

**UNIVERSIDAD CATÓLICA SEDES SAPIENTIAE**

**FACULTAD DE INGENIERÍA AGRARIA**



Estimación de eficiencia neta de biomasa del bofedal sector Moyobamba  
en la Reserva Paisajística Nor Yauyos Cochas, Junín, Perú

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

**AUTOR**

Danilo Adonayre Ávila Zavala

**ASESORES**

Wilfredo Mendoza Caballero

Eduardo Josué Oyague Passuni

Tarma, Perú

2022

**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 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 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°029 - 2022/UCSS/FIA/DI

Siendo las 09:30 a. m. del día 02 de setiembre de 2022 - Universidad Católica Sedes Sapientiae, el Jurado de Tesis, integrado por:

- |                                    |                 |
|------------------------------------|-----------------|
| 1. Amada Victoria Larco Aguilar    | presidente      |
| 2. Claudia Liliana Gutiérrez Rosas | primer Miembro  |
| 3. Karina Matta Santivañez         | segundo Miembro |
| 4. Wilfredo Mendoza Caballero      | asesor          |

Se reunieron para la sustentación de la tesis titulada **Estimación de eficiencia neta de biomasa del bofedal sector Moyobamba en la Reserva Paisajística Nor Yauyos Cochabamba, Junín, Perú** que presenta el bachiller en Ciencias Ambientales, **Danilo Adonayre Ávila Zavala** 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

DESAPROBAR

La tesis, con el calificativo de **MUY BUENA** y eleva la presente Acta al Decanato de la Facultad de Ingeniería Agraria, a fin de que se declare EXPEDITA para conferirle el TÍTULO de INGENIERO AMBIENTAL.

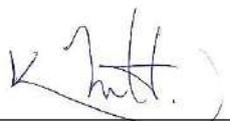
Lima, 02 de setiembre de 2022.



Amada Victoria Larco Aguilar  
PRESIDENTE



Claudia Liliana Gutiérrez Rosas  
1° MIEMBRO



Karina Matta Santivañez  
2° MIEMBRO



Wilfredo Mendoza Caballero  
ASESOR

## **DEDICATORIA**

La investigación está dedicada a mi madre Maribel Zavala Ramón, por el apoyo incondicional y constante, que nunca dejó de creer en mí.

A la Universidad Católica Sedes Sapientiae (UCSS), por formarme como ingeniero ambiental a través de todos sus docentes, por brindarme la oportunidad de crecer como persona y como profesional con principios y valores de respeto por el ambiente y la sociedad.

## **AGRADECIMIENTOS**

En primera instancia a Dios, por darme el privilegio de existir y guiarme por el camino de la sabiduría y, a mi familia mi esposa y mi hija por darme el soporte para que la investigación ocurra.

A mi asesor, Blgo. Wilfredo Mendoza Caballero, quien brindó el apoyo desde que se inició la investigación.

A mi coasesor, Blgo. Eduardo Oyague Passuni, por brindarme sus conocimientos en la metodología utilizada y el asesoramiento continuo durante toda la investigación.

A la Reserva Paisajística Nor Yauyos Cochas por permitir el desarrollo de la presente investigación, que se ha desarrollado con el permiso emitida por la misma con la Resolución Jefatural N°002-2018-SERNANP-JEF.

A la Lic. Norma Quinteros Camacho, que me dio la gran oportunidad de pertenecer al grupo de tesis encargados de realizar diferentes investigaciones dentro de la Reserva Paisajística de Nor Yauyos Cochas, convenio pactado entre la Universidad Católica Sedes Sapientiae (UCSS), el Patronato de la Reserva Paisajística de Nor Yauyos Cochas, CORBIDI y el SERNANP.

A mis compañeros de la Facultad, con quienes compartí conocimientos y vivencias tanto en la universidad como en el campo.

# ÍNDICE GENERAL

	Pág.
ÍNDICE GENERAL.....	vii
ÍNDICE DE TABLAS.....	ix
ÍNDICE DE FIGURAS.....	x
ÍNDICE DE APÉNDICES.....	xii
RESUMEN.....	xiii
ABSTRACT.....	xiv
INTRODUCCIÓN.....	1
OBJETIVOS.....	3
CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO.....	4
1.1. Antecedentes.....	4
1.2. Bases teóricas especializadas.....	9
CAPÍTULO II: MATERIALES Y MÉTODOS.....	16
2.1. Diseño de la investigación.....	16
2.2. Lugar y fecha.....	16
2.3. Población y muestra.....	21
2.4. Descripción de la investigación.....	21
2.5. Identificación de variables y su mensuración.....	30
2.6. Análisis estadístico de datos.....	30
2.7. Materiales.....	31
CAPÍTULO III: RESULTADOS.....	32
3.1. Resultados de la Productividad Primaria Neta (PPN).....	32
a) Identificación de comunidades vegetales.....	32
b) Crecimiento de la vegetación aérea.....	33
c) Resultados del peso seco a cada centímetro de profundidad.....	33
d) Resultado de la aplicación de la ecuación para hallar la Productividad Primaria..	36
3.2. Resultado del registro de la estimación de la descomposición de turba.....	36

3.3. Resultado de la Eficiencia Neta del Ecosistema.....	41
CAPÍTULO IV: DISCUSIONES.....	43
4.1. Cuantificación de la Productividad Primaria (PP).....	43
4.2. Estimación de la descomposición y pérdida de biomasa (turba).....	45
4.3. Estimación de la Eficiencia Neta del bofedal de Moyobamba.....	47
CAPÍTULO V: CONCLUSIONES.....	49
CAPÍTULO VI: RECOMENDACIONES.....	51
REFERENCIAS.....	52
TERMINOLOGÍA.....	57
APÉNDICES.....	59

## ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. <i>Variables de la investigación</i> .....	30
Tabla 2. <i>Especies dominantes en cada punto de muestreo</i> .....	32
Tabla 3. <i>Crecimiento de la biomasa aérea en los 6 puntos de monitoreo</i> .....	33
Tabla 4. <i>Registro de peso seco de cubos de 16 cm<sup>2</sup> hasta 10 cm de profundidad de cada punto de monitoreo</i> .....	34
Tabla 5. <i>Registro del peso seco entre el área del cubo para determinar el peso seco a cada centímetro de profundidad en cada punto de monitoreo</i> .....	34
Tabla 6. <i>Ecuación generada a partir del resultado del peso seco de los cubos</i> .....	35
Tabla 7. <i>Productividad Primaria (PP) obtenida del resultado de la ecuación en los seis puntos de muestreo</i> .....	36
Tabla 8. <i>Registro de peso de las muestras secas de los 6 puntos de muestreo en el mes de febrero</i> .....	37
Tabla 9. <i>Registro de peso de las muestras secas de los 6 puntos de muestreo en la época seca y húmeda después de su reinstalación</i> .....	38
Tabla 10. <i>Aplicación de la fórmula para hallar la Eficiencia Neta del Ecosistema (ENE) para las muestras del mes de junio</i> .....	62
Tabla 11. <i>Aplicación de la fórmula para hallar la Eficiencia Neta del Ecosistema (ENE) para las muestras del mes de julio</i> .....	63
Tabla 12. <i>Aplicación de la fórmula para hallar la Eficiencia Neta del Ecosistema (ENE) para las muestras del mes de setiembre</i> .....	64
Tabla 13. <i>Aplicación de la fórmula para hallar la Eficiencia Neta del Ecosistema (ENE) para las muestras del mes de noviembre</i> .....	65
Tabla 14. <i>Aplicación de la fórmula para hallar la Eficiencia Neta del Ecosistema (ENE) para las muestras del mes de enero de 2019</i> .....	66

## ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
<i>Figura 1.</i> Acrotelmo y Catotelmo (Horizontes subterráneos).....	10
<i>Figura 2.</i> Ubicación del área de estudio en la Reserva Paisajística Nor Yauyos Cochas...	19
<i>Figura 3.</i> Mapa de ubicación del área de estudio.....	18
<i>Figura 4.</i> Ubicación de los 6 puntos de muestreo desde la vista satelital.....	19
<i>Figura 5.</i> Mapa de ubicación de los 6 puntos de muestreo en el sector de Moyobamba...	20
<i>Figura 6.</i> El gráfico muestra que una comunidad vegetal (C. V.) donde se evaluó dos parcelas de 20 cm x 20 cm, y la instalación de alambres aérea y subterránea...	23
<i>Figura 7.</i> Instalación del alambre para medir el crecimiento en época seca y húmeda.....	23
<i>Figura 8.</i> Muestra de una parcela de 20 cm x 10 cm. donde cada cubo se dividió en sub parcelas de: 4 cm x 4 cm. a profundidades de 1-10 cm.....	25
<i>Figura 9.</i> Profundidad del núcleo de turba en todos los puntos de muestreo.....	26
<i>Figura 10.</i> Tubos PVC de dos pulgadas insertadas en cada punto de muestreo.....	27
<i>Figura 11.</i> Comunidad vegetal “x”, en cada punto de muestreo.....	27
<i>Figura 12.</i> Secado de muestras en la estufa eléctrica.....	27
<i>Figura 13.</i> Registro del peso seco de las muestras.....	28
<i>Figura 14.</i> Reinstalación de las muestras secas a cada punto de muestreo.....	28
<i>Figura 15.</i> Fórmula de la acumulación de un sustrato en términos de pérdida o ganancia de biomasa.....	29
<i>Figura 16.</i> Pérdida de sustrato de los seis puntos de muestreo en la época seca y húmeda.....	40
<i>Figura 17.</i> Pérdida de sustrato total de los seis puntos de muestreo (época seca y húmeda).....	41
<i>Figura 18.</i> Resultado de la fórmula para determinar la Eficiencia Neta del Ecosistema en términos de ganancia o pérdida de biomasa en el bofedal de Moyobamba.....	42
<i>Figura 19.</i> Ecuación generada a partir de los datos obtenidos de los cubos de 1 a 10 cm en el punto número 1.....	59

<i>Figura 20.</i> Ecuación generada a partir de los datos obtenidos de los cubos de 1 a 10 cm en el punto número 2.....	59
<i>Figura 21.</i> Ecuación generada a partir de los datos obtenidos de los cubos de 1 a 10 cm en el punto número 3.....	60
<i>Figura 22.</i> Ecuación generada a partir de los datos obtenidos de los cubos de 1 a 10 cm en el punto número 4.....	60
<i>Figura 23.</i> Ecuación generada a partir de los datos obtenidos de los cubos de 1 a 10 cm en el punto número 5.....	61
<i>Figura 24.</i> Ecuación generada a partir de los datos obtenidos de los cubos de 1 a 10 cm en el punto número 6.....	61

## ÍNDICE DE APÉNDICES

	Pág.
Apéndice 1. Gráficos de la productividad primaria bruta para generar la ecuación alométrica.....	59
Apéndice 2. Aplicación de la fórmula para hallar la Eficiencia Neta del Ecosistema (ENE).....	62
Apéndice 3. Constancia de laboratorio de la UNCP del secado de las muestras en los seis puntos de muestreo.....	67

## RESUMEN

La presente investigación se ejecutó en el bofedal del sector Moyobamba situado dentro de la Reserva Paisajística Nor Yauyos Cochas (RPNYC), área natural protegida del Perú, ubicado en el distrito de Canchayllo, provincia de Jauja - Junín. El estudio tuvo como objetivo estimar la eficiencia neta del bofedal, a través de la estimación de la pérdida y ganancia de biomasa en dos épocas del año (seca y húmeda). La metodología se adaptó de Muñoz (2020), Oyague (2020), Cooper *et al.* (2015) y Roberts *et al.* (1993), la cual se expresó mediante la utilización del modelo de Productividad Primaria (PP), donde se eligió seis puntos de muestreo con cobertura homogénea para identificar la comunidad de plantas presentes, luego se registró el crecimiento de la parte aérea de la cobertura vegetal, adicionalmente en cada punto se extrajo un parche de turba de 20 x 10 cm hasta una profundidad de 10 cm, para determinar la biomasa existente a cada centímetro de profundidad. Posteriormente se extrajeron cinco núcleos de turba de 50 cm de profundidad en cada punto para estimar la descomposición de biomasa en términos de pérdida del peso seco. Los resultados de la productividad primaria fueron bajas, en la época seca (junio, julio y setiembre) se registró mayor pérdida con un valor máximo de 0,31 g/cm<sup>2</sup> y un mínimo de -0,11 g/cm<sup>2</sup>; en la época húmeda (noviembre y enero), el registro máximo fue de 0,28 g/cm<sup>2</sup> y el registro mínimo fue de -0,06 g/cm<sup>2</sup>. En la época seca, la estimación de pérdida de biomasa a cada centímetro de profundidad registró un valor máximo de 1,58 g/cm<sup>2</sup> y un mínimo de 0,22 g/cm<sup>2</sup>, mientras que en la época húmeda registró un máximo de 1,22 g/cm<sup>2</sup> y un mínimo de 0,26 g/cm<sup>2</sup>. De igual modo, el crecimiento vegetal aéreo mostró fluctuaciones, en la época seca registró un valor máximo de 0,4 cm y un mínimo de 0,2 cm, en la época húmeda tuvo un máximo de 0,7 cm y un mínimo de 0,4 cm. Todos los datos obtenidos se utilizaron en la fórmula de la Eficiencia Neta del Ecosistema, en la época seca se registró un valor máximo de 0,14 g/cm<sup>2</sup> y un valor mínimo de -1,67 g/cm<sup>2</sup>. En la época húmeda se registró un valor máximo con -0,02 g/cm<sup>2</sup> y un valor mínimo con -1,28 g/cm<sup>2</sup>. De los resultados se concluye que el bofedal del sector Moyobamba registró una eficiencia neta negativa en la mayoría de los puntos excepto el punto uno y punto cuatro, lo que significa que, la emisión de carbono a la atmósfera es mayor que su captura.

