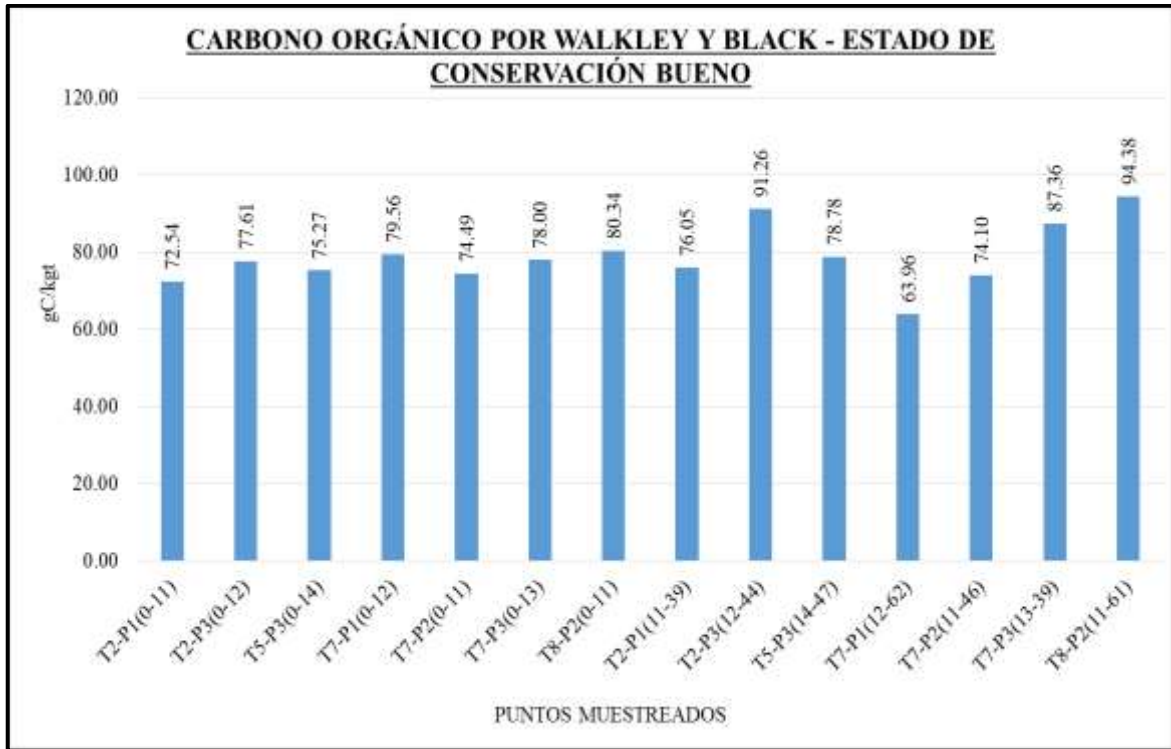


**Estado de conservación Bueno**

En el estado de conservación Bueno, se determinó que el contenido de carbono orgánico obtenido mediante el método químico de Walkley y Black, los valores registrados oscilan entre 63,96 gC/kgt y 94,38 gC/kgt. Asimismo, se registró que en el punto T2-P3 (12-44), el valor es drásticamente inferior, lo cual se debe a que en este punto la muestra extraída presentó mayor compactación del suelo a causa del sobrepastoreo realizado en esta zona (Figura 38).

**Figura 38**

*Distribución de Carbono orgánico mediante método de Walkley y Black en estado de conservación Bueno*



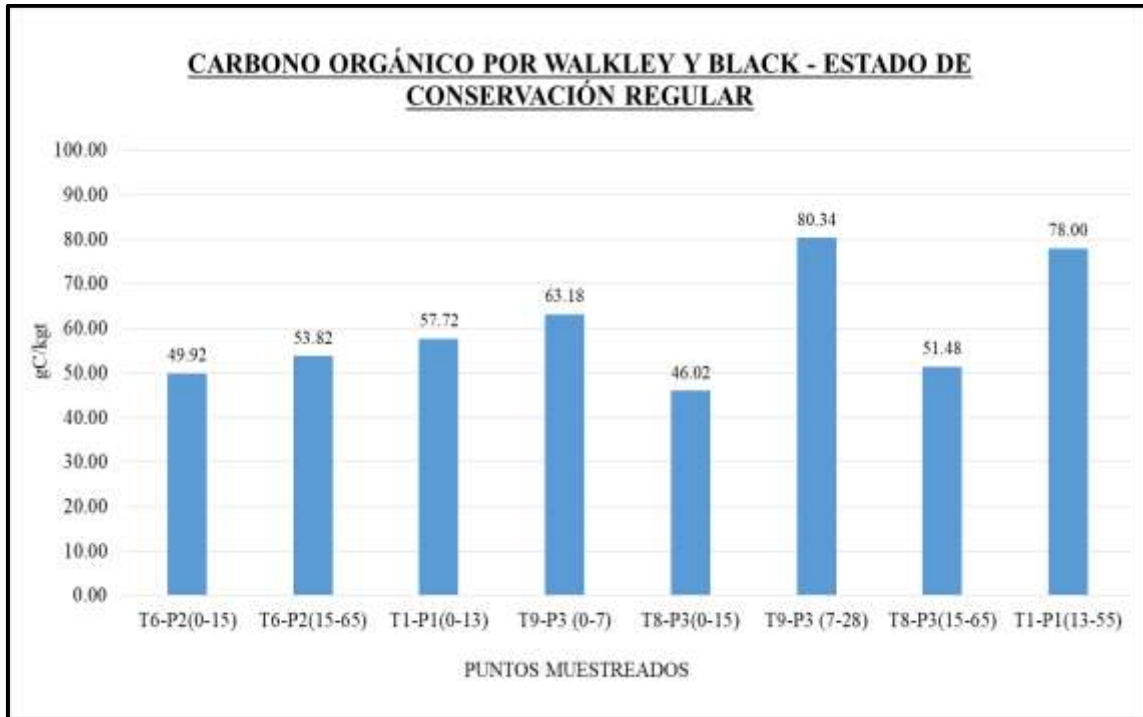
**Estado de conservación Regular**

Los datos obtenidos en el estado de conservación Regular muestran que mediante el método de Walkley y Black los valores fluctúan entre 46,02 gC/kg y 80,34 gC/kg, teniendo como valor más bajo en el punto T6-P2 (65-118), esto se debe a que la muestra contenía alto grado de sedimentación a diferencia del punto T8-P3 (0-15), donde la muestra presentó mayor contenido de turba. En los puntos donde los rangos son inferiores al resto se debe a que el bofedal presenta áreas humedad al encontrarse en zonas cercanas a pajonales como es el caso del punto T9-P3 (0-7) (Figura 39).



**Figura 39**

*Distribución de Carbono orgánico mediante método de Walkley y Black en estado de conservación Regular*

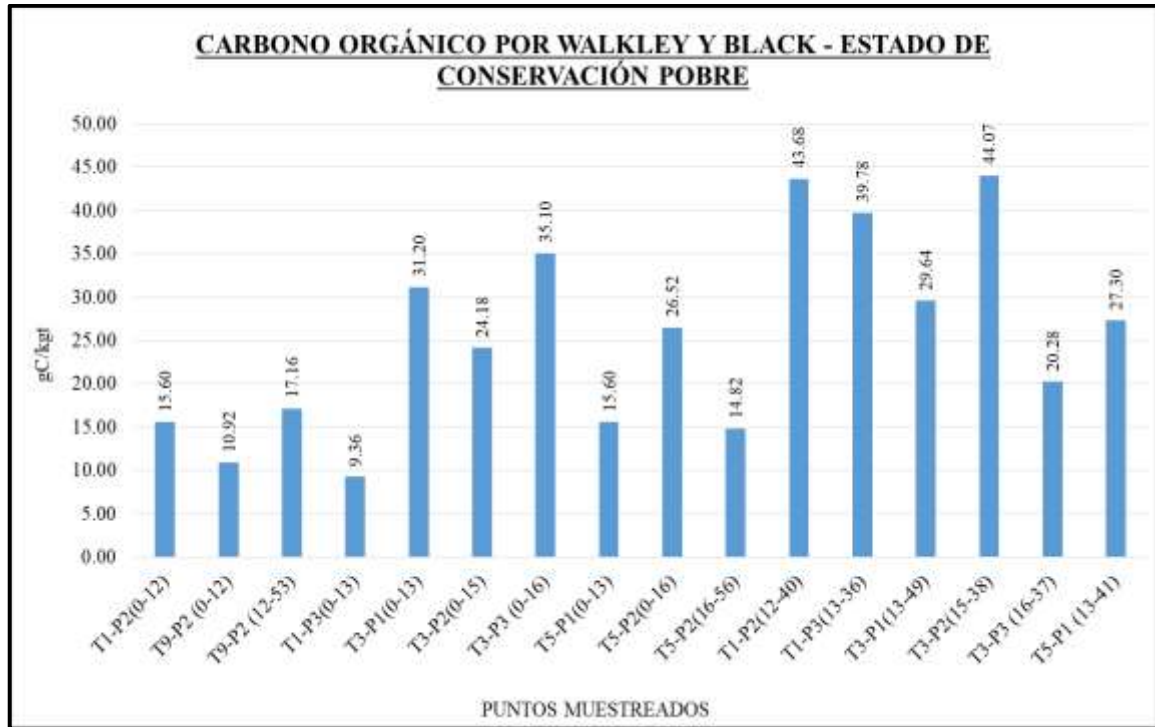


### **Estado de conservación Pobre**

En las zonas que presentan estado de conservación Pobre se registraron datos de carbono orgánico obtenidos mediante el método químico de Walkley y Black, valores que varían entre 9,36 gC/kg y 44,07 gC/kg. En esta zona se registraron valores más bajos en comparación con los otros estados debido a que las muestras extraídas en estos puntos presentaron mayor grado de compactación ocasionado por la actividad de sobrepastoreo en la zona (Figura 40).

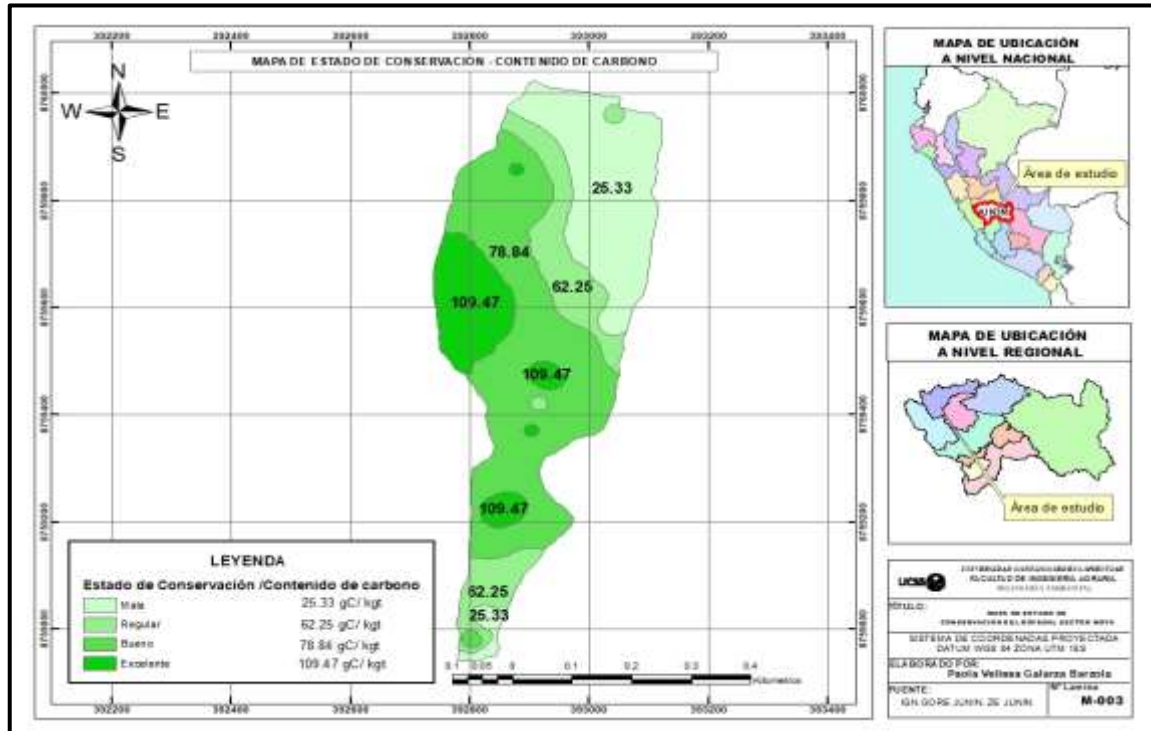
**Figura 40**

*Distribución de Carbono orgánico mediante método de Walkley y Black en estado de conservación Pobre*



**Figura 41**

*Mapa de distribución de Carbono orgánico mediante método de Walkley y Black en zonas con diferente estado de conservación*



### 3.4. Analizar la correlación entre el volumen de turba, la cantidad de carbono y el estado de conservación del bofedal sector Moya en el Santuario Histórico de Chacamarca

Los datos de volumen de turba y la cantidad de carbono obtenidos mediante el método de Walkley y Black muestran niveles superiores en comparación con los diferentes estados de conservación presentes en el bofedal. Mediante el método de Walkley y Black el valor promedio es de 86,81 % C obtenido. De igual forma en cuanto al volumen de turba presente en el estado de conservación Excelente se acumula mayor cantidad en contraste con los estados de conservación Bueno, Regular y Pobre (Tabla 10).

En cuanto al estado de conservación Bueno se observa que el bofedal presenta 6 890,62 m<sup>3</sup> de turba por hectárea, el cual es mayor en comparación a los estados de conservación Regular y Pobre. Sin embargo, es menor en comparación al estado de conservación Excelente presente en el bofedal. De igual forma los datos registrados de carbono mediante el método de Walkley y Black presentan niveles más altos en comparación a los estados de conservación Regular y Pobre con valor promedio de 78,84 gC/kg t. Sin embargo, es mayor en relación a los estados de conservación Regular y Pobre.

De igual forma, se muestra que el bofedal que se encuentra en estado de conservación Regular presenta 4 854,92 m<sup>3</sup> de turba por hectárea, el cual es inferior con relación a los estados de conservación Excelente y Regular. Sin embargo, en comparación al estado Pobre posee mayor contenido de turba. En cuanto al contenido de carbono obtenido mediante el método de Walkley y Black se registró 62,25 gC/kg t, los valores obtenidos son mayores a al estado de conservación Pobre e inferiores en comparación a los estados de conservación Excelente y Bueno.

Por último, en el estado de conservación Pobre se obtuvo como resultado 27 291,32 m<sup>3</sup> de turba siendo el valor mínimo registrado en el bofedal en comparación a los estados de conservación Excelente, Bueno y Regular. Asimismo, se determinó que valor promedio de carbono registrado mediante el método de Walkley y Black es de 25,33 gC/kg, los valores registrados son inferiores a valores obtenidos los estados de estados de conservación Excelente, Bueno y Regular.

**Tabla 10**

*Correlación entre volumen de turba, cantidad de carbono y estado de conservación*

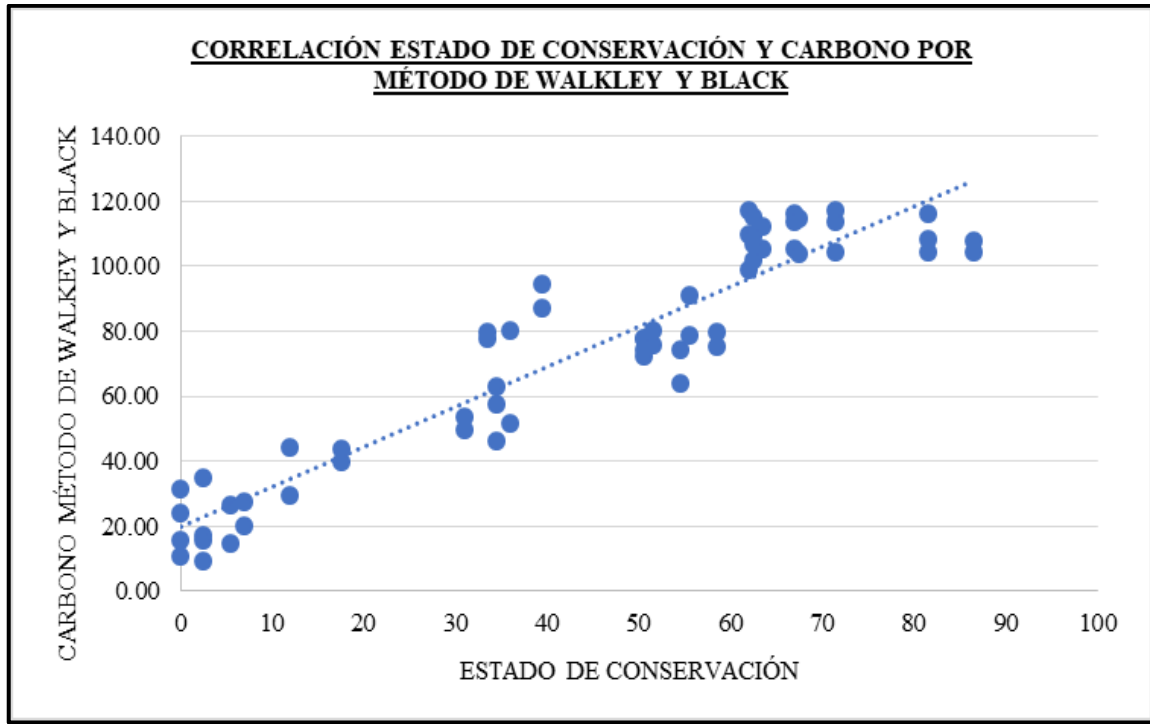
| <b>Estado de conservación</b> | <b>Superficie</b> | <b>Volumen de Turba total (m3)</b> | <b>Volumen de Turba /hectárea</b> | <b>Carbono orgánico Walkley y Black</b> |
|-------------------------------|-------------------|------------------------------------|-----------------------------------|---|
| Excelente                     | 3,26              | 22 999,15                          | 7 046,36                          | 109,47 gC/kg                            |
| Buena                         | 10,17             | 70 044,78                          | 6 890,62                          | 78,84 gC/kg                             |
| Regular                       | 3,90              | 18 932,74                          | 4 854,92                          | 62,25 gC/kg                             |
| Pobre                         | 6,29              | 27 291,32                          | 4 339,48                          | 25,33 gC/kg                             |

**Análisis de correlación entre el estado de conservación y el contenido de carbono mediante el método de Walkley y Black**

Existe una correlación de 0.94 entre el estado de conservación y el contenido de carbono obtenido mediante el método de Walkley y Black, mostrando una tendencia lineal positiva, lo cual infiere que a mejor estado de conservación hay mayor contenido de carbono (Figura 42).