**Palabras claves:** *Productividad Primaria, bofedal, turba, Eficiencia Neta del Ecosistema, Reserva Paisajística de Nor Yauyos Cochas.*

## ABSTRACT

The present investigation was carried out in the wetlands of the Moyobamba sector located within the Nor Yauyos Cochas Landscape Reserve (RPNYC), a protected natural area of Peru, located in the district of Canchayllo, province of Jauja - Junín. The objective of the study was to estimate the net efficiency of the bofedal, through the estimation of the loss and gain of biomass in two seasons of the year (dry and wet). The methodology was adapted from Muñoz (2020), Oyague (2020), Cooper *et al.* (2015) and Roberts *et al.* (1993), which is expressed through the use of the Primary Productivity (PP) model, where six points of homogeneous cover were selected to identify the community of plants present, then the growth of the aerial part of the plant cover took place, In addition, a 20 x 10 cm peat patch was extracted at each point to a depth of 10 cm, to determine the existing biomass at each centimeter of depth. Subsequently, five peat cores 50 cm deep were extracted at each point to estimate biomass extraction in terms of dry weight loss. The results of primary productivity were low, in the dry season (June, July and September) there was a greater loss with a maximum value of 0,31 g/cm<sup>2</sup> and a minimum of -0,11 g/cm<sup>2</sup>; in the wet season (November and January), the maximum record was 0,28 g/cm<sup>2</sup> and the minimum record was -0,06 g/cm<sup>2</sup>. In the dry season, the estimation of the loss of the season at each centimeter of depth of precipitation a maximum value of 1,58 g/cm<sup>2</sup> and a minimum of 0,22 g/cm<sup>2</sup>, while in the wet season it captures a maximum of 1,22 g/cm<sup>2</sup> and a minimum of 0,26 g/cm<sup>2</sup>. Similarly, aerial plant growth showed fluctuations, in the dry season it had a maximum value of 0,4 cm and a minimum of 0,2 cm, in the wet season it had a maximum of 0,7 cm and a minimum of 0,4 cm All the data obtained were used in the formula of the Net Efficiency of the Ecosystem, in the dry season a maximum value of 0,14 g/cm<sup>2</sup> and a minimum value of -1,67 g/cm<sup>2</sup> were reduced. In the wet season there was a maximum value of -0,02 g/cm<sup>2</sup> and a minimum value of -1,28 g/cm<sup>2</sup>. From the results, it is concluded that the wetlands of the Moyobamba sector achieved a negative net efficiency in most of the points except point one and point four, which means that the emission of carbon into the atmosphere is greater than its capture.

**Keywords:** Primary Productivity, wetland, peat, Net Ecosystem Efficiency, Nor Yauyos Cochas Landscape Reserve.

## INTRODUCCIÓN

El cambio climático es un proceso que se desarrolla en el escenario global e interactúa por procesos antrópicos como la producción de energía a partir de la quema de combustibles fósiles, el cambio de uso de la tierra y masivos incendios forestales generados por la combinación de acciones humanas y factores naturales (Palomino, 2007). Además, el Panel Intergubernamental del Cambio Climático [IPCC] (2014), mostró grandes aumentos en las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) como el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) que registró 38 Gt/año, el metano (CH<sub>4</sub>) registró 7,8 Gt/año y el óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) registró 3,1 Gt/año.

El dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) es uno de los gases de efecto invernadero (GEI) que mayor potencial presenta como contribuyente al proceso de calentamiento global, por lo que buscar opciones para disminuir sus emisiones se convierte en una urgencia. En este contexto Medrano *et al.* (2012), sugieren investigar la importancia que tienen determinados ecosistemas como elementos naturales de captura y almacenamiento de gases poco mencionados en la solución, este es el caso de los humedales, estos ecosistemas son capaces de almacenar grandes cantidades de carbono gracias no solo a la acción fotosintética que toma el CO<sub>2</sub> del aire, si no por el hecho de ser un “sistema” semiacuático que define condiciones anaerobias que impiden o limitan fuertemente la descomposición de la materia orgánica manteniendo depósitos importantes de carbono en la parte subterránea.

En todo el mundo, los bofedales son de suma importancia por la capacidad que tienen de secuestrar carbono (Mitsch y Gosselink, 2000). Según Hernández (2010), los bofedales capturan carbono en la biomasa vegetal y en los suelos. Mientras que Collins y Kuehl (2000), indican que la tasa promedio de descomposición de este material orgánico (turba) suele ser bajo por las condiciones anaerobias, por lo que su potencial de almacenamiento de carbono es alto, esto ocurre en suelos inundados gracias a la alta productividad de la vegetación y a la baja descomposición de la materia orgánica. Sin embargo, esta dinámica puede alterarse por una serie de factores como la reducción en la disponibilidad de agua, el cambio de cobertura vegetal o la compactación del suelo (Cooper *et al.*, 2019).

En este sentido entender el ciclo del carbono, la acumulación de biomasa y su interacción con otros nutrientes se torna imprescindible para desarrollar estrategias de manejo que maximicen su retención en el subsuelo. En el bofedal sector Moyobamba se encontraron diversos problemas antrópicos que afectan de forma negativa el bofedal, se apreciaron varios canales de drenaje que extraen por gravedad un caudal considerable de agua subterránea del sistema, que se pierde a través de una escorrentía superficial. Según la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación [FAO] (2002), la erosión hídrica es el proceso de degradación más importante del suelo y las causas principales son; la deforestación y el sobrepastoreo. Los canales de drenaje registrados en el área de investigación se implementaron en los años 50 por la empresa Cerro de Pasco Corporation con la finalidad de adecuar la oferta de pastos y las condiciones de pastoreo para una ganadería ovina que limite la ocurrencia de *Fasciola hepatica*, asociada a los pastos inundados. La implementación de canales de drenaje asociados a la ganadería ovina y vacuna son la principal causa de la pérdida y deterioro del bofedal (Cooper *et al.*, 2019). Otro de los problemas que aqueja al bofedal sector Moyobamba es el sobrepastoreo, de acuerdo con el tipo y cantidad de ganado el impacto puede variar (Maldonado, 2014).

La presente investigación busca recolectar datos sobre la eficiencia neta del bofedal sector Moyobamba al nivel descriptivo, que servirá de base a nuevas y futuras investigaciones, además, los resultados permitirán orientar las acciones de gestión de la Reserva Paisajística Nor Yauyos Cochas hacia la restauración de este espacio, área importante para la población de vicuñas, ovejas y vacunos.

# **OBJETIVOS**

## **Objetivo General**

El objetivo general de este trabajo consiste en estimar la eficiencia neta de biomasa en el bofedal sector Moyobamba, en base a los cambios en la biomasa de turba.

## **Objetivos Específicos**

- Cuantificar la tasa de acumulación y descomposición de biomasa de las comunidades vegetales mediante la utilización del modelo de Productividad Primaria (PP).
- Estimar la descomposición de biomasa en términos de pérdida del peso seco de la columna de turba y en diferentes épocas del año en el bofedal sector Moyobamba.
- Estimar la Eficiencia Neta del Ecosistema del bofedal sector Moyobamba.

# CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO

## 1.1. Antecedentes

### 1.1.1. Internacional

A nivel internacional se han desarrollado diversos trabajos para entender la dinámica del carbono en diferentes ecosistemas, algunos de estos se presentan a continuación.

Roa y Brown (2016) en la investigación Caracterización de la acumulación de carbono en pequeños humedales andinos en la cuenca alta del río Barbas en Quindío, Colombia. Tuvieron como objetivo estimar las tasas y constantes de descomposición de materia orgánica en el corto y largo plazo. El estudio inició con el inventario de humedales, para lo cual usaron la imagen del satélite Quick Bird y su análisis lo desarrollaron en el software ArcGIS. Luego tomaron mediciones de profundidad, utilizaron para ello una sonda rusa prolongada, los datos registrados fueron introducidas al software ArcGIS. Para la tasa de descomposición de carbono a corto plazo utilizaron la técnica de bolsas de descomposición, una metodología tomada de Wieder y Lang (1982) y, para la descomposición de carbono a largo plazo utilizaron la metodología de datación con Carbono 14. Como resultado obtuvieron que la concentración de carbono a corto plazo en los tres humedales muestreados varía entre 91 y los 319 gramos de C/kg, mientras que la tasa de acumulación de carbono a largo plazo por unidad de área varía entre 80 y 117 kg/cm<sup>2</sup>. Los autores concluyeron indicando que, los tres bofedales tuvieron bajas concentraciones de carbono a una profundidad de 0,5 y 1,2 m, además, mencionaron que el balance entre productividad y descomposición de la materia orgánica es similar a pesar de las diferencias de elevación.

Cooper *et al.* (2015) en la investigación sobre crecimiento y producción de carbono orgánico en las turberas dominadas por *Distichia muscoides*, en Bolivia, tuvieron como objetivo cuantificar el crecimiento y la producción de carbono orgánico en cuatro bofedales de la cordillera Real y cordillera occidental de Bolivia. El estudio fue realizado en la época húmeda y seca, los autores utilizaron la metodología de alambre acodado para medir el crecimiento de la *Distichia*, para ello instalaron entre 14 y 22 alambres en cada bofedal, cada alambre fue de 15 cm de largo donde 7 cm lo enterraron en el suelo y 8 cm lo dejaron en la superficie, luego realizaron la instalación de una red de pozos de monitoreo con el objetivo de cuantificar la profundidad del agua. Mientras que, para la producción de carbono orgánico, extrajeron bloques de turba de 30 x 30 cm de superficie x 30 cm de profundidad que fueron pesadas y secadas en un horno a temperatura de 105 °C durante 24 h, el volumen de cada muestra lo midieron al momento de la recolección. La conversión de la materia orgánica a carbono orgánico fue desarrollada con la fórmula de Chimmer y la regresión lineal lo analizaron con el software de R. 3.0.2. Como resultado obtuvieron que el crecimiento de la *Distichia* en la época seca fue menos de 1 cm, mientras que en la época húmeda fue de 2 a 6 cm, la densidad aparente promedio en todos los núcleos fue de 0,081 g/cm<sup>3</sup>. Además, la producción promedio de carbono orgánico para los cuatro sitios varió de 1,5 a 4,0 kg por cm<sup>2</sup> por año. Los autores tuvieron como conclusión que la mayor parte del crecimiento de la *Distichia* fue durante la temporada húmeda, además, expresaron que la producción de carbono orgánico tuvo mucha relación positiva con el nivel freático del suelo, es decir, los bofedales con mayor saturación de agua capturaron mayor cantidad de carbono.

### **1.1.2. Nacional**

Alvis *et al.* (2021) en la investigación cálculo y valoración del almacenamiento de carbono del humedal altoandino de Chalhuanca, Arequipa – Perú, tuvieron como objetivo estimar el almacenamiento de carbono y calcular el valor económico de este servicio. Los autores utilizaron la metodología de Walkey-Black para determinar el contenido de carbono, iniciaron con la toma de 30 muestras al azar donde establecieron tres reservorios de carbono: suelo orgánico, biomasa subterránea y biomasa aérea. Luego, extrajeron la turba haciendo uso de un dispositivo tipo barreno y cada muestra fue secada a temperatura de 65 °C por 24 horas. Mientras que, el valor económico fue calculada con una prueba de varianza (ANOVA), la normalización de los datos con la función  $\ln(x+1)$ . Asimismo, aplicaron la prueba de Levene y posteriormente al ANOVA aplicaron la prueba de Duncan con el objeto

de identificar las diferencias entre los reservorios. Los autores dieron como resultado que el suelo orgánico almacenó la mayor cantidad de carbono con 218,3 tC/ha, la biomasa subterránea registró 19,7 tC/ha y la biomasa aérea registró 4,8 tC/ha. Los resultados del servicio económico del bofedal con respecto al almacenamiento de carbono, registraron que asciende a un costo de 6462,18 \$/ha, que hace un total de 5 703 132,34 \$. Los autores concluyeron que los bofedales altoandinos son de suma importancia no sólo en el valor monetario, sino también contribuye al ambiente, la mitigación del cambio climático y a la sociedad.