**Figura 42**

*Correlación entre el estado de conservación y el contenido de carbono mediante el método de Walkley y Black*

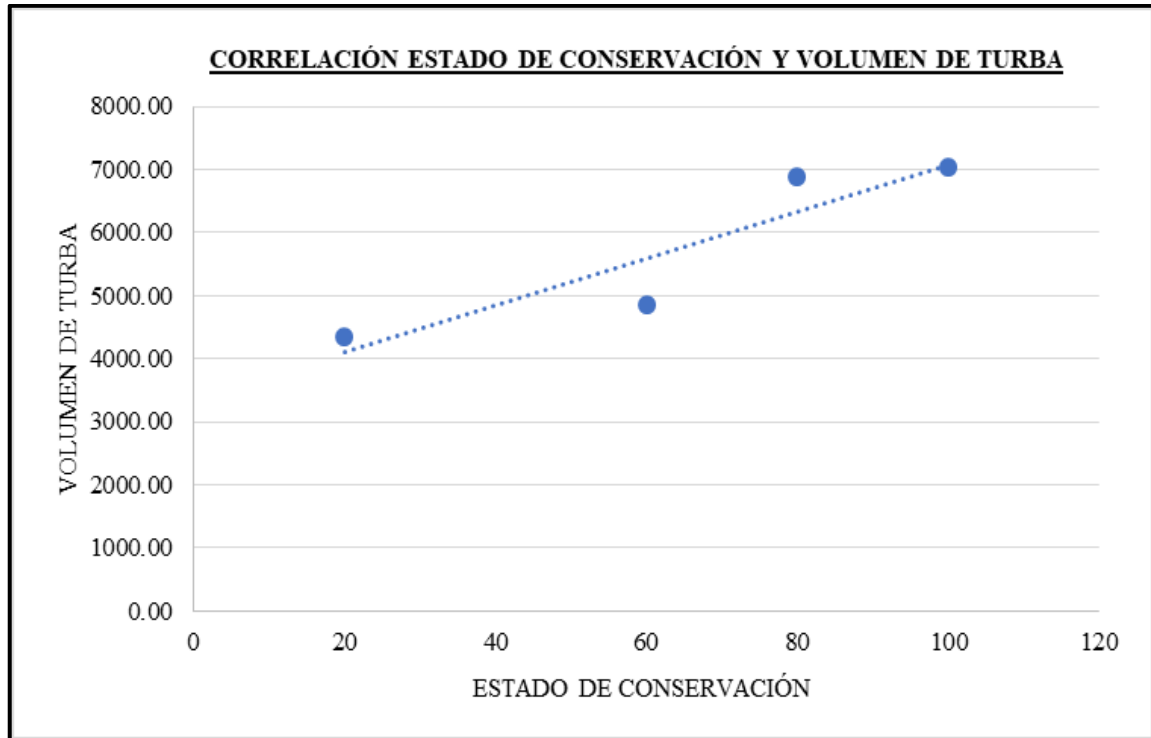


**Análisis de correlación entre el estado de conservación y el volumen de turba**

Se obtuvo una correlación de 0.84 entre el estado de conservación y volumen de turba, obteniendo una tendencia lineal positiva, lo cual señala que a mejor estado de conservación del bofedal hay mayor volumen de turba (Figura 44).

**Figura 43**

*Correlación entre el estado de conservación y el contenido de carbono mediante el método de Walkley y Black*



### **3.5. Análisis económico y financiero del almacenamiento de carbono del bofedal sector Moya en el Santuario Histórico de Chacamarca**

Actualmente en el Perú, se ha establecido un precio social del Carbono de US\$ 7,17 por tonelada de CO<sub>2</sub> implementado desde el 2021, a través del Ministerio de Economía y Finanzas. A partir de los datos de referencia se realizó el cálculo correspondiente por lo cual se multiplicó el total de carbono acumulado en el bofedal por el valor estimado.

Se determinó que el bofedal posee 23,62 hectáreas de superficie, en el cual acumula un total de 47 150,40 toneladas de carbono por hectárea, teniendo como valor referencial US\$ 7,17 por tonelada de carbono, el carbono acumulado en el bofedal está valorizado en 7 985 174,85 USD (Tabla 11).

**Tabla 11***Análisis económico y financiero de carbono*

| <b>Estado de conservación</b> | <b>Hectáreas</b> | <b>Acumulación tC/ha</b> | <b>Acumulación total</b> | <b>Precio social del carbono</b> | <b>Valoración de carbono</b> |
|-------------------------------|------------------|--------------------------|--------------------------|----------------------------------|------------------------------|
| Excelente                     | 3,26             | 1 996,20                 | 6 507,61                 | 7,17 USD                         | 46 659,58                    |
| Buena                         | 10,17            | 1 996,20                 | 20 301,35                | 7,17 USD                         | 145 560,71                   |
| Regular                       | 3,90             | 1 996,20                 | 7 785,18                 | 7,17 USD                         | 55 819,74                    |
| Pobre                         | 6,29             | 1 996,20                 | 12 556,10                | 7,17 USD                         | 90 027,22                    |
| Total                         | 23.62            | 1 996,20                 | 47 150,24                | 7,17 USD                         | 338 067,25                   |



## CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN

### 4.1. Cobertura vegetal en relación al almacenamiento de carbono del bofedal sector Moya en el Santuario Histórico de Chacamarca

De los análisis de los resultados, durante la evaluación de la época húmeda se registraron, 27 especies de flora, 20 géneros, pertenecientes a 13 familias siendo las más diversas la familia Asteraceae, Poaceae y Cyperaceae, ya que la mayoría de estas familias son diversas en los bofedales. La especie *Poa spicigera* Tovar 13,43 %, *Plantago tubulosa* Decne 9,78 % y *Hypochaeris meyeniana* (Walp.) Benth. & Hook. f. ex Griseb. 9,63 % ocuparon el mayor porcentaje de cobertura mientras las especies *Werneria pygmaea* (Sch.Bip.) Wedd. 3,57 % y *Distichia muscoides* Nees & Meyen 3,85 % ocuparon menor cobertura, por otro lado, en zonas donde se registró mayor acumulación de carbono orgánico existe mayor presencia de especies como *Plantago tubulosa* Decne, *Distichia muscoides* Nees & Meyen, *Hypochaeris meyeniana* (Walp.) Benth. & Hook. f. ex Griseb y *Oritrophium limnophilum* (Sch. Bip.) Cuatrec., esto se aprecia en los puntos de muestreo donde el estado de conservación varía entre Excelente y Bueno, en zonas donde se registró menor acumulación de carbono existe mayor presencia de *Poa spicigera* Tova y *Trifolium repens* L. donde el estado de conservación es Pobre debido a que en esta zona es usado como zona de pastoreo para ganado ovino y años atrás la Cooperativa realizó el sembrío de pasto. Resultados similares fueron registrados por León (2016) en la investigación sobre la composición florística del bofedal N° 3 de Huancavelica que presentó en su estructura 58,69 % de cobertura vegetal, constituido por la especie dominante *Alchemilla diplophylla* 21,74 %, *Werneria pygmaea* 20,65 % y *Distichia muscoides* 16,30 % en menor cobertura. La similitud se basó en que el estudio realizado en el bofedal sector Moya las especies *Distichia muscoides* Nees & Meyen y *Werneria pygmaea* ocuparon menor cobertura vegetal, pero en cantidades menores del bofedal de Huancavelica. En cuanto al estado de conservación en la condición Regular a Pobre registraron mayor acumulación de carbono con valores de 185 y 223 tC/ha a diferencia de bofedales que registraron mejor estado de conservación donde el

carbono almacenado fue de 77 y 47 tC/ha a comparación del bofedal sector Moya en condición de Excelente a Bueno se registró mayor acumulación orgánico debido a que en la presente investigación se evaluó el estado de conservación por otro método con fines de conservación a Comparación del estudio presentado por León (2016) evaluó el estado de conservación con otra metodología con fines agrostológicos.

Por otra parte, Barra (2019) en la investigación realizada en el bofedal de la Moya del Distrito de Melgar – Ayaviri en época húmeda en los meses de enero, febrero y marzo, mediante el método del cuadrante registró las especies con mayor diversidad, las cuales fueron: *Trifolium repens*, *Hydrocotyle* sp., *Deyeuxia rigescens*, *Lucilia kunthiana*, *Schoenoplectus* sp., *Alchemilla pinnata*, *Sporobulus* sp., *Poa* sp., *Rumex conglomeratus* y *Scirpus* sp.; pero en el mes de febrero no se encontró la especie *Sporobulus* sp. y la especie *Poa* sp.; en los tres meses de investigación la especie con mayor abundancia presente en el bofedal de la Moya del distrito de Melgar, Ayaviri, fue la *Schoenoplectus* sp. el cual está presente durante todo el año, por otro lado, las especies que capturan mayor cantidad de carbono debido a que hubo mayor diversidad de especies es el caso de *Hydrocotyle* sp., *Lucilecia khunthiana* y *Trifolium repens* y las especies que capturan menor cantidad de carbono son *Sporobulus* sp. y *Poa* sp., el total de la captura de carbono es de 331 620,50 tC en 54 ha a diferencia del presente estudio el muestreo se realizó una vez y la especie más dominante fue *Poa spicigera* Tovar y el contenido total de carbono orgánico es de 47 150,40 tC en 23.62 ha.

Asimismo, Muñoz (2020) en el estudio realizado en el bofedal sector Huachipampa Nor Yauyos, Lima, describe que las especies dominantes en cada punto de muestreo fue *Distichia muscoides* Nees & Meyen presentó mayor cobertura, otra especie que tuvo una mayor dominancia fue, *Oritrophium limnophilum* Kunth; en escasas proporciones se ha registrado las especies *Hypochoeris taraxacoides* Linneo y *Lachemilla diplophylla* Linneo, asimismo, en época de lluvia y época seca registran acumulación de CO<sub>2</sub> y donde el bofedal está muy degradado devuelve el CO<sub>2</sub> a la atmosfera por el proceso de respiración. A diferencia del bofedal sector Moya no tuvo registro de la especie la *Lachemilla diplophylla* Linneo deduciendo que son diversas áreas de estudio en la cual difieren de muchos factores

como la ubicación altitudinal, la calidad y permanencia de agua del bofedal, por otro lado, el presente estudio registro el total de carbono y no la liberación de CO<sub>2</sub> a la atmosfera.

#### **4.2. Respecto al cálculo del volumen total de turba almacenado del bofedal sector Moya en el Santuario Histórico de Chacamarca**

Para el cálculo del volumen total de turba almacenado del bofedal sector Moya, se realizó mediante la interpolación de Kriging en la cual permite estimar valores de una variable en lugares no muestreados utilizando información proporcionada por la muestra, el método está planteado de manera que realiza la mejor estimación lineal no sesgado con una varianza mínima. Asimismo, asume que cada punto medido tiene una influencia local que disminuye con la distancia. Por su parte Hribljanetal *et al.* (2015) mediante una encuesta de sondeo determinó el volumen de la turba de las turberas andinas de altura de Bolivia Manasaya y Tuni, a partir de la encuesta de sondeo determinó que Manasaya posee un volumen de 280,130 m<sup>3</sup> de turba en 9,64 ha y Tuni contiene un volumen de 18 356 m<sup>3</sup> de turba en 0,69 ha. A diferencia del bofedal sector moya posee un total de 144 799,7 m<sup>3</sup> en 23,62 ha.

A comparación de los resultados de Hribljanetal *et al.* (2016), en el estudio realizado en la turbera de Ecuador, determinaron que las turberas tenían grandes cantidades de material que no era turba en todos los núcleos. La turba solo estaba presente en la parte superior de todos los núcleos, pero la mayoría de los sitios tenían muchas capas de suelos sin turba y turba entremezclada en el perfil del núcleo, las turberas poseían una masa media de 1 468 kg m<sup>2</sup>, resultados similares mostró el presente estudio, ya que en la parte superior de 0,15 a 0,65 m de profundidad presentó mayor volumen de turba.

Mientras que Hilario (2023) mediante una muestra Core, determinó que los estratos superiores representaron la mayor proporción del volumen total estimados, es decir, de 0 a 0,5 m de profundidad posee un volumen de turba de 103 411,60 m<sup>3</sup>, resultados similares dio a conocer la presente investigación en los primeros metros, ya que presentó mayor volumen de turba con un valor de 95 144,25 m<sup>3</sup>.

#### **4.3. Distribución del contenido total de carbono a diferentes profundidades y en sectores con distinto estado de conservación del bofedal sector Moya en el Santuario Histórico de Chacamarca**

Los resultados obtenidos en el bofedal sector Moya, mostraron que el bofedal almacena mayor contenido de carbono orgánico en áreas donde el estado de conservación es Excelente, con un valor promedio de 109,47 gC/kg, obtenido mediante el método de Walkley y Black. Sin embargo, en áreas donde el estado de conservación es Pobre se registraron valores de 25,33 gC/kg, obtenido mediante el método de Walkley y Black, los valores registrados mostraron una diferencia significativa entre ambos estados de conservación. Estos resultados concuerdan con la investigación realizada por Sequeiros y Cazorla (2020), quienes emplearon el método de Walkley y Black y determinaron que el carbono orgánico presente en la turba/necromasa, registró mayor acumulación de carbono en zonas húmedas con un valor de 29,89 tC/ha y menor contenido en zonas secas con un valor de 22,52 tC/ha.

En cuanto a los valores obtenidos de carbono almacenado, de acuerdo con la profundidad de la turba, se observa que en el primer estrato el promedio de carbono acumulado fue de 70,50 gC/kg de acuerdo al método de Walkley y Black. Para el segundo estrato se determinó que el promedio de carbono acumulado fue de 69,47 gC/kg según el método de Walkley y Black. Para el tercer estrato, se obtuvo que el valor promedio de carbono almacenado fue de 98,15 gC/kg de acuerdo con el método de Walkley y Black.

Por último, en el cuarto estrato se registró el valor de 109,20 gC/kg de acuerdo al método de Walkley y Black. Los resultados obtenidos demuestran que en el primer estrato presenta mayor contenido de carbono, lo cual se debe a que la muestra obtenida presentó mayor humedad en relación al segundo estrato. Sin embargo, se evidencia que existe una tendencia el cual es que a mayor profundidad el contenido de carbono acumulado es mayor, como se aprecia en el segundo, tercer y cuarto estrato. Estos resultados discuerdan con los valores obtenidos por Basurto (2022) quien determinó el contenido de carbono en diferentes profundidades, obteniendo que, en una profundidad de 0 a 20 cm, el carbono acumulado fue de 38,06 tC/ha, mientras que en una profundidad de 20 a 40 cm el carbono acumulado fue de 34,98 tC/ha, en cuanto a una profundidad de 40 a 60 cm el carbono acumulado fue de

24,11 tC/ha. Lo anterior indica que a mayor profundidad el contenido de carbono acumulado es menor.

#### **4.4. Analizar la correlación entre el volumen de turba, la cantidad de carbono y el estado de conservación del bofedal sector Moya en el Santuario Histórico de Chacamarca**

Los resultados obtenidos muestran que existe una correlación entre el estado de conservación, contenido de carbono y volumen de turba con valores de correlación cercanos a 1, lo cual muestra una tendencia lineal positiva. Demostrando así que el volumen de turba y la cantidad de carbono, está directamente relacionado con la condición del bofedal. Esto se evidencia en base a los resultados obtenidos, el cual muestra que en la zona que posee condición Excelente presentó valores promedios de 109,47 gC/kg y 86,71 %, mostrando una diferencia significativa con zonas donde el estado de conservación es Pobre y presentó valores promedios de 25,33 gC/kg y 26,39 %.

Los resultados obtenidos discrepan con el estudio realizado por León (2016), quien evaluó la correlación mediante un análisis crítico de los resultados obtenidos, determinando así que existe una relación significativa entre la cantidad de carbono acumulado y la condición de los bofedales. En su estudio realizado concluye que en zonas donde los bofedales presentan condición Buena, registran menor cantidad de carbono en comparación a los bofedales que presentan condición Pobre, lo cual está influenciado en la metodología empleada debido a que evalúa la condición del bofedal mediante un método agrostológico en función de especies palatables para Alpacas, debido a ello las zonas que presentan mejor estado de conservación presentan mayor consumo de las especies de flora afectando así la biomasa del suelo debido a ello los niveles de carbono son menores.

Por su parte, Omonte (2022) analizó la relación entre el Carbono Orgánico del suelo (COS) y el porcentaje de la materia orgánica, determinando que existe un nivel de significancia de ( $p = ,000$ ;  $p < ,05$ ); el carbono orgánico del suelo presenta relación directa muy buena, lo cual se expresa que a mayor COS, mayor es el porcentaje de la materia orgánica y a menor COS, menor será el porcentaje de la materia orgánica presente en los suelos del bofedal,

estos resultados validan los datos obtenidos en el bofedal sector Moya donde se obtuvo que a mayor materia orgánica presente en las muestras se obtuvo mayores niveles de carbono.

#### **4.5. Análisis económico y financiero del almacenamiento de carbono del bofedal sector Moya en el Santuario Histórico de Chacamarca**

Con respecto al análisis económico y financiero del bofedal, se empleó el valor social de Carbono establecido en el Perú desde el 2021, en el cual se valoriza en 7,17 USD por tonelada de CO<sub>2</sub>. Teniendo en consideración que el bofedal sector moya acumula 47 150,40 toneladas de carbono por hectárea, y posee una extensión total de 23,6 hectáreas el valor total del carbono asciende a 338 067,25 USD.

Empleando el mismo valor económico establecido en Perú, *Alvis et al.* (2021), determinaron que el valor por el servicio ecosistémico de almacenamiento de carbono es de 6 462,18 USD/ha por hectárea, teniendo una superficie de 882,54 ha el valor total del bofedal corresponde a 5 703 132,34 USD.

En contraste con los resultados obtenidos por Barra (2019), donde realiza la estimación de los precios de bonos de carbono en el bofedal la Moya en función al valor monetario propuesto por países desarrollados como es el caso de China, con un monto de 19 USD por tonelada de carbono, el bofedal obtendría 6 300 789,50 USD al año, mientras que en función al valor propuesto por la Unión Europea el cual varía entre 20 y 30 EUR por tonelada, el valor total del servicio sería de 6 632 410 EUR al año.

## CAPÍTULO V: CONCLUSIONES

- En el bofedal sector Moya en el Santuario Histórico de Chacamarca en época húmeda se registró mediante el método del cuadrante un total de 27 especies de flora, 20 géneros, pertenecientes a 13 familias siendo las más diversas la familia Asteraceae con siete especies, Poaceae con cinco especies y Cyperaceae con tres especies. Asimismo, las especies que presentaron mayor cobertura vegetal fueron *Poa spicigera* Tovar 13,43 %, *Hypochaeris meyeniana* (Walp.) Benth. & Hook. f. ex Griseb. 9,63 % y *Oritrophium limnophilum* (Sch. Bip.) Cuatrec 8,28 % mientras que las especies que presentaron menor cobertura vegetal fueron *Myrosmodes paludosa* (Rchb. f.) P. Ortiz 0,02 %, *Plantago lanceolata* L. 0,07 % y *Carex mandoniana* Boeckeler 0,24 %
- El bofedal sector Moya del Santuario Histórico de Chacamarca, provee el servicio ecosistémico de almacenamiento de carbono, en la turba o necromasa presente, posterior a los análisis de campo y laboratorio se determinó la distribución del carbono en función al estado de conservación y nivel de profundidad del bofedal. En cuando al estado de conservación se concluyó que en la zona con estado de conservación Excelente se acumula en promedio 109,47 gC/kg y posee 86,81 % C, en zonas con estado de conservación Buena se registró una acumulación promedio de 78,84 gC/kg t y 78,82 % C, en zonas con estado de conservación Regular se registró una acumulación promedio de 62,25 gC/kg t y 61,73 % C por último en zonas donde presenta estado de conservación Pobre se registró una acumulación promedio de carbono de 25,33 y 26,39 % C. En cuanto a la distribución de carbono en diferentes niveles de profundidad, el bofedal acumuló 70,50 gC/kg t y 66,76 % C dentro de los primeros 15 cm de profundidad, entre 15 y 65 cm el bofedal acumuló 69,47 gC/kg t y 61,27 % C, entre los 65 y 115 cm de profundidad el bofedal acumuló 98,15 gC/kg t y 80,08 % C por último en profundidad superior a 115 cm el bofedal acumuló 109,20 gC/kg t y 53,96 % C.

- El bofedal sector Moya posee un volumen total de turba mayor de almacenamiento de 1 444 799,70 m<sup>3</sup>, en el nivel de profundidad de 0,15 m a 0,65 m. Asimismo, en el nivel de profundidad de 1,15 m a más presenta un menor volumen de almacenamiento de turba 8,91 m<sup>3</sup>. Por otro lado, en relación al estado de Excelente del bofedal se tuvo un mayor volumen de turba con un valor de 7 046,36 m<sup>3</sup> debido a que en estas zonas de muestreo el agua es permanente todo el año porque está cerca de una fuente de agua y está poblada por especies vegetales que forman masas muy densas que permite la acumulación de gran cantidad de materia orgánica y humedad , seguido del estado de conservación Bueno con una valor de 6 889,62 m<sup>3</sup> , asimismo, el estado de conservación Regular presentó un volumen de 4 853,92 m<sup>3</sup>, finalmente el estado de conservación Pobre presentó una baja acumulación de turba 4 338,48 m<sup>3</sup> debido a que en esta parte del área solo se encuentra saturada de agua en época de lluvia.
- Se determinó que el bofedal sector moya del Santuario histórico de Chacamarca, almacena mayor cantidad de carbono en zonas que presentan estado de conservación es óptimo, debido a que estas zonas se encuentran saturadas de agua mayor parte del año, derivando en mayor contenido de turba. Por lo tanto en zonas donde el estado de conservación es Excelente se registraron valores de 109,47 gC/kgt y 86,81 % C, de igual forma en el estado de conservación Buena se registró valores de 78,84 gC/kgt y 78,82 % C, en ambas condiciones los valores registrados superan a los valores obtenidos en zonas que poseen condición Regular y Pobre, en el caso de zonas con condición Regular se registró valores de 62,25 gC/kgt y 61,73 % C y valores inferiores en zonas con condición Pobre donde se registraron datos de 25,33 gC/kgt y 26,39 % C.
- Posterior al análisis financiero y económico del bofedal. Se determinó la suma de 8 113 641,23 USD en función a la valorización económica por el servicio de almacenamiento de carbono, el objetivo de los precios de carbono en el mercado es una compensación económica que permite gestionar la conservación de los bofedales los cuales al ser sumideros naturales de carbono contribuyen a la mitigación de los efectos del cambio climático.