Muñoz (2020) en la tesis Evaluación de la Eficiencia Neta mediante la acumulación de carbono, en base a la biomasa en el bofedal sector Huachipampa Nor Yauyos, departamento de Lima, Perú. Tuvo como objetivo estimar la Eficiencia Neta del bofedal de Huachipampa mediante la acumulación de Carbono. El diseño de la investigación fue de tipo descriptivo y no experimental, la población fue el bofedal del sector de Huachipampa y la unidad de muestra fue la biomasa terrestre, biomasa aérea y la turba descompuesta. La metodología consistió en ubicar cinco puntos de muestreo al azar, donde evaluó la productividad primaria y la descomposición de la turba, la productividad primaria lo evaluó con la diferencia de pesos de la biomasa terrestre que le permitió obtener una ecuación de regresión lineal en función al crecimiento de la vegetación, mientras que la evaluación de descomposición de la biomasa (turba) lo realizó mediante un Core. Finalmente, la Eficiencia Neta del Ecosistema lo halló mediante la diferencia entre la acumulación de biomasa y la descomposición de ésta. Todos los datos fueron registrados y trabajados en el Microsoft Office Excel. Los resultados de la Eficiencia Neta del bofedal presentaron un valor alto en la época húmeda en los puntos P-1, P-3, P-4 y P-5, el promedio de descomposición entre diciembre y febrero fue de  $1,66 \pm 1,0 \text{ g/cm}^2$  y  $1,32 \pm 0,86 \text{ g/cm}^2$ . En la época seca, registró mayor descomposición en el mes de mayo con un valor de  $1,17 \pm 0,85 \text{ g/cm}^2$ , en el mes de junio la descomposición fue menor con un valor de  $0,59 \pm 0,54 \text{ g/cm}^2$ . En conclusión, la Eficiencia Neta registró un valor bajo sólo en el P-2.

Sequeiros (2020) en la investigación evaluación del servicio ambiental de captura de carbono de los bofedales del centro poblado alto Perú, departamento de Tacna. Evaluó el bofedal que viene siendo amenazada por las actividades antrópicas como el sobrepastoreo y los proyectos

de transvase hídrico. Tuvo como objetivo estimar el carbono presente en la cobertura vegetal, turba y suelo orgánico. El diseño de investigación fue descriptivo, la población fue el bofedal del Centro Poblado alto Perú y la muestra fue la cobertura vegetal, turba y suelo. El trabajo inició con la recopilación de datos de imágenes del satélite Landsat 8, con el objeto de calcular el índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI). Luego el autor utilizó la metodología del Centro Mundial Agroforestal (2009) para recolectar muestras de cobertura vegetal, turba y suelo orgánico, finalmente en la fase de laboratorio realizó la determinación de la fracción de carbono, cuyos datos utilizó para el stock de carbono total. En los resultados, el autor registró 15,33 tC/ha en la cobertura vegetal, 26,20 tC/ha en la turba y 115,18 en el suelo orgánico, en total obtuvo 157,18 tC/ha en todo el bofedal. El autor indicó como conclusión que la mayor reserva de carbono se da en el suelo orgánico, y que un factor determinante es la densidad aparente del suelo, además, representa el 73,57 % del total entre los tres tipos de muestras.

León (2016) en el estudio sobre Reserva de carbono en bofedales y su relación con la florística y condición del pastizal, evaluó 9 bofedales en la época seca y húmeda, en las regiones de Ancash, Arequipa, Huancavelica y Puno. El objetivo de la investigación fue evaluar la composición de flora y estimar la cantidad de carbono almacenada en el suelo. La composición de flora fue evaluada a través del método Parker modificado por Flórez y Malpartida; en cambio, el porcentaje de materia orgánica fue evaluada con el método de Walkey y Black. Para el análisis de los datos utilizó la regresión lineal en el Microsoft Office Excel, donde evaluó la relación que existe entre la condición del bofedal con la cantidad y calidad de carbono almacenado en el suelo. El autor indicó como resultado que la composición de flora que estuvieron en su mejor condición fueron los bofedales de Puno, que fueron dominados por *Distichia muscoides* y *Plantago tubulosa*, la composición de flora de condición pobre fue registrado en los bofedales de Ancash, estos bofedales presentaron especies dominantes como *Aciachne acicularis* y *Carex crinalis*. En la estimación de carbono almacenado, el bofedal de Ancash registró mayor cantidad de carbono con 223 tC/ha y el bofedal de Puno registró la menor cantidad de carbono con 33 tC/ha. En conclusión, el autor expresó que encontró menor cantidad de carbono en los bofedales que tuvieron mayor vegetación palatable, es decir, las áreas con mayor pastoreo no capturaron carbono ya que el sobrepastoreo compacta el suelo y no permite el crecimiento de las plantas.

Medrano *et al.* (2012) en la investigación almacenamiento de carbono en especies predominantes de flora en el lago Chinchaycocha - Junín, tuvieron como objetivo evaluar la cantidad de carbono que secuestran las especies dominantes de flora del lago Chinchaycocha. La investigación fue de tipo básica (exploratoria – comparativa), para ello utilizaron la metodología de observación y el analítico, para la selección de las parcelas utilizaron el método de Cluster. Además, las áreas fueron definidas con ayuda de imágenes satelitales Landsat. El procedimiento estuvo basado en la recolección de muestras divididas en biomasa aérea y biomasa radicular, con el objeto de hallar el contenido de carbono de cada una. Como resultado, los autores registraron que en su biomasa aérea el *Plantago tubulosa* almacenó 0,81 t C/ha y en su biomasa radicular almacenó 1,88 t C/ha, el *Eleocharis albibracteata* en su biomasa aérea almacenó 0,22 tC/ha y 2,95 tC/ha en su biomasa radicular, y *Limosella australis* almacenó 0,22 tC/ha en su biomasa aérea y 0,38 tC/ha en su biomasa radicular. Registraron un total de 684,58 tC/ha de carbono almacenado en el suelo, este resultado fue menor a comparación de los datos registrados por Castro (2011) que reportó un estudio ejecutado en los bofedales de Oña – Yacuambi, donde registró una fijación de carbono de 889,36 tC/ha. Los autores llegaron a la conclusión de que el suelo del bofedal en el lago Chinchaycocha representa un importante sumidero de carbono pero que es afectada por el sobrepastoreo, contaminación y extracción de pastos.

Alvarado (2012) en la tesis Efectos Ambientales del Sistema de Trasvase de Agua del Proyecto Vilavilani I - Etapa en los Humedales Altoandinos de Tacna, tuvo como objetivo determinar la composición, cobertura vegetal y la producción de biomasa seca y verde. El estudio fue de tipo descriptivo, correlacional y explicativo. La población del estudio fueron los pastizales naturales de los humedales de la provincia de Candarave, la unidad de muestreo fue de 10 muestras por hectárea. Utilizó el método de transección al paso para la cobertura vegetal y para estimar la producción de biomasa seca y verde ejecutó el corte de vegetación superficial al azar con una varilla de 0,25 x 0,25 m<sup>2</sup>; el trabajo de evaluación de los pastizales fue ejecutado en la época de lluvias del 2012. Los resultados indicaron una composición vegetal de 36 especies vegetales con una cobertura vegetal del 80,35 %, las especies con mayor dominancia que registró fue *Distichia muscoides* seguido de *Alchemilla diplophylla*. Además, registró que la producción de materia verde fue de 1 858,43 kg/ha y la producción de materia seca fue de 577,34 kg/ha. En conclusión, el autor indicó que la

provincia de Candarave presentó una producción baja de materia verde porque el bofedal fue afectado por el trasvase de agua que se dirige a la minería.

## **1.2. Bases teóricas especializadas**

### **1.2.1. Las turberas**

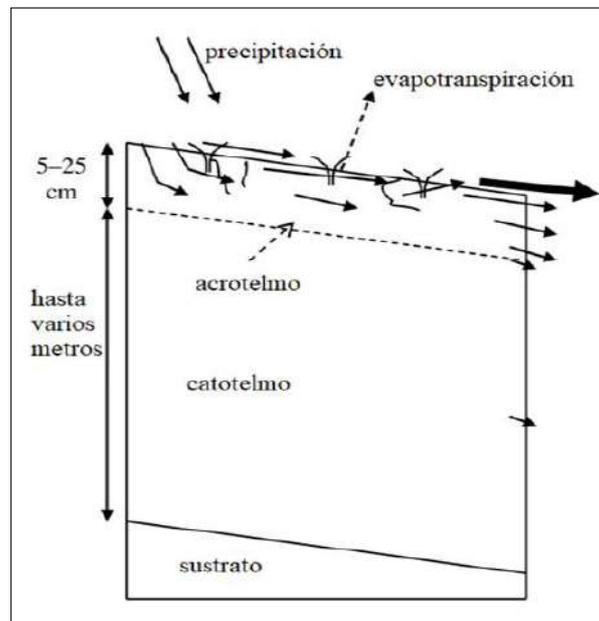
Las turberas son ecosistemas nativos de reducida extensión, su principal característica es contar con humedad permanente, vegetación verde y un elevado potencial productivo (Alzérreca, 1988). Mientras que Flórez (1991) señala que, un bofedal es un ecosistema que se desarrolla en condición húmeda donde alberga especies vegetales y animales.

Según el Ministerio del Ambiente [MINAM] (2015), estos ecosistemas se distribuyen a manera de parches compactos, se encuentran a partir de 3800 m s.n.m. en la región andina, principalmente en la zona sur y la zona central del país. Además, las turberas ocupan un área superficial aproximada de 549 156 ha (0,40 % de la superficie nacional).

Las turberas realzan su importancia en la habilidad para capturar grandes cantidades de agua; pueden acumular agua dulce en su interior que luego es liberada a los riachuelos cercanos de manera gradual previniendo sequías y aumentando la escorrentía aguas abajo (Holden, 2005).

Las turberas se desarrollan en terrenos planos o ligeramente inclinados, por lo general se encuentran en fondos de valle con un ingreso constante de agua (Joosten y Clarke, 2002). En las zonas altoandinas es posible encontrar pequeñas turberas en laderas con pendiente media, asociadas a manantiales. La estabilidad en la provisión de agua define una segregación vertical con dos horizontes claramente diferenciados (Holden, 2005), los cuales son:

- Al horizonte superior se le denomina Acrotelmo, en este horizonte se desarrolla diversos procesos aeróbicos como la descomposición de materia orgánica, transferencia de nutrientes, etc. (Figura 1).
- Al horizonte inferior se le denomina Catotelmo, es el que se encuentra permanentemente saturado de agua y con oxígeno muy reducido. En este estrato, la descomposición es anaeróbica.



*Figura 1. Acrotelmo y Catotelmo (Horizontes subterráneos). Fuente: Modificado a partir de Holden (2005).*

### **1.2.2. Los bofedales**

Son llamados también "oqonales", están localizadas en zonas altas y limitados a los suelos saturados o inundados de agua, que se presentan como pequeñas asociaciones de especies de plantas que tienen buen suministro de agua durante todo el año, cuyo origen en su mayoría es natural proveniente de manantiales, ríos u ojos de agua y algunos con riego artificial (Centro de Investigación y Promoción del Campesinado [CIPCA], 1998).

Según Quispe (2013), el bofedal es un ecosistema donde se desarrollan especies de plantas, animales y otros en altas condiciones de humedad. Además, los bofedales contribuyen en la protección del suelo, protección a la fauna silvestre, mejora de las condiciones físicas y químicas del suelo y a la protección del medio ambiente (Alzérreca, 1992).

Según la altitud, los bofedales estarían ubicados en la Cordillera de los Andes, en los pisos de vegetación alto Andino (4300 a 5000 m.s.n.m.), Puna húmeda superior (3900 a 4300/4400) y Puna húmeda inferior (3400-3900) (Ergueta y Aranda, 2010).

### **1.2.3. Tipos de bofedales**

Según Quispe (2013), existen dos tipos de bofedales, los bofedales hidromórficos que siempre están húmedos durante todo el año y los bofedales méxicos que están húmedos parte del año. Para Maldonado (2014) existe una clasificación más específica donde se detallan los cuatro tipos de bofedales existentes en el Perú:

#### **a. Turberas de *Distichia***

Esta comunidad vegetal de la puna se caracteriza por los cojines duros típicamente formados por especies del género *Distichia*, son comunidades con ausencia de arbustos, una baja frecuencia de musgos y pastos, y por lo general, la ausencia de *Sphagnum*; las turberas crecen principalmente en el centro y sur de Perú (Weberbauer, 1945).

Estas turberas en Perú tienen como especie dominante a *Distichia muscoides* Nees & Meyen (común en todo el Perú) y a *D. acicularis*, registrado en el norte del país. Asimismo, Ruthzatz (2012) menciona que es posible encontrar a *D. filamentosa* en Ancash, especie registrada en bofedales de Bolivia y Chile.