## **CAPÍTULO VI: RECOMENDACIONES**

- Implementar medidas de control que regulen la actividad ganadera que desarrolla la Cooperativa Agrícola San Francisco de Chichausiri en el bofedal sector Moya del Santuario Histórico de Chacamarca, debido a que esta actividad influye directamente en el deterioro del ecosistema por ende en la capacidad de captura y almacenamiento de carbono.
- Desarrollar investigaciones sobre almacenamiento de carbono en biomasa vegetal, flujo de carbono en el bofedal, tasa de eficiencia neta en diversas épocas del año a fin de determinar la variación en función a las estaciones y épocas de muestreo.
- Realizar trabajos de investigación sobre la calidad de carbono almacenado en el suelo de bofedales de distintos estados de conservación.
- Desarrollar investigaciones sobre el impacto de la actividad ganadera en el bofedal Sector Moya del Santuario Histórico de Chacamarca a fin de determinar su influencia en las características físicas y biológicas del bofedal.
- Promover la creación de políticas públicas con enfoque en la conservación y restauración de los bofedales a través de programas y leyes a nivel nacional y local.
- Promover y gestionar a través de los mercados de bonos de carbono la obtención de fondos económicos que permitan la conservación del bofedal, y este a su vez contribuya de manera directa o indirecta a la economía local y al desarrollo de la población adyacente.

## REFERENCIAS

- Alvis, C. (2018). *Almacenamiento de Carbono en los Humedales Altoandinos del centro poblado de Chalhuanca, Caylloma - Arequipa, 2017* [Tesis de grado, Universidad Nacional San Agustín de Arequipa, Perú]. Repositorio Institucional. <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/8214>
- Arija, C. (2012). Taxonomía, Sistemática y Nomenclatura, herramientas esenciales en Zoología y Veterinaria. *Revista Electrónica de Veterinaria (REDVET)*, 13 (7), 4. <https://www.redalyc.org/pdf/636/63624404021.pdf>
- Baddeley, A., Rubak, E., y Turner, R. (2015). *Spatial Point Patterns: Methodology and Applications with R*. Chapman and Hall/CRC Press. <http://www.crcpress.com/Spatial-Point-Patterns-Methodology-and-Applications-withR/Baddeley-RubakTurner/9781482210200/>
- Baddeley, A., Turner, R., Mateu, J. y Bevan, A. (2013). Hybrids of Gibbs Point Process Models and Their Implementation. *Journal of Statistical Software*, 55(11), 1–43. <https://doi.org/10.18637/jss.v055.i11>
- Barra, L. (2019). *Captura de carbono por la vegetación en el bofedal de la Moya, en el distrito de Melgar – Ayaviri, 2019* [Tesis de grado, Universidad Nacional del Altiplano de Puno, Perú].
- Bhomia R., Van Lent J., Grandez J., Hergoualc'h K., Honorio E. y Murdiyarso D. (2019). Impacts of *Mauritia flexuosa* degradation on the carbon stocks of freshwater peatlands in the Pastaza-Marañón river basin of the Peruvian Amazon. *Mitig Adapt Strateg Glob Change* 24:645-68.
- Burgess, T. y Webster, R. (2019). Optimal interpolation and isarithmic mapping of soil properties: I The semi-variogram and punctual kriging. *European Journal of Soil Science*, 70(1), 11–19. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/ejss.1278z4>
- Calvo, V. (2016). “Marco conceptual y metodológico para estimar el estado de salud de bofedales de alta montaña” [Tesis de postgrado, Universidad Nacional Agraria la Molina, Perú]. <https://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12996/2800/P01-C349m-T.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Cárdenas, M y Encina, G. (2008). Gestión Sustentable de Bofedales del Salar del Huasco. L.C Centro de Estudios para el Desarrollo, CED.

- Chambers, F., Beilman, D. y Yu, Z. (2011). Methods for determining peat humification and for quantifying peat bulk density. *Mires and Peat*, 7(7), 1–10. <http://www.mires-and-peat.net/pages/volumes/map07/map0707.php>
- Chimney R., Bourgeau-Chavez L., Grelik S., Hribljan J., Planas A., Polk M., Lilleskov E. y Fuentealba B. (2019). Mapping mountain peatlands and wet meadows using multi-date, multi-sensor remote sensing in the Cordillera Blanca, Perú. *Wetlands* 39:1057-67. <https://doi.org/10.1007/s13157-019-01134-1>
- CICESE (Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Baja California). (2012). *El ciclo del carbono, un actor relevante en el cambio climático global*. <https://www.dicyt.com/noticias/el-ciclo-del-carbono-un-actor-relevante-en-el-cambio-climatico-global>
- Consejo Consultivo Científico para el Cambio Global, WBGU. (1998). *The accounting of biological sinks and sources under the Kyoto Protocol a step forwards or backwards for global environmental protection? German Advisory Council on Global Change* (Consejo Consultivo Alemán sobre los Cambios Mundiales), Special Report, Bremerhaven.
- Cooper, D., Kaczynski, K. Shayback, D., y Yager, K. (2015). Growth and organic carbon production in peatlands dominated by *Distichia muscoides*, Bolivia, South America, 53 *Antarctic, and Alpine Research*. 47 (3), 505–510. <http://dx.doi.org/10.1657/AAAR0014-060>
- Convención de Ramsar sobre los Humedales (2002). *Humedales: Agua, vida y cultura*. Valencia (España). Secretaría de la Convención de Ramsar. Recuperado de: <https://www.ramsar.org/sites/default/files/documents/pdf/guide-iczm-sp.pdf>
- Convención de Ramsar sobre los Humedales (2006). *Manual de la Convención de Ramsar: Guía a la Convención sobre los Humedales (Ramsar, Irán, 1971)*, 4a. edición. Gland (Suiza): Secretaría de la Convención de Ramsar, 2006. Recuperado de: [https://www.ramsar.org/sites/default/files/documents/pdf/lib/lib\\_manual2006s.pdf](https://www.ramsar.org/sites/default/files/documents/pdf/lib/lib_manual2006s.pdf)
- Convención de Ramsar sobre los Humedales. (2018). *Perspectiva mundial sobre los humedales: Estado de los humedales del mundo y sus servicios a las personas*. Gland (Suiza). Secretaría de la Convención de Ramsar. Recuperado de: [https://static1.squarespace.com/static/5b256c78e17ba335ea89fe1f/t/5b9ffde60e2e7277f629f8df/1537211926308/Ramsar+GWO\\_SPANISH\\_WEB.pdf](https://static1.squarespace.com/static/5b256c78e17ba335ea89fe1f/t/5b9ffde60e2e7277f629f8df/1537211926308/Ramsar+GWO_SPANISH_WEB.pdf)

- De Carvalho, P., Rasera, L., Costa, J., Araújo, M. y Varela, L. (2019). Variogram modeling of broadband artifacts of a seafloor map for filtering with Factorial Kriging. *Journal of Applied Geophysics*, 161, 92–104. <https://doi.org/10.1016/j.jappgeo.2018.12.009>
- Departamento de Investigación y Documentación Parlamentaria. (2018). *Emisión de Gases de Efecto Invernadero y contribución del Perú en mitigación y adaptación al Cambio Climático*. Perú: DIDP. <https://www.congreso.gob.pe/didp/>
- Draper F., Roucoux K., Lawson I., Mitchard E., Honorio E., Lahteenoja O., Torres L., Valderrama E., Zarate R. y Baker T. (2014). The distribution and amount of carbon in the largest peatland complex in Amazonia. *Environmental Research Letters*, 9, 124017–29.
- Estensoro, S. (1991). Los bofedales de la cuenca alta del valle de la Paz. *Forno E. & M. Baudoin. Historia Natural de un Valle de los Andes: La Paz. Instituto de Ecología, La Paz.*, 109-120.
- Falen L. y Honorio E. (2018). Evaluación de las técnicas de aprovechamiento de frutos de aguaje (*Mauritia flexuosa L.f.*) en el distrito de Jenaro Herrera, Loreto, Perú. *Folia Amazónica*, 27, 131–50.
- Flóres, A. (2005). *Manual de pastos y forrajes altoandinos*. Lima: ITDG AL, OIKOS. Perú,
- Flores, E., Ñaupari, J. y Tácuma, R. (2015). *La economía del cambio climático en el Perú: ganadería altoandina*. Banco Interamericano de Desarrollo, Washington D.C.
- Fondo Para la Protección del Agua. (14 de abril de 2020). *Turberas altoandinas: sus implicaciones en la mitigación y adaptación al cambio climático*. <http://www.fonag.org.ec/web/turberas-altoandinas-sus-implicaciones-en-la-mitigacion-y-adaptacion-al-cambio-climatico/>
- Galarza P., y Jorge J. (2020). *Evaluación del estado de conservación del bofedal sector Moya en el Santuario Histórico de Chacamarca, Junín*. [Trabajo de Investigación, Universidad Católica Sede Sapientiae, Tarma]. Repositorio Institucional Digital.
- Guerrero, A., Rodríguez E., Leiva S. y Pollack L. (2019). Zonas de vida en el proceso de la Zonificación Ecológica Económica (ZEE) de la provincia de Trujillo, región La Libertad, Perú. *Arnaldoa*, 26 (2), 761-792. <http://doi.org/10.22497/arnaldoa.262.26217>