La experiencia de campo confirma que los musgos están presentes en cantidades mucho más pequeñas que especies de *Distichia*, y que las especies acompañantes son comunes a los distintos tipos de bofedales. *D. muscoides* Nees & Meyen es una especie deseable para el

pastoreo de alpacas, ovejas y llamas, y también es muy apetecible para los caballos. Al ser estas turberas una fuente de pasto son a menudo objeto de fuerte presión de pastoreo (Maldonado, 2014).

La mayoría de los bofedales de los Andes Centrales son Turberas de *Distichia* (Chimner *et al.*, 2019). Según Oyague (2020), esto implica una condición particular para la ciencia relacionada a su conservación y el estudio de sus servicios ecosistémicos. Siendo que las especies de *Distichia* tienen una capacidad muy superior a otras plantas formadoras de turba para acumular carbono (Hribljan *et al.*, 2015).

#### **b. Turberas con musgos y arbustos**

Este tipo de bofedal no es común en el Perú, aunque crecen en el este y norte del país, está asociado con áreas de páramo y jalca. Se caracteriza por una abundancia de musgos, especialmente de las especies de *Sphagnum*, y arbustos ericáceos dispersos (Cooper *et al.*, 2010).

#### **c. Prados turbosos**

Las comunidades de praderas de turba se caracterizan por la presencia de especies de la familia Poaceae y la ausencia de *Sphagnum*, estas especies se desarrollan en las laderas andinas occidentales en todo el Perú. Las especies vasculares dominantes son típicamente de las familias i) Cyperaceae con los géneros *Carex*, *Eleocharis*, *Phylloscirpus* y *Scirpus*; ii) Juncaceae con los géneros *Juncus* y *Luzula* y iii) Gramineae con los géneros *Festuca* y *Calamagrostis*. Esta comunidad, debido principalmente a la abundancia de especies de las familias Cyperaceae y Juncaceae, se constituyen en áreas dedicadas al pastoreo, aunque la calidad del forraje varía con la composición específica de la vegetación en cada sitio (Maldonado, 2014).

#### **d. Césped de arroyo**

El pastizal de arroyo se caracteriza por la presencia de especies de bajo tamaño, que forman una alfombra. Están ubicados generalmente en las riberas de los ríos y alrededor de otras fuentes de agua, o en áreas con alta humedad. Como pradera de turba, no tienen la especie *Sphagnum* y se encuentran en los paisajes interandinos y en las laderas de los Andes occidentales en todo el país (Weberbauer, 1945).

#### **1.2.4. Flora y ecología de los bofedales**

A la parte vegetativa de los bofedales se les denomina vegetales hidrofíticos, compuestos principalmente por especies de juncos como por ejemplo *Distichia*, *Oxychloe* y *Patosia*, que son los géneros dominantes que se encuentran en los Andes tropicales y subtropicales del sur de Perú y Bolivia, además, que está presente también en el norte de Chile y noreste de Argentina (La Matta, 2017).

#### **1.2.5. La materia orgánica del suelo**

Es una mezcla de sustancias orgánicas incorporadas al suelo, las cuales contienen carbono en mayor porcentaje. La materia orgánica incluye residuos de plantas y animales en varios estados de descomposición como; residuos de plantas caídas, microorganismo y microflora en descomposición y humus (Alegre *et al.*, 2014).

#### **1.2.6. Importancia de los bofedales**

##### **A) Sociocultural**

La restricción de los bofedales con suelos húmedos para otras actividades hizo que se desarrollara una cultura pastoril por más de 3000 años, para combatirlo se debe generar planes de manejo y gestión (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo [PNUD], 2001).

## **B) Económica**

Los bofedales complementan las actividades pastoriles que benefician a los ganaderos con la venta de sus animales en carne, cuero, etc. (Cardozo, 1996).

## **C) Ecológica**

Los bofedales limitan la actividad de agricultura, pero ofrecen hábitats y nichos para el desarrollo de especies de flora y fauna que tienen una influencia definitiva en el microclima local (PNUD, 2001).

### **1.2.7. Acumulación de Carbono en Suelos de bofedales (turba)**

El ciclo del carbono se da en el suelo, es por ello la importancia que tiene un bofedal para capturar el CO<sub>2</sub> y almacenarlo en forma de carbono. Según Neill *et al.* (1998), la cantidad de carbono orgánico que existe en los suelos de todo el mundo es de 1500 Pg, cerca de 2,1 veces más que de lo que existe en la atmósfera y, cerca de 2,7 veces más de lo que existe en las plantas de la tierra. Además, Collins y Kuehl (2000) mencionan que la descomposición de la materia orgánica en los bofedales es baja por las condiciones anaerobias, en consecuencia, el almacenamiento de carbono es alto.

Los bofedales tienen la capacidad de capturar y almacenar carbono atmosférico en el suelo, ya que todo depende de cuán saturado esté el suelo de agua. La tasa de ingreso y salida de compuestos que contienen carbono depende mucho de la relación que hay entre el espesor del catotelmo y el acrotelmo, además de la productividad primaria, respiración y descomposición (Holden, 2005; Benavides *et al.*, 2013).

Así también, es importante determinar el proceso temporal de un ecosistema, esto ayuda conocer si el ecosistema tiene una eficiencia neta positiva o negativa, es decir, determina si el suelo almacena o no carbono, y si no lo hace, todo lo que captura lo descompone y lo libera en forma de CO<sub>2</sub> (Chimner *et al.*, 2002).

### **1.2.8. Producción Primaria**

La productividad primaria en los bofedales está determinada por las condiciones climáticas, las especies de vegetación y la cantidad de agua disponible (Mistch y Gosselink, 2000). En algunos humedales naturales de las zonas tropicales se han estimado productividades primarias de más de 10 Mg C ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>, las cuales son altas comparadas con las productividades primarias de la selva (8,5 Mg C ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>) y los bosques tropicales (6 Mg C ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>) (Neue *et al.*, 1997).

### **1.2.9. Eficiencia Neta del Ecosistema**

La eficiencia neta del ecosistema (ENE) es influenciada por la disponibilidad de agua y su estabilidad en el tiempo, así mismo, determina si tiene la capacidad para capturar carbono y almacenarlo en el suelo como turba, o si actúa como una fuente, lo libera en forma de CO<sub>2</sub> o CH<sub>4</sub> (Holden, 2005). Por el contrario, los bofedales en las que la profundidad del acrotelmo varía a lo largo del año, la descomposición suele ser mayor que la de productividad primaria, y pasa de ser un sistema de captura de carbono a uno de liberación (Oyague, 2020).

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

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

La investigación fue de nivel descriptivo y explicativo. Según Hernández *et al.* (2006), el objetivo de los diseños descriptivos es investigar el acontecimiento de las características de una o más variables en una población. Fue explicativo porque detalló los procesos de acumulación y descomposición de biomasa de las comunidades vegetales en el bofedal sector Moyobamba.

Con respecto al diseño, la presente investigación fue no experimental, según Hernández *et al.* (2006), en este diseño no se realiza la manipulación de las variables, solo se representa en su ambiente natural para luego analizarlos. La investigación tuvo por objeto central la medición precisa de las variables en una población definida.

### **2.2. Lugar y fecha**

El área de estudio se encuentra en el sector de Moyobamba, dentro de la Reserva Paisajística Nor Yauyos Cochas (Figura 2), en el distrito de Canchayllo, provincia de Jauja, departamento de Junín (Figura 3). El bofedal se encuentra a 4681 m s.n.m., a 5,1 km al este del Nevado Pariacaca, sus coordenadas son: 11°98'45.5'' S y 75°93'74.2'' O, el bofedal del sector Moyobamba tiene un área aproximada de 0,6 km<sup>2</sup>, destinada por la Comunidad Campesina de Tanta para ser una reserva de pastos para su ganado (ovejas y vacas). La investigación se condujo en un periodo de tiempo que cubrió la época seca y la época lluviosa, en cinco intervalos que se inició en junio del 2018 y concluyó en enero del 2019.

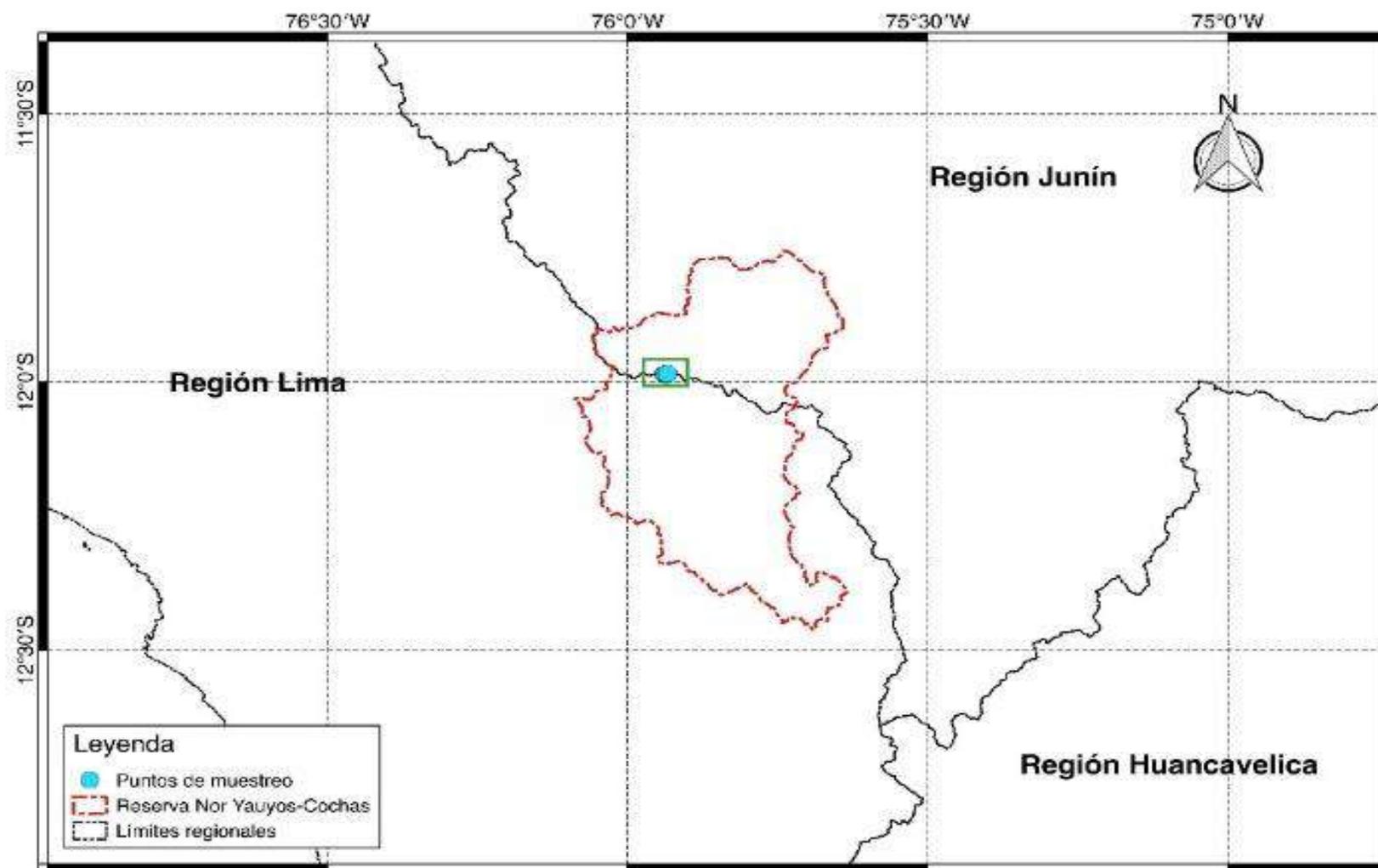


Figura 2. Ubicación del área de estudio en la Reserva Paisajística Nor Yauyos Cochás. Fuente: Elaboración propia.

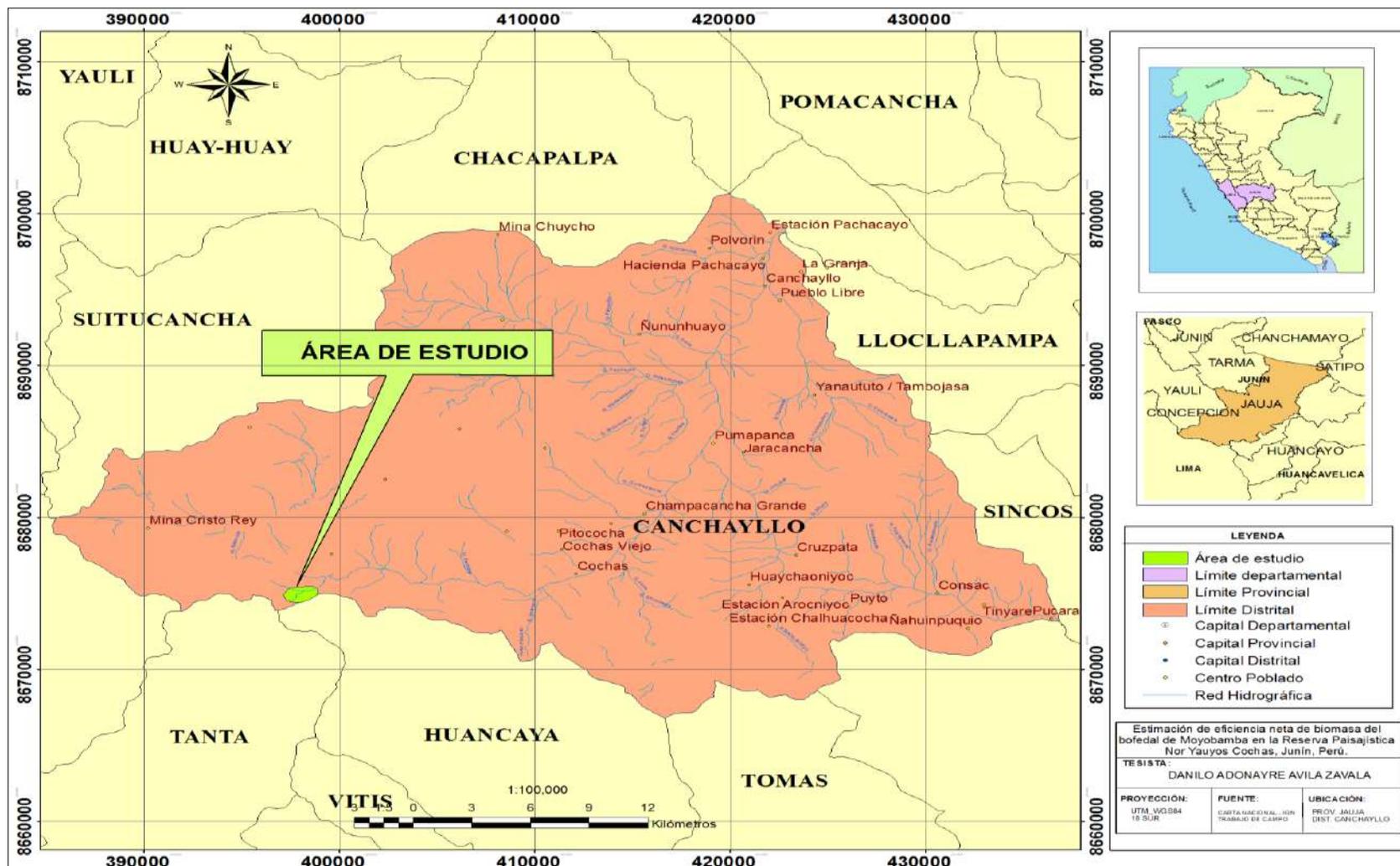


Figura 3. Mapa de ubicación del área de estudio. Fuente: Elaboración propia.

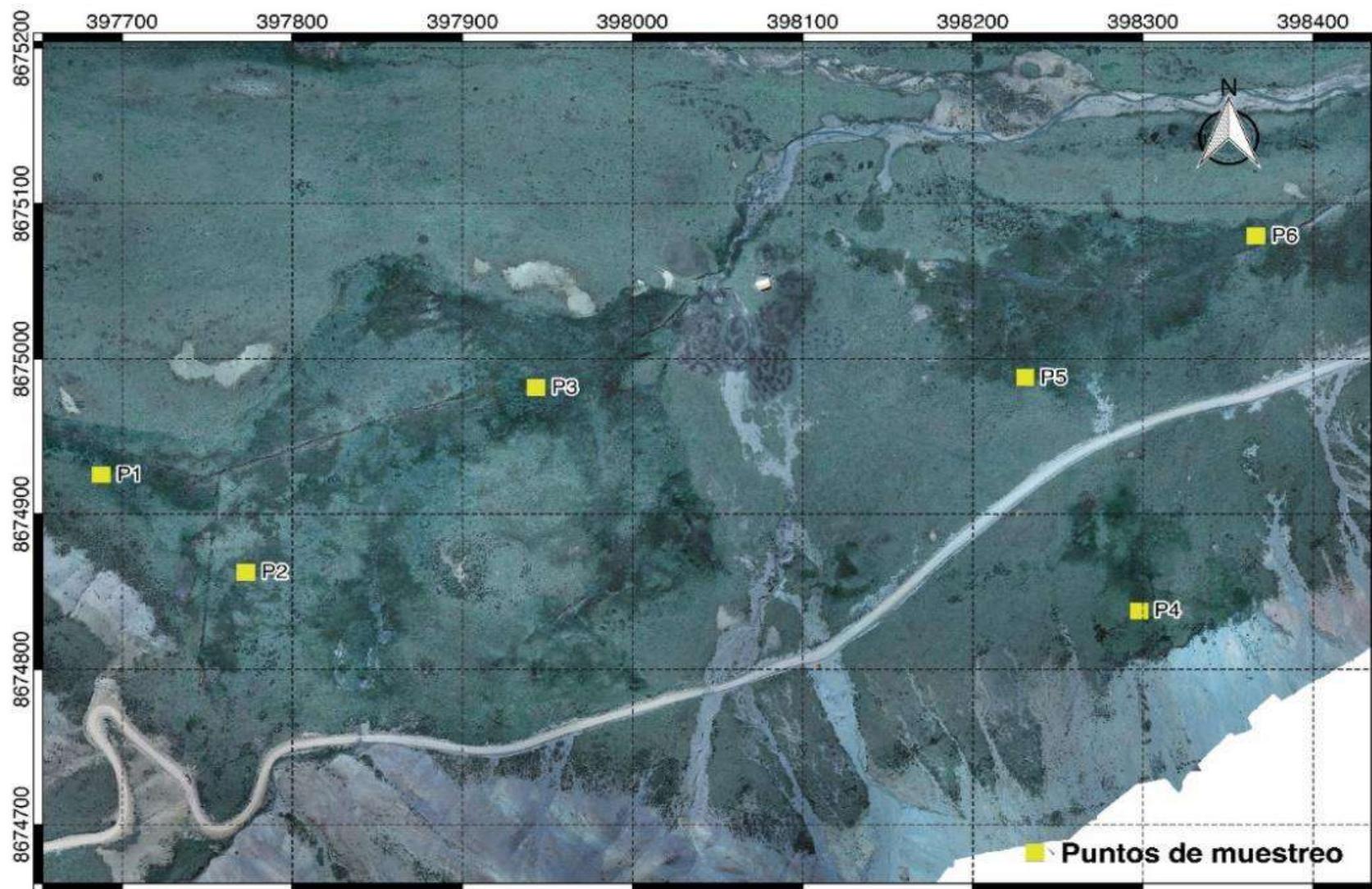


Figura 4. Ubicación de los 6 puntos de muestreo desde la vista satelital. Fuente: Elaboración propia.

La Figura 5 muestra el mapa de ubicación de los 6 puntos de muestreo con sus respectivas coordenadas que se encuentra dentro del sector de Moyobamba, también se puede apreciar la red hidrográfica de la quebrada Ninabamba que pasa por medio del bofedal.

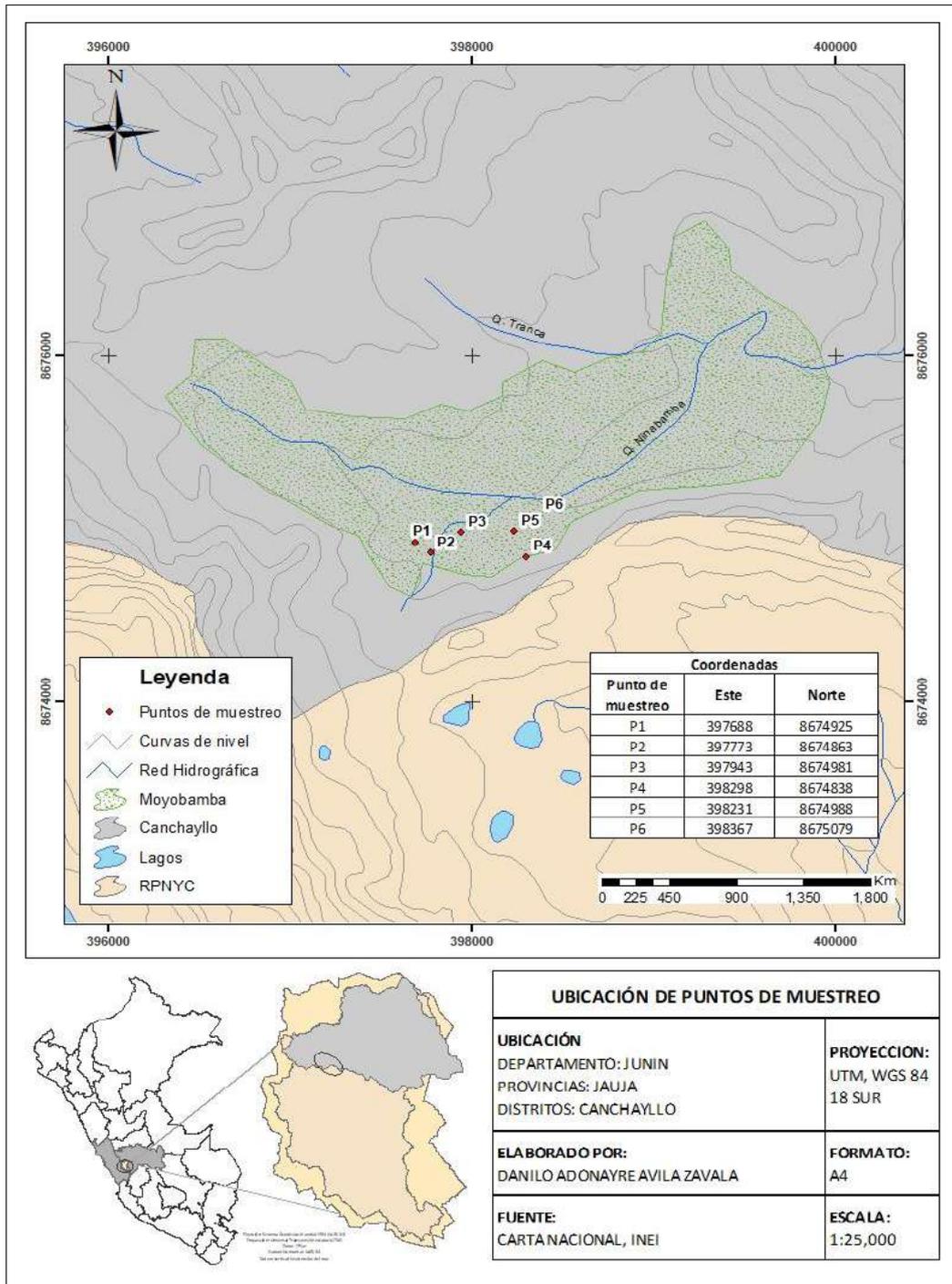


Figura 5. Mapa de ubicación de los 6 puntos de muestreo en el sector de Moyobamba.  
Fuente: Elaboración propia.

### 2.3. Población y muestra

La población evaluada es el bofedal del sector Moyobamba, según Hernández *et al.* (2006), la población es el conjunto de todos los casos que concuerdan con determinadas especificaciones. La muestra corresponde a los seis puntos de muestreo al azar mediante la previsualización de las comunidades vegetativas homogéneas, donde se colectó cinco núcleos de turba por punto, hasta una profundidad de 50 cm, cada uno de estos núcleos fue dividido en cinco niveles de 10 centímetros de espesor cada uno. Según Hernández *et al.* (2006), una muestra es un subgrupo representativo de la población del cual se recolectan los datos.

### 2.4. Descripción de la investigación

Para desarrollar la estimación de la eficiencia neta del ecosistema basada en biomasa (ENEb), se adaptó las metodologías propuestas por Muñoz (2020), Oyague (2020), Cooper *et al.* (2015) y Roberts *et al.* (1993).

La Eficiencia Neta del Ecosistema (ENE) del bofedal del sector Moyobamba se evaluó mediante la acumulación de Carbono basada en la biomasa, donde ENE es el resultado de la diferencia entre la productividad primaria (PP) y la suma de pérdidas, representada por la respiración (R) mediante la fotosíntesis y la descomposición (D) de la turba. A continuación, se presenta la siguiente ecuación:

$$ENE = PP - (R + D)$$

Donde:

ENE = Eficiencia Neta del Ecosistema (g/cm<sup>2</sup>)

PP = Productividad Primaria (g/cm<sup>2</sup>)

R = Respiración mediante la fotosíntesis (g/cm<sup>2</sup>)

D = Descomposición de la turba (g/cm<sup>2</sup>)

### **2.4.1. Estimación de Productividad Primaria (PP)**

#### **A. Identificación de comunidades vegetales**

Se identificó diferentes comunidades vegetales dentro del área del bofedal, el objetivo fue delimitar áreas con cobertura homogénea que permitan optimizar la ubicación de los puntos de muestreo. Para tal fin se adaptó las metodologías propuestas por Muñoz (2020) y Oyague (2020).