- Griffis T., Wood J., Fachin L., Rengifo J., Del Castillo D., Lilleskov E., Kolka R., Chimner R. y Del Aguila J. (2020). Hydrometeorological sensitivities of net ecosystem carbon dioxide and methane exchange of an Amazonian palm swamp peatland. *Agricultural and Forest Meteorology* 295.
- Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, (2001). *Cambio climático 2001 [informe de síntesis]*. IPCC. [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/08/TAR\\_syrfull\\_es.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/08/TAR_syrfull_es.pdf)
- Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (2007). *Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Cuarto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de expertos sobre el cambio climático, [informe de síntesis]*. IPCC. [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ar4\\_syr\\_sp.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ar4_syr_sp.pdf)
- Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (2014). *Cambio climático 2014 [informe de síntesis]*. IPCC. [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/SYR\\_AR5\\_FINAL\\_full\\_es.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/SYR_AR5_FINAL_full_es.pdf)
- Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (2021). *El cambio climático es generalizado, rápido y se está intensificando*. [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2021/08/IPCC\\_WGI-AR6-Press-Release-Final\\_es.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2021/08/IPCC_WGI-AR6-Press-Release-Final_es.pdf)
- Hernández, R., Fernández, C. y Baptista, P. (2014). Metodología de la investigación, (6ta Ed). México: McGraw-Hill Education.
- Hijmans, R. (23 de diciembre del 2021). *Geographic Data Analysis and Modeling*. <https://cran.r-project.org/package=raster>
- Hilario, Y. (2023). *Almacenamiento de Carbono y tasa de eficiencia neta de ecosistemas en turberas, dentro de la Reserva Paisajística Nor Yauyos Cochas 2020* [Tesis de grado, Universidad Continental, Perú]. Repositorio Institucional. [file:///C:/Users/Usuario/Downloads/IV\\_FIN\\_107\\_TE\\_Hilario\\_Curisinche\\_2023.pdf](file:///C:/Users/Usuario/Downloads/IV_FIN_107_TE_Hilario_Curisinche_2023.pdf)
- Hogan, J., Kamp, G., Barbour, S., y Schmidt, R. (2006). Field methods for measuring hydraulic properties of peat deposits. *Hydrological Processes*, 20, 3635 – 3649. <https://doi.org/10.1002/hyp.6379>
- Honorio, E. y Baker, R. (2010). *Manual para el monitoreo del ciclo del carbono en bosques amazónicos*. [http://www.rainfor.org/upload/ManualsSpanish/Honorio\\_Baker2010%20Manual%20carbono.pdf](http://www.rainfor.org/upload/ManualsSpanish/Honorio_Baker2010%20Manual%20carbono.pdf)

- Hribljan, J., Cooper, D., Sultenfuss, J., Wolf, E., Heckman, K., Lilleskov, E. y Shimmer, R. (2015). Carbon storage and long-term rate of accumulation in high-altitude andean peatlands of Bolivia. *Scientific journal*. 15, 1-14. [https://www.fs.fed.us/nrs/pubs/jrnl/2015/nrs\\_2015\\_hribljan\\_001.pdf](https://www.fs.fed.us/nrs/pubs/jrnl/2015/nrs_2015_hribljan_001.pdf)
- Hribljan, J., Suz, E., Heckman, K., Lilleskov, E. y Chimner, R. (2016). Peatland carbon stocks and accumulation rates in the Ecuadorian pmo. *Wetlands Ecology and Management* 24(2): 113-127.
- Instituto Nacional de Recursos Naturales (2007). *Plan Maestro del Santuario Histórico de Chacamarca 2002 - 2007*. Junín, Perú. Impresos y Diseños S.A.C.
- Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña (2023). *Memoria descriptiva inventario Nacional de bofedales*. Huaraz, Perú. <https://repositorio.inaigem.gob.pe/handle/16072021/466>
- Legendre, P. y Legendre, L. (1998). Numerical Ecology. *Developments in Environmental Modelling*. Elsevier, Amsterdam, the Netherlands.
- León, A. (2016). *Reserva de carbono en bofedales y su relación con la florística y condición del pastizal*. [Tesis de Grado, Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú]. Repositorio Institucional Digital.
- León, H. (2016). *Estudio de evaluación del estado de conservación de los ecosistemas de la cuenca del río Jequetepeque*. [https://www.minam.gob.pe/economia-y-financiamiento-ambiental/wp-content/uploads/sites/128/2019/08/Estudio-de-evaluaci% c3% b3n-de-estado-de-ecosistemas-en-la-cuenca-del-r% c3% ado-Jequetepeque.pdf](https://www.minam.gob.pe/economia-y-financiamiento-ambiental/wp-content/uploads/sites/128/2019/08/Estudio-de-evaluaci%c3%b3n-de-estado-de-ecosistemas-en-la-cuenca-del-r%c3%ado-Jequetepeque.pdf)
- Limpens, J., Berendse, F., Blodau, C., Canadell, J. G., Freeman, C., Holden, J., Roulet, N., Rydin, H., y Schaepman-Strub, G. (2008). Peatlands and the carbon cycle: from local processes to global implications – a synthesis, *Biogeosciences*, 5, 1475–1491, [https://www.researchgate.net/publication/26636046\\_Peatlands\\_and\\_the\\_carbon\\_cycle\\_From\\_local\\_processes\\_to\\_global\\_implications\\_A\\_synthesis](https://www.researchgate.net/publication/26636046_Peatlands_and_the_carbon_cycle_From_local_processes_to_global_implications_A_synthesis)
- Loza, S., Meneses, R., y Anthelme, F. (2015). Comunidades vegetales de los bofedales de la Cordillera Real (Bolivia) bajo el calentamiento global. *Ecología en Bolivia*, 50(1), 39-56. [http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1605-2528201500010\\_0004](http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1605-2528201500010_0004).

- Lozano, P. (2017). *Valoración económica del carbono capturado en el suelo de los bofedales de la Reserva de Producción de Fauna Chimborazo*. Tesis de Grado, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Ecuador]. <http://dspace.epoch.edu.ec/handle/123456789/6826>
- Maldonado, M. (2014). *Introducción a los bofedales de la región Altoandina Peruana*. Grupo Internacional de Conservación de Turbales, Lima, Perú. [http://mires-and-peat.net/media/map15/map\\_15\\_05\\_Spanish.pdf](http://mires-and-peat.net/media/map15/map_15_05_Spanish.pdf)
- Martino, D. (2000). *Los Sumideros de Carbono en el Mecanismo de Desarrollo Limpio del Protocolo de Kioto*. Ministerio de Vivienda, Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente, Uruguay.
- Mastrangelo, A. (2009). Análisis del concepto de Recursos Naturales en dos estudios de caso en Argentina. *Ambiente & Sociedade*, 7 (2), 341-355. <https://doi.org/10.1590/S1414-753X2009000200009>
- Mcbratney, A. y Webster, R.. (2006). *Choosing Functions for Semi-Variograms of Soil Properties and Fitting Them to Sampling Estimates*. *Journal of Soil Science*. 37. 617 - 639. 10.1111/j.1365-2389.1986.tb00392.x.
- Matamoros, D. (2015). *Reserva de carbono en bofedales y praderas naturales ubicados en el distrito de Pilpichaca – Huancavelica*. [Tesis de Grado, Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú]. Repositorio Institucional Digital.
- Ministerio del Ambiente. (2005). Ley General de Ambiente N° 28611, Artículo 99. Ley N° 28611. Diario Oficial El Peruano, Lima, Perú, 15 de octubre del 2005.
- Ministerio del Ambiente. (2019). *Guía de Evaluación del estado del ecosistema bofedal*. Ministerio del Ambiente, Lima, Perú.
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2022). *Proyecto tipo recuperación de cobertura vegetal en áreas disturbadas*. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, Bogotá, Colombia.
- Mita, M. (2019). *Evaluación de la captura de carbono en los bofedales de la laguna de Conococha en base a la especie de flora predominante del área de estudio - provincia de Recuay - departamento de Ancash – 2018* [Tesis de Grado, Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo, Ancash, Perú]. Repositorio Institucional Digital.

- Mostacedo, B. y Fredericksen, T. (2000). *Manual de Métodos Básicos de Muestreo y Análisis en Ecología Vegetal*. Santa Cruz, Bolivia.
- Muñoz, B. (2020). Tesis de grado, Universidad Católica Sedes Sapientiae, Huaura, Perú. ]. Repositorio Institucional Digital.
- Olea, R. (1974). Optimal Contour Mapping Using Universal Kriging. *Journal of Geophysical Research*, 79(5), 695 – 702. <https://doi.org/10.1029/JB079i005p00695>
- Omonte, Q. (2022). *Relación de la profundidad del suelo con el contenido de carbono orgánico en tres bofedales altoandinos de la microcuenca Apacheta*. Ayacucho 2016. [Tesis de grado, Universidad Nacional San Cristóbal de Huamanga, Ayacucho, Perú]. Repositorio Institucional Digital
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (2017). <http://www.fao.org/3/I7268ES/i7268es.pdf>
- Ostria C. (1987). *Phyto Écologie et paléoécologie de la vallée alto andine de Hichu Kkota (Cordillère orientale, Bolivie)*. [Tesis de doctorado, Universidad de París].
- Oyague E. y Cooper D. (2020). Peatlands of the Central Andes Puna, South America. *Wetland Science y Practice*. 37, 255-260.
- Oyague, E. (2021). *Variabilidad de Factores Hidrológicos e Hidráulicos en Cuatro Turberas de los Andes*. [Tesis de Grado de Maestro Magister Scientiae, Universidad Nacional Agraria La Molina – Tacna].
- Parry, L., West, L., Holden, J. y Chapman, P. (2014). Evaluating approaches for estimating peat depth. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*, 119, 567 – 576. <https://doi.org/10.1002/2013JG002411>
- Planas A., Chimney R., Hribljan J., Lilleskov E. y Fuentealba B. (2020). The effect of water table levels and short-term ditch restoration on mountain peatland carbon cycling in the Cordillera Blanca, Perú. *Wetlands Ecol. Manage* 28:51-69.
- Quesada, J., Faba, L., Díaz, E. y Ordóñez, S. (2014). La biomasa como alternativa al petróleo para la obtención de productos químicos: Acetona y Etanol como moléculas plataforma. *Avances en Ciencias e Ingeniería*, 5(2), 31-49. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4754509>.