El bofedal del sector Moyobamba presentó diferentes comunidades vegetales que se encontraron divididos geográficamente por la existencia de canales de drenaje y áreas secas, además el área fue erosionada por incremento de los cauces en temporadas de lluvia, de la misma forma, el bofedal fue afectado por la intervención antrópica con sobrepastoreo.

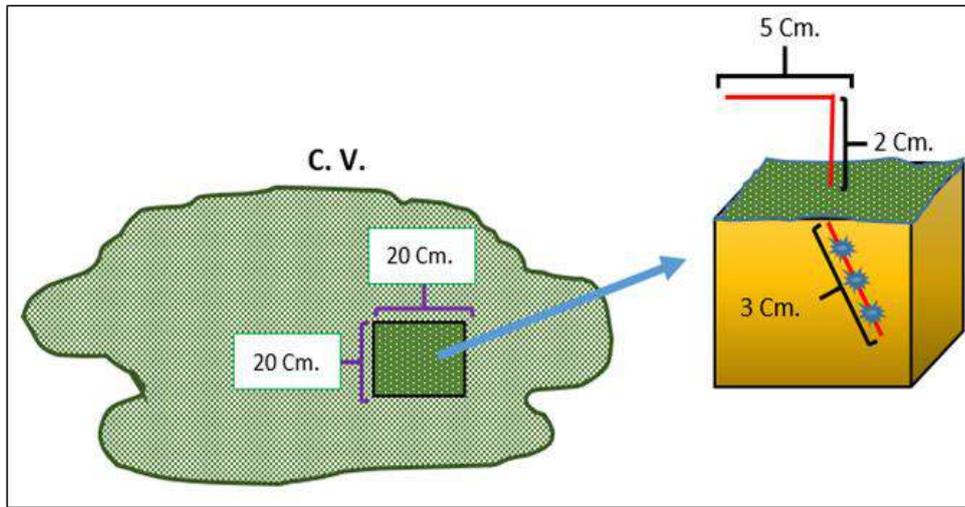
Con el objetivo de abarcar toda el área de investigación, se determinó seis puntos de monitoreo, estos puntos se eligieron teniendo en cuenta la homogeneidad y peculiaridad de cada comunidad vegetal.

#### **B. Estimación del crecimiento de la vegetación aérea**

Se realizó el monitoreo de crecimiento de la biomasa aérea que abarca la época seca y húmeda en 5 tiempos (junio, julio, setiembre, noviembre y enero), con el objetivo de determinar los gramos de acumulación de biomasa por centímetro de crecimiento vegetal. La metodología se adaptó a la de Muñoz (2020) y Cooper *et al.* (2015) de la siguiente manera:

- a) Al lado de la parcela de colecta de muestras, se podó un área superficial de 20 x 20 cm para contar con un nivel de referencia y medir periódicamente el crecimiento (Figura 6).
- b) Se cortó alambres de 10 centímetros de longitud, de los cuales 3 cm se implantaron en medio del área podada y 7 cm quedó en la superficie (2 cm se marcó a cada centímetro y 5 cm se dobló para evitar daños a externos) (Figura 7).

c) La unidad de medida se registró en centímetros (cm).



*Figura 6.* El gráfico muestra que una comunidad vegetal (C. V.) donde se evaluó dos parcelas de 20 x 20 cm, y la instalación de alambres aérea y subterránea. *Fuente:* Adaptado de Muñoz (2020)



*Figura 7.* Instalación del alambre para medir el crecimiento en época seca y húmeda. *Fuente:* Elaboración propia.

### **C. Determinación de la biomasa terrestre a cada centímetro de profundidad**

Se utilizó el método de Producción Primaria (PP), con el objeto de determinar la biomasa presente a cada centímetro de profundidad de turba acumulada en cada comunidad vegetal. La metodología se adaptó de Roberts *et al.* (1993) y se ejecutó de la siguiente manera:

Primero, se extrajo un parche de 20 x 10 cm hasta una profundidad de 10 cm por cada punto de muestreo y se dividió en subparches de 4 x 4 cm. Luego se fraccionó el cubo muestreado de 4 x 4 cm desde 1 a 10 cm de profundidad (Figura 8). Posteriormente, las muestras se llevaron al laboratorio para ser secadas a 105 °C por 12 horas, una vez frías, se registró el peso seco para aplicar en la fórmula de Muñoz (2020). A continuación, se presenta la fórmula para hallar la biomasa terrestre:

$$B = \frac{Ps}{a}$$

Donde:

B: Biomasa (g/cm<sup>2</sup>)

Ps: Peso seco (g)

a: Área sub parcela (cm<sup>2</sup>)

Con estos datos se desarrolló una regresión lineal ( $y = a x + b$ ) por cada punto de muestreo, para estimar la tasa de acumulación de la biomasa aérea. Asimismo, con el objetivo de hallar la regresión lineal se procesaron los datos en función del área de las subparcelas y los puntos de muestreo, a diferentes profundidades y un volumen constante (Roberts *et al.*, 1993).

Según Muñoz (2020), los cortes de piezas regulares de las capas superficiales de materia orgánica a cada centímetro de profundidad (1 – 10 cm) permite hacer una regresión lineal que relaciona la biomasa con el crecimiento vegetal.

Regresión lineal:

$$Y = ax + b$$

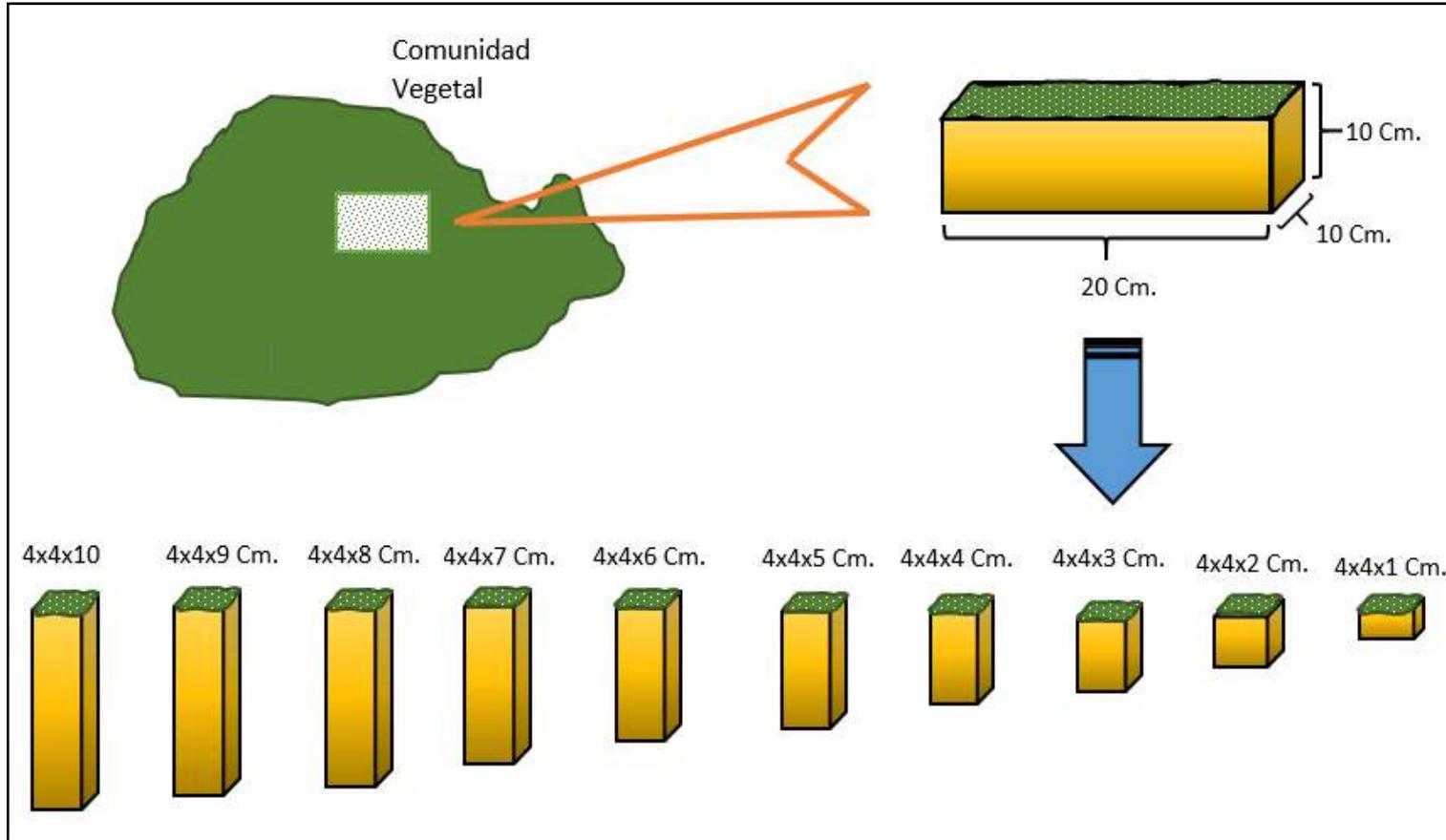
Donde:

Y: Biomasa g/cm<sup>2</sup>

x: Longitud de crecimiento (cm)

a: constante obtenido a partir de la función de ajuste (g/cm<sup>2</sup>)

b: constante obtenido a partir de la función de ajuste (g/cm<sup>2</sup>)



*Figura 8.* Muestra de una parcela de 20 x 10 cm. donde cada cubo se dividió en subparcelas de: 4 x 4 cm. a profundidades de 1-10 cm. *Fuente:* Adaptado de Muñoz (2020).

## 2.4.2. Estimación de la descomposición de turba

El muestreo se realizó mediante la extracción de núcleos de turba con el barreno box core tipo espada. Según Muñoz (2020), esta metodología sirve para determinar el peso seco de la turba. Con estos datos se determinó si aumenta o disminuye el peso seco de la biomasa (turba) abarcando la época seca y húmeda, el cual mostró la condición del bofedal basado en la descomposición de la turba a cada 10 cm de profundidad. En total se extrajeron 30 núcleos de turba en los seis puntos de muestreo, cinco núcleos en cada punto. La metodología se adaptó de Muñoz (2020) y Roberts *et al.* (1993).

La metodología adaptada se ejecutó de la siguiente manera:

- A. Se extrajo la turba con el barreno box core tipo espada a una profundidad de 60 cm por dos pulgadas de diámetro. Se descartó los 10 primeros centímetros de corteza vegetal y los 50 centímetros restantes se dividió cada 10 centímetros para un mejor traslado y secado. Luego de la extracción, las muestras de turba se colocaron en bolsas ziploc *in situ* en forma ordenada (Figura 9).

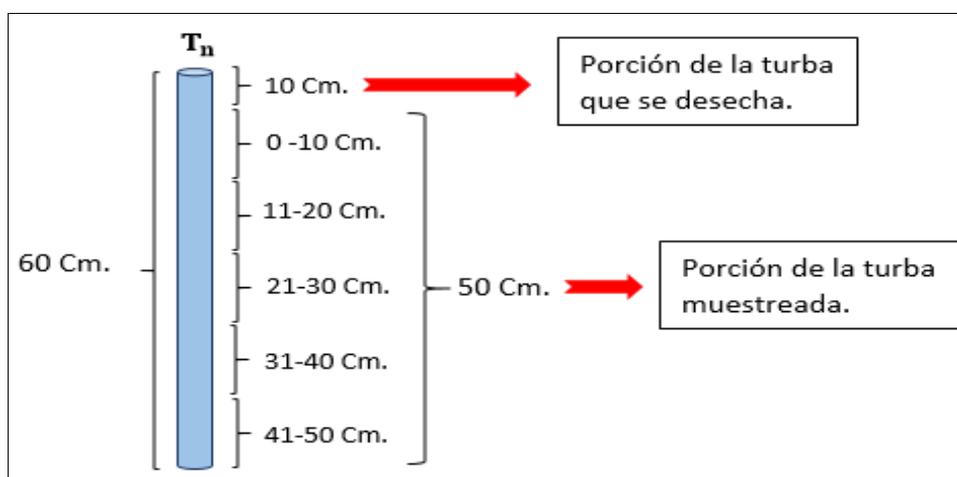


Figura 9. Profundidad del núcleo de turba en todos los puntos de muestreo. Fuente: Adaptado de Muñoz (2020).

La extracción de la turba dejó agujeros en toda el área, en ellos se introdujo tubos PVC de dos pulgadas de diámetro y 70 cm de profundidad, la superficie fue sobresaliente de 10 centímetros con el fin de que no se cierre el agujero de donde se extrajo la turba (Figura 10).



Figura 10. Tubos PVC de dos pulgadas insertadas en cada punto de muestreo. Fuente: Elaboración propia.

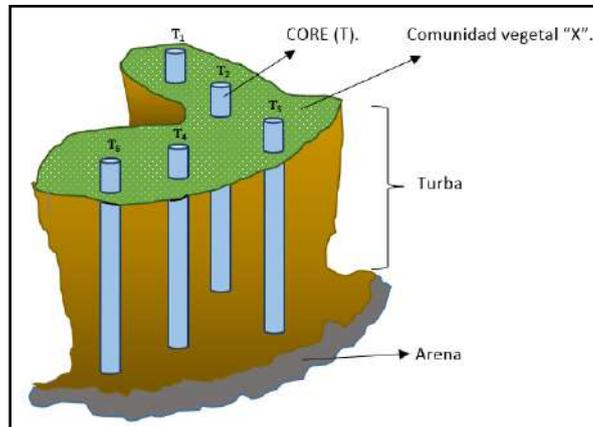


Figura 11. Comunidad vegetal “x”, en cada punto de muestreo. Fuente: Muñoz (2020).

B. Las muestras se trasladaron al laboratorio para secarlas en una estufa eléctrica a una temperatura de 105 °C por 12 horas, las muestras fueron empacadas en papel aluminio para optimizar el secado (Figura 12).



Figura 12. Secado de muestras en la estufa eléctrica. Fuente: Elaboración propia.

- C. Las muestras se pesaron con una balanza analítica (Figura 13) y el resultado se registró en el Excel.



*Figura 13.* Registro del peso seco de las muestras. *Fuente:* Elaboración propia.

- D. Las muestras de cada núcleo se colocaron en bolsas de malla nylon para ser reinstaladas en los mismos agujeros de donde se extrajeron, se tuvo en cuenta el mismo orden de extracción (Figura 14).



*Figura 14.* Reinstalación de las muestras secas a cada punto de muestreo. *Fuente:* Elaboración propia.

- E. Después de haber sido instalados las muestras, se retiró periódicamente un núcleo de cada comunidad vegetal en cinco tiempos (junio, julio, setiembre, noviembre y enero) con el objetivo de abarcar los meses de lluvias y los meses de estiaje. Las muestras extraídas de cada punto fueron pesadas y registradas para su posterior comparación con el peso seco inicial.

La descomposición de la biomasa se adaptó a la fórmula empleada por Muñoz (2020) y Cooper *et al.* (2015), que es igual a la diferencia entre el peso inicial menos el peso de evaluación final. A continuación, se presenta la siguiente fórmula:

$$D = P_i - P_{ef}$$

Donde:

D = Descomposición (g)

P<sub>i</sub> = peso inicial (g)

P<sub>ef</sub> = peso de evaluación final (g)

### 2.4.3. Estimación de la Eficiencia Neta del Ecosistema

En la Figura 15 se expresa la fórmula de la estimación de la eficiencia neta del ecosistema, donde se determinó que la acumulación de biomasa será igual a la ganancia (Biomasa aérea = Crecimiento) menos la sumatoria de pérdida de biomasa (descomposición) de cada núcleo de turba entre el área del diámetro del barrenado.

$Ac = G - \sum \left( \frac{Ps}{a} \right)$	<p><b>Donde:</b>          Ac = Acumulación de un estrato "n".          G = Ganancia          Ps = Pérdida de sustrato (Gramos)          A = Área del barrenado (cm<sup>2</sup>)</p>
---	---

Figura 15. Fórmula de la acumulación de un sustrato en términos de pérdida o ganancia de biomasa. Fuente: Adaptado de Muñoz (2020).

De esa forma se determinó la cantidad de biomasa acumulada en cada punto de muestreo por cada comunidad vegetal. Cuando:

Ac > 0 = El sistema está ganando biomasa y por ende acumulando carbono.

Ac < 0 = El sistema está perdiendo biomasa y por ende perdiendo carbono.

Sabiendo que:

PPN (Productividad primaria neta) = ENE (Eficiencia neta del ecosistema)

ENE = PP – (Descomposición).

## 2.5. Identificación de variables y su mensuración

La variable del estudio fue la eficiencia neta del ecosistema, que se dividió en dos dimensiones: Ingreso o ganancia de biomasa y pérdida o descomposición de biomasa. Los detalles se visualizan en la Tabla 1.

Tabla 1

*Variables de la investigación*

VARIABLES	DIMENSIONES	SUBDIMENSIONES	INDICADOR	UNIDAD DE MEDIDA
<b>EFICIENCIA NETA DE BIOMASA</b>	Ingreso o ganancia de biomasa	Biomasa	Cantidad de biomasa que ingresa	g/cm <sup>2</sup>
		Materia orgánica	Materia orgánica acumulada en forma de turba	g/cm <sup>2</sup>
		Comunidad vegetal	Crecimiento vegetal	cm
	Pérdida o descomposición de biomasa	Biomasa	Cantidad de biomasa descompuesto	g/cm <sup>2</sup>
		Materia orgánica	Reducción de materia orgánica	g/cm <sup>2</sup>
		Comunidad vegetal	Crecimiento vegetal	cm

*Fuente:* Elaboración propia.

## 2.6. Análisis estadístico de datos

Los datos recopilados fueron registrados en una hoja de cálculo de Excel de Windows.

## 2.7. Materiales

- 1 rollo de papel fill
- 1 rollo de papel aluminio
- 1 GPS
- 1 par de botas de jebe
- 1 pala de metal
- 2 plumones indelebles
- 2 Cintas de embalaje
- 1 wincha de 50 m
- 2 tijeras de Podar
- 2 libretas de campo
- 1 cámara fotográfica
- 1 paquete de bolsas de polietileno
- 1 box Core tipo espada (barreno)
- 1 cooler
- 1 balanza analítica
- 1 estufa
- 6 tubos pvc de 2 pulgadas
- 1 m de alambre metálico
- 2 m<sup>2</sup> de malla

## CAPÍTULO III: RESULTADOS

### 3.1. Resultados de la Productividad Primaria Neta (PPN)

#### a) Identificación de comunidades vegetales

Se realizó la identificación vegetal en los seis puntos de muestreo, las especies dominantes fueron *Distichia muscoides* Nees & Meyen (Juncaceae) y *Lachemilla diplophylla*, (Diels) Rothm (Rosaceae), excepto en el punto 5, donde se registró las especies como dominantes a *Cinnagrostis vicunarum* (Wedd.) P.M. Peterson, Soreng, Romasch. & Barberá (Poaceae) y *Aciachne pulvinata*, (Bentham), estas especies no son exclusiva de bofedales, pero sí de césped de puna; por lo tanto, al encontrarse como dominantes, algunas áreas del bofedal está cambiando en su composición florística asemejándose a césped de puna (Tabla 2).

Tabla 2

*Especies dominantes en cada punto de muestreo*

Puntos de muestreo	Familia	Género
Punto 1	Juncaceae	<i>Distichia muscoides</i> , Nees & Meyen
	Rosaceae	<i>Lachemilla diplophylla</i> , (Diels) Rothm
	Plantaginaceae	<i>Plantago tubulosa</i> Decne
Punto 2	Juncaceae	<i>Distichia muscoides</i> , Nees & Meyen
	Plantaginaceae	<i>Plantago tubulosa</i> , Decne
	Rosaceae	<i>Lachemilla diplophylla</i> , (Diels) Rothm
Punto 3	Juncaceae	<i>Distichia muscoides</i> , Nees & Meyen
	Rosaceae	<i>Lachemilla diplophylla</i> , (Diels) Rothm
	Asteraceae	<i>Hypochaeris taraxacoides</i> , (Meyen & Walp.)
Punto 4	Juncaceae	<i>Distichia muscoides</i> , Nees & Meyen
	Rosaceae	<i>Lachemilla diplophylla</i> , (Diels) Rothm
Punto 5	Poaceae	<i>Cinnagrostis vicunarum</i> (Wedd.) P.M. Peterson, Soreng, Romasch. & Barberá
	Poaceae	<i>Aciachne pulvinata</i> , Bentham
	Asteraceae	<i>Hypochaeris taraxacoides</i> , (Meyen & Walp.)
Punto 6	Juncaceae	<i>Distichia muscoides</i> , Nees & Meyen
	Asteraceae	<i>Hypochaeris taraxacoides</i> , (Meyen & Walp.)
	Rosaceae	<i>Lachemilla diplophylla</i> , (Diels) Rothm

Fuente: Elaboración propia.

## b) Crecimiento de la vegetación aérea

Se registró la medida de crecimiento en centímetros de la vegetación aérea de todos los puntos de monitoreo, las mediciones se realizaron en época seca y húmeda en cinco tiempos (junio, julio, setiembre, noviembre y enero). En la Tabla 3 se observa el crecimiento de la vegetación, siendo que, en la época seca el crecimiento fue lento con un mínimo de 0,2 cm y un máximo de 0,4 cm, en la época húmeda tuvo un crecimiento máximo de 0,7 cm en los puntos número uno y número cuatro, estos puntos tuvieron el ingreso constante de agua durante todo el período de evaluación. El crecimiento mínimo de esta época fue de 0,4 cm en los puntos dos y cinco, estos puntos no tuvieron el ingreso de agua todo el año, sólo en la época húmeda.

Tabla 3

*Crecimiento de la vegetación aérea en los 6 puntos de monitoreo*

MESES DE MONITOREO	PUNTO 1 (cm)	PUNTO 2 (cm)	PUNTO 3 (cm)	PUNTO 4 (cm)	PUNTO 5 (cm)	PUNTO 6 (cm)	
SECA	Junio	0,2	0,1	0,1	0,2	0,1	0,2
	Julio	0,3	0,1	0,2	0,3	0,1	0,3
	Setiembre	0,4	0,2	0,3	0,4	0,2	0,3
HÚMEDA	Noviembre	0,6	0,3	0,5	0,6	0,3	0,4
	Enero	0,7	0,4	0,6	0,7	0,4	0,5

*Fuente:* Elaboración propia.

## c) Resultados del peso seco a cada centímetro de profundidad

En la Tabla 4 se aprecia el peso seco de las muestras de los cubos que van de 1 cm a 10 cm de profundidad, en la cual, se determinó el peso seco a cada centímetro de profundidad dividiendo los datos entre el área de la muestra con el objetivo de homogenizar las unidades a  $g/cm^2$ , esto se realizó en los seis puntos de muestreo, esta homogeneización se visualiza en la Tabla 5. Los datos obtenidos expresaron correlación de secuencia ascendente a cada centímetro de profundidad, los cuales se utilizaron para generar la ecuación alométrica “y” detallados en la Tabla 6.

Tabla 4

*Registro de peso seco de cubos de 16 cm<sup>2</sup> hasta 10 cm de profundidad de cada punto de monitoreo*

<b>PROFUNDIDAD (cm)</b>	<b>PUNTO 01 (g)</b>	<b>PUNTO 02 (g)</b>	<b>PUNTO 03 (g)</b>	<b>PUNTO 04 (g)</b>	<b>PUNTO 05 (g)</b>	<b>PUNTO 06 (g)</b>
<b>1</b>	2,61	1,28	3,13	2,63	1,94	2,52
<b>2</b>	3,64	2,10	5,39	3,50	5,47	4,23
<b>3</b>	5,15	4,56	6,23	4,65	8,02	6,20
<b>4</b>	7,20	5,97	8,90	5,63	11,20	9,25
<b>5</b>	9,33	7,88	11,23	6,83	19,04	11,36
<b>6</b>	10,52	9,76	13,45	8,13	20,24	12,33
<b>7</b>	12,67	12,78	15,08	12,62	23,27	15,02
<b>8</b>	15,24	13,41	17,40	14,35	26,17	17,08
<b>9</b>	22,88	16,37	21,60	17,77	27,14	21,04
<b>10</b>	33,29	20,55	25,04	24,22	35,02	26,41

*Fuente:* Elaboración propia.

Tabla 5

*Registro del peso seco entre el área del cubo para determinar el peso seco a cada centímetro de profundidad en cada punto de monitoreo*

<b>PROFUNDIDAD (cm)</b>	<b>PUNTO 01 (g/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>PUNTO 02 (g/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>PUNTO 03 (g/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>PUNTO 04 (g/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>PUNTO 05 (g/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>PUNTO 06 (g/cm<sup>2</sup>)</b>
<b>1</b>	0,16	0,08	0,20	0,16	0,12	0,16
<b>2</b>	0,23	0,13	0,34	0,22	0,34	0,26
<b>3</b>	0,32	0,29	0,39	0,29	0,50	0,39
<b>4</b>	0,45	0,37	0,56	0,35	0,70	0,58
<b>5</b>	0,58	0,49	0,70	0,43	1,19	0,71
<b>6</b>	0,66	0,61	0,84	0,51	1,27	0,77
<b>7</b>	0,79	0,80	0,94	0,79	1,45	0,94
<b>8</b>	0,95	0,84	1,09	0,90	1,64	1,07
<b>9</b>	1,43	1,02	1,35	1,11	1,70	1,32
<b>10</b>	2,08	1,28	1,57	1,51	2,19	1,65

*Fuente:* Elaboración propia.