- Quiles, R. (2014). *Muestreador de Turbas o Barrena Rusa: una herramienta de muestreo de sedimentos realmente útil*. Van Wal. <https://www.vanwalt.com/news/2014/05/19/muestreador-de-turbas-o-barrena-rusa-una-herramienta-de-muestreo-de-sedimentos-realmente-util/>
- R Core Team. (2020). R: A Language and Environment for Statistical Computing. Vienna, Austria. Retrieved from <https://www.r-project.org/>
- Resolución Ministerial No 311-2015-MINAM. Procedimiento Técnico y Metodológico para la Elaboración del Estudio Especializado Servicios Ecosistémicos para el Ordenamiento Territorial (05 noviembre de 2015). <https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2015/11/RM-N%C2%B0-311-2015-MINAM.pdf>
- Rivera E. (2018). *Evaluación del Potencial Almacenamiento de Carbono en la especie Stipa Ichu (Ichu) en la Microcuenca Chaclatacana – Huancavelica*. [Tesis de Grado, Universidad Nacional Federico Villarreal. Lima, Perú].
- Roa-García, M., y Brown, S. (2016). Caracterización de la Acumulación de Carbono en Pequeños Humedals Andinos en la Cuenca Alta del Río Barbas (Quindío, Colombia). *Caldasia*, 38(1), 117–135. <https://doi.org/10.15446/caldasia.v38n1.57833>
- Rosell, R (1999). Carbono orgánico y propiedades del suelo. *Revista de la ciencia del suelo y nutrición vegetal*, 8(1), 68-96. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-27912008000100006>
- Rügnitz, M., Chacón, M. y Porro, R. (2009). *Guía para la determinación de carbono en pequeñas propiedades rurales* (1ª ed.). [file:///C:/Users/a/Downloads/ManualN11GuiadeCarbono-13-08-09%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/a/Downloads/ManualN11GuiadeCarbono-13-08-09%20(1).pdf)
- Rydin, H.y Jeglum, J. (2013). *The Biology of Peatlands*. Oxford University Press. 397.
- Saéz, A. (2010). *Métodos Estadísticos con R y R Commander*. Perú, Jaen: creative commons. <https://cran.r-project.org/doc/contrib/Saez-Castillo-RRCmdrv21.pdf>
- Salvador, F., Moneris, J. y Rochefort, L. (2014). Peatlands of the Peruvian Puna ecoregion: Types, characteristics and disturbance. *Mires and Peat* 15.

- Schulz, C., Martin, M., Perez, C., Villacorta, M., Laurie, N., Lawson, I. y Roucoux, K. (2019). Peatland and wetland ecosystems in Peruvian Amazonia: Indigenous classifications and perspectives. *Ecology and Society* 24.
- Squeo, F., Warner, B., Aravena, R. y Espinoza, D. (2006). Bofedales: turberas de alta montaña de los Andes centrales. *Revista chilena de historia natural*. 79, 245-255. [doi.org/10.4067/S0716-078X2006000200010](https://doi.org/10.4067/S0716-078X2006000200010)
- Sotil, J. y Flores E. (2014). *Lineamientos para el desarrollo de proyectos de inversión pública en recuperación de bofedales*. Informe Técnico del Proyecto de Recuperación de Bofedales. Convenio Laboratorio de Ecología y Utilización de Pastizales y Ministerio del Ambiente.
- Turner, D., Riffs, W., Cohen, W., Gower, S., Running, S. y Zhao, M. (2006). *Evaluation of modis npp and gpp products across multiple biomes*. *El sevier*. 102, 282-292. [https://www.fs.fed.us/pnw/pubs/journals/pnw\\_2006\\_turner002.pdf](https://www.fs.fed.us/pnw/pubs/journals/pnw_2006_turner002.pdf)
- Useros, J. (2012). El Cambio Climático: sus causas y efectos medio ambientales. *Real Academia de Medicina y Cirugía de Valladolid*, 50(0), 71-98. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4817473>.
- Valencia, M. y Cardona, C. (2016). Aproximación conceptual a la separación del dióxido de carbono en corrientes de combustión. *Revista Facultad de Ingeniería, UPTC*, 22(34), 45-53. <http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S012111292013000100005yscript=sciabstractytlng=es>.
- Valencia, N. (2019). *Efectos de la Extracción de Turba en la Composición y Estructura Florística del Bofedal de Milloc, Carampoma, Huarochirí*. [Tesis de Grado, Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú].
- Van Lent, J., Hergoualc'h, K., Verchot, L., Oenema, O. y Van Groenigen J. (2019). Greenhouse gas emissions along a peat swamp forest degradation gradient in the Peruvian Amazon: Soil moisture and palm roots effects. *Mitig Adapt Strateg Glob Change* 24:625–43.
- Vargas, P. (2009). *El Cambio Climático y sus Efectos en el Perú*. <https://www.bcrp.gob.pe/docs/Publicaciones/Revista-Moneda/Moneda-143/Moneda-143-05.pdf>

- Walkley, A. y Black, A. (1934). An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Sci.* 37:29-38.
- Wildlife Conservation Society (2020). Diseño de una hoja de ruta para la conservación y gestión sustentable de turberas de Chile. Informe final. <https://humedales.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2021/02/Hoja-Ruta-Turberas-VF2.pdf>
- Williams, C. (1998). Prediction with Gaussian processes. In *Learning in graphical models* (pp. 599–621). [https://doi.org/10.1007/978-94-011-5014-9\\_23](https://doi.org/10.1007/978-94-011-5014-9_23)
- Young, D., Parry, L., Lee, D., y Ray, S. (2018). Spatial models with covariates improve estimates of peat depth in blanket peatlands. *PLoS ONE*, 13(9), 1–19. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0202691>

## TERMINOLOGÍA

- **Biomasa.** Engloba a toda materia orgánica que se encuentra disponible en una base renovable o recurrente, abarca desde todo tipo de cultivo hasta los posibles desechos generados de origen animal o vegetal (Quesada *et al.*, 2014).
- **Biomasa aérea.** Toda la biomasa viva que se encuentra en el suelo, incluyendo troncos vivos, ramas, cáscaras, semillas y hojas (Rugnitz *et al.*, 2009).
- **Biomasa radicular.** Toda la biomasa de raíces vivas. Se excluyen raíces finas de menor de 2 mm de diámetro, porque difícilmente se distinguen de la materia orgánica del suelo (Rugnitz *et al.*, 2009).
- **Carbono orgánico.** Es el carbono que permanece en el suelo después de la descomposición parcial de cualquier material producido por organismos vivos (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO], 2017).
- **Cobertura vegetal.** “Definida como la capa de vegetación natural que cubre la superficie terrestre, comprendiendo una amplia gama de biomásas con diferentes características fisonómicas y ambientales que van desde pastizales hasta las áreas cubiertas por bosques naturales” (Ministerio del Ambiente y Desarrollo Sostenible [MADS], 2022).
- **Condición natural.** Son todos aquellos factores que se generan en el medio ambiente sin acción o intervención humana. El ciclo del agua, del carbono y el constante intercambio de materiales biológicos que ocurren en el ecosistema (Mastrangelo, 2009).
- **Dióxido de carbono.** Es considerado uno de los gases causantes del efecto invernadero, responsable del calentamiento global y cambio climático (Valencia y Cardona, 2016).
- **Materia orgánica.** Es el conjunto de residuos orgánicos que son de origen animal y / o vegetal, los cuales se encuentran en diferentes etapas de descomposición, y que se acumulan tanto en la superficie como dentro del perfil del suelo (Rosell 1999, citado por Martínez *et al.*, 2008).

- **Sobrepastoreo.** Ocurre cuando no existe una adecuada relación entre carga animal con la disponibilidad y condición de las especies forrajeras. superando de esta manera la capacidad del ecosistema (Calvo, 2016).
- **Turberas o bofedales como sumideros de carbono.** Es un gran sumidero de carbono debido a que presenta saturación permanente de agua como también capas de materia orgánica descompuesta de hasta 30 metros de profundidad (RAMSAR, 2018).
- **Turba.** Es un material orgánico compuesto principalmente de materia muerta en varias etapas de descomposición, acumuladas en condiciones de humedad excesiva y en condiciones anóxicas (Rydin y Jeglum, 2013).
- **Turbera altoandina.** Son ecosistemas que contribuyen considerablemente a la regulación hídrica, almacenamiento de carbono y mantenimiento de la calidad del agua (Fondo para la Protección del Agua [FONAG], 2020).

## APÉNDICES

### Apéndice 1

#### Fotografías



**Imagen 1.** Muestreador (Russian peat corer)



**Imagen 2.** Bofedal Sector Moya del SHCH.



**Imagen 3.** División del bofedal Sector Moya empleando GPS para determinar ubicación.



**Imagen 4.** Medición de la muestra



**Imagen 5.** Medición manual de profundidad de turba.



**Imagen 6.** Medición de muestra de turba extraída.



**Imagen 7.** Extracción de turba empleando el Muestreador (Russian peat corer)



**Imagen 8.** Muestra de Turba extraída empleando el Muestreador (Russian peat corer).



**Imagen 9.** Codificación de muestras para el traslado al laboratorio.



**Imagen 10.** Registro de especies mediante la aplicación del Método del cuadrante.



**Imagen 11.** Cuadrante de 1m x 1m empleado para la aplicación del método del cuadrante para el registro de especies encontradas en el bofedal sector Moya del SHCH.





**Imagen 12.** Materiales e insumos necesarios para la aplicación del método de Walkley y Black.



**Imagen 13.** Muestra de turba entre los 0 a 15 cm de profundidad.



**Imagen 14.** Secado de Muestras en un horno a temperatura constante durante 24 horas.



**Imagen 15.** Pesado de muestras secas.



**Imagen 15.** Muestras de turba en laboratorio.



**Imagen 16.** Muestras en campana extractora.



**Imagen 17.** Preparación de reactivos que serán usados para el análisis de carbono mediante el método de Walkley y Black.



**Imagen 18.** Proceso de Walkley y Black.



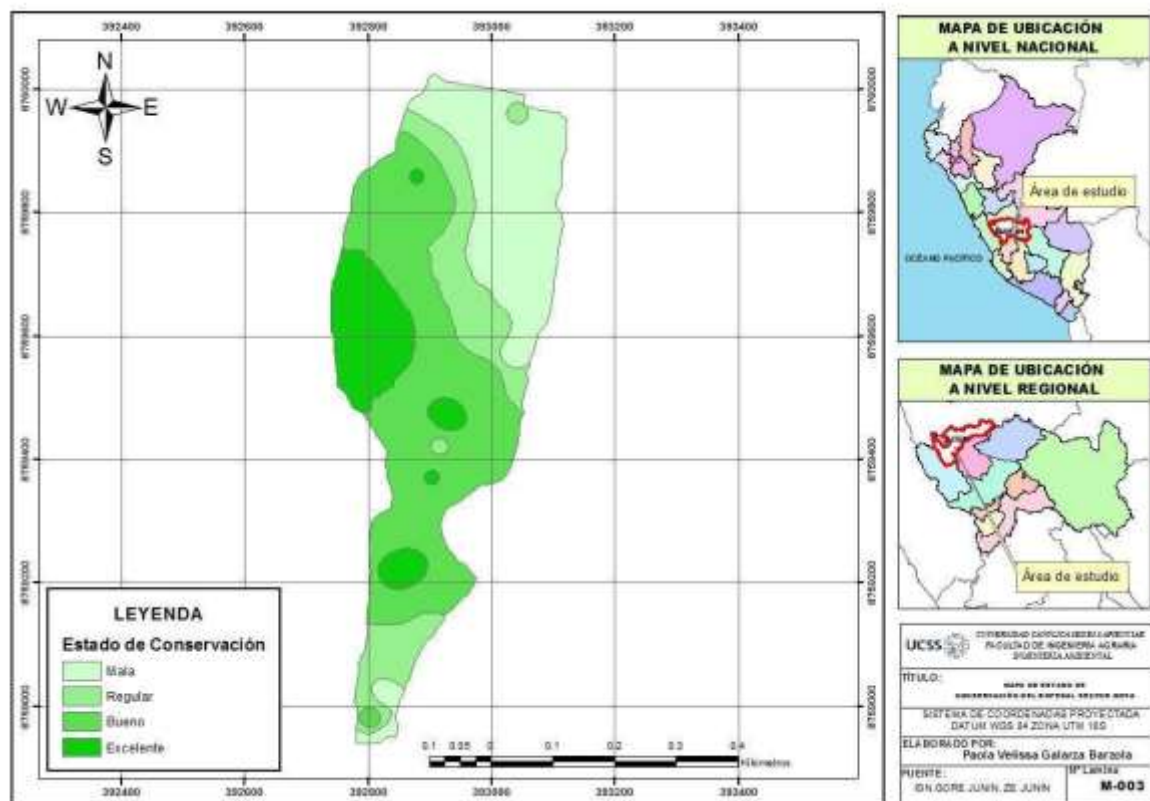
**Imagen 19.** Muestras iniciales de turba para la aplicación del método de Walkley de Balck.



**Imagen 20.** Muestras finales del proceso de aplicación del método de Walkley y Black.

## Apéndice 2

### Mapa de estado de Conservación



### Apéndice 3

#### *Especies registradas en los puntos de muestreo del bofedal sector Moya*

| Id | Familia    | Especies  | Transecto 1 |   |   | Transecto 2 |   |   | Transecto 3 |   |   | Transecto 4 |   |   | Transecto 5 |   |   | Transecto 6 |   |   | Transecto 7 |   |   | Transecto 8 |   |   | Transecto 9 |   |   |
|----|------------|---|-------------|---|---|-------------|---|---|-------------|---|---|-------------|---|---|-------------|---|---|-------------|---|---|-------------|---|---|-------------|---|---|-------------|---|---|
|    |            |   | T           | T | T | T           | T | T | T           | T | T | T           | T | T | T           | T | T | T           | T | T | T           | T | T | T           | T | T | T           | T | T |
|    |            |   | 1           | 1 | 1 | 2           | 2 | 2 | 3           | 3 | 3 | 4           | 4 | 4 | 5           | 5 | 5 | 6           | 6 | 6 | 7           | 7 | 7 | 8           | 8 | 8 | 9           | 9 | 9 |
|    |            |   | P           | P | P | P           | P | P | P           | P | P | P           | P | P | P           | P | P | P           | P | P | P           | P | P | P           | P | P | P           | P | P |
|    |            |   | 1           | 2 | 3 | 1           | 2 | 3 | 1           | 2 | 3 | 1           | 2 | 3 | 1           | 2 | 3 | 1           | 2 | 3 | 1           | 2 | 3 | 1           | 2 | 3 | 1           | 2 | 3 |
| 1  | Asteraceae | <i>Oritrophium limnophilum</i> (Sch. Bip.) Cuatrec                |             | X | X | X           | X |   |             | X | X | X           | X | X |             |   | X | X           | X | X | X           |   |   |             | X | X |             |   |   |
| 2  | Asteraceae | <i>Senecio repens</i> , var. <i>Macbridei</i>                     |             | X | X |             |   | X | X           |   |   |             |   |   |             |   |   |             |   |   |             |   |   |             |   |   |             |   |   |
| 3  | Asteraceae | <i>Hypochaeris meyeniana</i> (Walp.) Benth. & Hook. f. ex Griseb. |             |   | X | X           | X |   |             | X | X | X           | X | X | X           | X | X | X           | X | X | X           | X | X | X           | X | X |             |   |   |
| 4  | Asteraceae | <i>Senecio breviscapus</i> DC.                                    |             |   | X | X           |   |   |             | X | X |             |   | X |             | X | X | X           | X | X | X           | X | X | X           | X |   |             |   |   |
| 5  | Asteraceae | <i>Hypochaeris taraxacoides</i> (Meyen & Walp.) Ball              |             |   |   | X           |   |   | X           | X | X |             |   | X |             | X | X | X           | X | X | X           | X | X | X           | X |   |             |   |   |
| 6  | Asteraceae | <i>Werneria apiculata</i> Sch. Bip.                               |             |   | X | X           | X |   |             | X | X | X           | X | X | X           | X | X |             | X | X | X           | X | X | X           | X |   |             |   |   |
| 7  | Asteraceae | <i>Cuatrecasasiella isernii</i> (Cuatrec.) H. Rob.                |             |   | X |             |   |   |             | X |   |             |   |   |             |   |   |             |   |   |             |   |   |             |   |   |             |   |   |

|    |                |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
|----|----------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 8  | Poaceae        | <i>Poa spicigera</i><br>Tovar                               | X | X | X |   |   | X | X | X |   |   | X | X |   |   |   |   |   | X | X |   |
| 9  | Poaceae        | <i>Deyeuxia jamesonii</i><br>(Steud.) Munro<br>ex Wedd.     |   | X |   |   |   | X |   |   |   |   | X |   | X |   | X |   |   | X |   |   |
| 10 | Poaceae        | <i>Deyeuxia emine</i><br><i>ns</i> J. Presl                 |   |   |   |   |   | X | X |   |   | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X |   |
| 11 | Poaceae        | <i>Deyeuxia vicunarum</i> Mié.                              |   |   |   |   |   |   |   |   |   | X | X | X | X | X |   |   |   |   |   |   |
| 12 | Poaceae        | <i>Jarava ichu</i><br>Ruiz & Pav.                           |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   | X |   |   |   |   |   |   | X | X |   |
| 13 | Cyperaceae     | <i>Eleocharis albibracteata</i><br>Nees & Meyen<br>ex Kunth |   |   | X | X |   | X | X | X |   | X | X |   |   |   |   |   |   | X | X | X |
| 14 | Cyperaceae     | <i>Carex</i> sp.  |   |   | X | X |   | X | X |   |   | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X |   |
| 15 | Cyperaceae     | <i>Carex mandoniana</i><br>Boeckeler                        |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   | X |   |
| 16 | Juncaceae      | <i>Distichia filamentosa</i><br>Buchenau                    |   |   | X |   |   |   |   |   |   |   | X |   | X |   |   |   |   |   |   |   |
| 17 | Juncaceae      | <i>Distichia muscoides</i> Nees<br>& Meyen                  |   |   |   |   |   |   |   |   |   | X | X |   | X |   |   |   |   | X |   |   |
| 18 | Plantaginaceae | <i>Plantago lanceolata</i> L.                               |   |   | X |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 19 | Plantaginaceae | <i>Plantago tubulosa</i> Decne.                             |   |   | X | X | X |   | X | X |   | X | X | X | X |   |   |   |   | X | X | X |
| 20 | Fabaceae       | <i>Trifolium repens</i> L.                                  | X | X | X |   |   | X | X | X | X |   | X | X | X |   |   |   |   |   |   |   |
| 21 | Rosaceae       | <i>Lachemilla pinnata</i> (Ruiz & Pav.) Rothm.              | X | X | X |   | X | X | X | X |   | X |   |   | X | X |   |   |   | X | X |   |

|    |               |  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
|----|---------------|--|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 22 | Ranunculaceae | <i>Ranunculus breviscapus</i> DC.              | X |   | X | X |   | X |   | X | X | X |   | X | X |   | X |   |
| 23 | Boraginaceae  | <i>Plagiobothrys macbridei</i> I.M. Johnst.    |   | X | X | X |   |   |   |   |   |   | X | X | X | X | X | X |
| 24 | Gentianaceae  | <i>Gentiana</i> aff. <i>casapaltensis</i>      |   | X | X |   | X |   |   | X |   |   |   |   |   | X | X |   |
| 25 | Sphagnaceae   | Musgo  | X | X |   | X | X | X | X | X | X | X | X |   | X | X | X | X |
| 26 | Apiaceae      | <i>Lilaeopsis macloviana</i> (Gand.) A.W. Hill |   |   |   | X | X |   |   |   |   | X |   | X |   |   |   |   |
| 27 | Orchidaceae   | <i>Myrosmodes paludosa</i> (Rchb. f.) P. Ortiz |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   | X |   |

## Apéndice 4

### Flujograma de proceso de Walkley y Black