La Productividad Primaria (PP) es el resultado de la biomasa aérea, para ello se utilizó la ecuación alométrica “y” en el Microsoft Office EXCEL a partir de los datos del peso seco de los cubos de la tabla 5, los resultados de la ecuación se detallan en la Tabla 6 y el desarrollo se puede apreciar en el Apéndice 1. El objetivo de la ecuación fue obtener una constante “x” para cada mes de muestreo, esta constante se reemplazó con los datos de crecimiento de la vegetación aérea de la Tabla 3, así se logró homogenizar la unidad de medida en g/cm<sup>2</sup>. Finalmente, la ecuación determinó que  $y = \text{Constante}$  y  $\text{Constante} = \text{PP}$ , este resultado al final se reemplazó en la fórmula de Eficiencia Neta del Ecosistema (ENE) =  $\text{PP} - (\text{Respiración} + \text{Descomposición} + \text{Herbivoría})$ , donde ENE es igual a la biomasa que gana menos la biomasa que pierde. El resultado de esta fórmula estableció la cantidad de biomasa que está ganando o perdiendo el bofedal del sector Moyobamba, si el resultado es mayor que cero entonces el bofedal está ganando biomasa, en consecuencia, está capturando carbono (C), si el resultado es menor que cero entonces el bofedal está perdiendo biomasa y en consecuencia no está capturando carbono.

Tabla 6

*Ecuación generada a partir del resultado del peso seco de los cubos*

PUNTOS DE MUESTREO	ECUACIÓN
PUNTO 1	$y = 0,0258x^2 - 0,1026x + 0,3361$ $R^2 = 0,958$
PUNTO 2	$y = 0,0055x^2 + 0,0685x + 0,0041$ $R^2 = 0,9913$
PUNTO 3	$y = 0,0068x^2 + 0,0719x + 0,1393$ $R^2 = 0,9945$
PUNTO 4	$y = 0,0166x^2 - 0,0442x + 0,2316$ $R^2 = 0,988$
PUNTO 5	$y = -0,0018x^2 + 0,2389x - 0,1341$ $R^2 = 0,9781$
PUNTO 6	$y = 0,0079x^2 + 0,0669x + 0,1128$ $R^2 = 0,9864$

Fuente: Elaboración propia.

#### d) Resultado de la aplicación de la ecuación para hallar la Productividad Primaria

En la Tabla 7 se aprecia la productividad primaria o biomasa aérea, resultado de la ecuación en los seis puntos de muestreo, donde el punto número cinco presenta datos con valores por debajo de cero, es decir, tiene pérdida de biomasa por cada centímetro de profundidad. En la época seca se registró mayor pérdida en el punto cinco con  $-0,11 \text{ g/cm}^2$  y un máximo de  $0,31 \text{ g/cm}^2$  en el punto uno, mientras que, en la época húmeda, el registro mínimo fue de  $-0,06 \text{ g/cm}^2$  en el punto cinco y un registro máximo de  $0,28 \text{ g/cm}^2$  en el punto uno.

Tabla 7

*Productividad Primaria (PP) obtenida del resultado de la ecuación en los seis puntos de muestreo en  $\text{g/cm}^2$*

MESES DE MONITOREO	PUNTO 01	PUNTO 02	PUNTO 03	PUNTO 04	PUNTO 05	PUNTO 06	
SECA	Junio	0,31	0,01	0,14	0,22	-0,11	0,13
	Julio	0,31	0,01	0,15	0,22	-0,11	0,13
	Setiembre	0,30	0,02	0,16	0,21	-0,09	0,13
HÚMEDA	Noviembre	0,28	0,03	0,17	0,21	-0,06	0,14
	Enero	0,28	0,03	0,18	0,2	-0,04	0,15

*Fuente:* Elaboración propia.

### 3.2. Resultado del registro de la estimación de la descomposición de turba

Para determinar la descomposición de biomasa se realizó la extracción de los 30 núcleos de turba en los seis puntos de muestreo, las muestras fueron llevadas al laboratorio para el secado respectivo (Tabla 8). Luego, las muestras se volvieron a reinstalar en el mes de mayo en los mismos agujeros y en el mismo orden en el que salieron, después se extrajo periódicamente entre la época seca (junio, julio, setiembre) y época húmeda (noviembre y enero del 2019), en cada mes de extracción se registró el peso seco con el objetivo de obtener la diferencia de pesos con respecto a la primera extracción (Tabla 9).

Tabla 8

Registro de peso en gramos de las muestras secas de los 6 puntos de muestreo en el mes de febrero

N° DE TUBO	PROFUNDIDAD	P 1	P 2	P 3	P 4	P 5	P 6
		Peso	Peso	Peso	Peso	Peso	Peso
NÚCLEO 1	(40-50cm)	6,11	36,36	7,46	7,24	53,20	20,16
	(30-40cm)	12,48	85,10	17,07	5,77	29,99	51,84
	(20-30cm)	8,66	33,06	20,22	8,95	35,73	58,62
	(10-20cm)	8,97	25,18	7,79	13,48	24,08	36,00
	(0-10cm)	10,31	15,58	7,63	10,84	17,10	22,31
	<b>TOTAL</b>	<b>46,53</b>	<b>195,28</b>	<b>60,17</b>	<b>46,28</b>	<b>160,1</b>	<b>188,93</b>
NÚCLEO 2	(40-50cm)	4,68	29,70	15,42	14,68	49,89	-
	(30-40cm)	10,65	25,56	14,28	11,20	75,87	31,34
	(20-30cm)	7,21	16,16	11,94	9,15	43,26	31,32
	(10-20cm)	13,63	10,73	11,84	7,89	20,57	12,64
	(0-10cm)	14,06	10,81	5,24	12,20	16,64	21,27
	<b>TOTAL</b>	<b>50,23</b>	<b>92,96</b>	<b>58,72</b>	<b>55,12</b>	<b>206,23</b>	<b>96,57</b>
NÚCLEO 3	(40-50cm)	5,82	42,73	12,07	13,56	78,72	16,16
	(30-40cm)	9,84	29,15	17,91	8,09	63,68	22,78
	(20-30cm)	7,39	27,63	14,70	8,64	58,84	44,41
	(10-20cm)	3,60	11,03	11,05	11,60	23,09	52,78
	(0-10cm)	3,85	9,43	5,47	8,31	11,72	31,09
	<b>TOTAL</b>	<b>30,5</b>	<b>119,97</b>	<b>61,2</b>	<b>50,2</b>	<b>236,05</b>	<b>167,22</b>
NÚCLEO 4	(40-50cm)	12,65	16,59	9,97	15,50	-	-
	(30-40cm)	11,68	27,05	21,04	9,16	87,27	30,98
	(20-30cm)	7,53	42,91	14,94	11,19	28,78	37,09
	(10-20cm)	15,02	31,50	12,49	12,86	22,26	32,84
	(0-10cm)	13,31	19,04	9,62	8,95	18,69	23,22
	<b>TOTAL</b>	<b>60,19</b>	<b>137,09</b>	<b>68,06</b>	<b>57,66</b>	<b>157</b>	<b>124,13</b>
NÚCLEO 5	(40-50cm)	8,88	22,01	7,22	11,11	-	-
	(30-40cm)	15,34	20,78	16,65	10,37	45,97	39,07
	(20-30cm)	7,74	19,87	31,08	14,27	25,53	39,42
	(10-20cm)	13,32	13,04	23,17	11,12	21,89	28,36
	(0-10cm)	12,78	15,68	12,04	12,04	17,64	30,36
	<b>TOTAL</b>	<b>58,06</b>	<b>91,38</b>	<b>90,16</b>	<b>58,91</b>	<b>111,03</b>	<b>137,21</b>

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 9

Registro de peso en gramos de las muestras secas de los 6 puntos de muestreo en la época seca y húmeda después de su reinstalación

MESES	N° DE NÚC.	PROFUNDIDAD	PUNTO 01	PUNTO 02	PUNTO 03	PUNTO 04	PUNTO 05	PUNTO 06
			Peso	Peso	Peso	Peso	Peso	Peso
ÉPOCA SECA - JUNIO	1	(40-50cm)	5,8	35,0	4,22	6,9	48,4	19,9
		(30-40cm)	11,5	80,3	13,4	5,5	27,1	51,2
		(20-30cm)	8,0	30,9	18,1	8,3	33,3	57,0
		(10-20cm)	8,4	24,9	7,7	12,9	22,1	34,5
		(0-10cm)	9,4	15,0	7,3	10,1	13,4	21,2
		<b>TOTAL</b>	<b>43,1</b>	<b>186,1</b>	<b>50,75</b>	<b>43,7</b>	<b>144,3</b>	<b>183,8</b>
ÉPOCA SECA - JULIO	2	(40-50cm)	4,3	9,2	4,3	12,1	10,4	-
		(30-40cm)	8,2	8,7	11,7	6,9	17,2	12,2
		(20-30cm)	6,8	13,1	9	8,3	40,3	11,5
		(10-20cm)	11,2	20,5	11,3	10,5	58,6	23
		(0-10cm)	13,4	27,6	14,6	12,9	36,4	31,2
		<b>TOTAL</b>	<b>44,9</b>	<b>79,1</b>	<b>50,9</b>	<b>50,7</b>	<b>162,9</b>	<b>77,9</b>
ÉPOCA SECA - SEPTIEMBRE	3	(40-50cm)	4,42	35,52	9,22	10,83	66,27	14,34
		(30-40cm)	7,7	25,14	11,43	6,11	59,56	19,12
		(20-30cm)	6,23	27,11	14,2	8,3	51,34	41,65
		(10-20cm)	2,11	10,52	10,53	11,52	17,1	51,9
		(0-10cm)	2,32	8,32	3,34	8,13	9,76	29,13
		<b>TOTAL</b>	<b>22,78</b>	<b>106,61</b>	<b>48,72</b>	<b>44,89</b>	<b>204,03</b>	<b>156,14</b>
ÉPOCA HÚMEDA - NOVIEMBRE	4	(40-50cm)	11,51	15,23	8,36	14,21	-	-
		(30-40cm)	10,32	25,7	10,76	8,14	82,06	27,53
		(20-30cm)	6,18	40,75	13,11	10,42	21,83	35,44
		(10-20cm)	14,8	28,54	18,22	11,33	16,12	29,21
		(0-10cm)	11,12	17,51	7,31	6,16	12,18	21,02
		<b>TOTAL</b>	<b>53,93</b>	<b>127,73</b>	<b>57,76</b>	<b>50,26</b>	<b>132,19</b>	<b>113,2</b>
ÉPOCA HÚMEDA - ENERO 2019	5	(40-50cm)	7,02	20,25	5,07	10,13	-	-
		(30-40cm)	14,09	17,18	15,56	8,91	38,91	37,21
		(20-30cm)	6,23	18,23	28,49	10,06	20,55	38,24
		(10-20cm)	12,9	12,01	19,82	9,82	16,93	18,32
		(0-10cm)	11,65	13,81	11,82	10,6	13,98	28,57
		<b>TOTAL</b>	<b>51,89</b>	<b>81,48</b>	<b>80,76</b>	<b>49,52</b>	<b>90,37</b>	<b>122,34</b>

Fuente: Elaboración propia.

Para hallar la pérdida de sustrato (Ps) se realizó la diferencia del peso seco del mes de febrero con el peso seco de los cinco meses, luego se dividió cada resultado entre el área del barreno para homogenizar la unidad de medida a  $\text{g/cm}^2$ . A continuación, se explica a detalle el valor máximo y mínimo de la pérdida de sustrato de la época seca y húmeda de cada mes (Figura 16).

En la época seca (junio, julio y setiembre) registró la pérdida de sustrato con valor máximo de  $1,58 \text{ g/cm}^2$  y un mínimo de  $0,22 \text{ g/cm}^2$ , en tanto en la época húmeda (noviembre y enero) registró un máximo de  $1,22 \text{ g/cm}^2$  y un mínimo de  $0,26 \text{ g/cm}^2$ .

En el mes de junio se extrajo el tubo número uno de cada punto de muestreo, los resultados de la pérdida de sustrato fueron mayor en el punto número cinco con  $0,78 \text{ g/cm}^2$ . Este punto se encontró en un área seca, no tiene ingreso de agua y la comunidad vegetal del bofedal se encontró erosionado por el deslizamiento de tierra y arena de las laderas aledañas. En el punto número cuatro con  $0,13 \text{ g/cm}^2$  registró la pérdida de biomasa en menores cantidades, este punto se encontró con el ingreso de agua constante.

En el mes de julio, a los dos meses de la reinstalación, se extrajo el tubo número dos de cada punto de muestreo, el punto número cinco registra la pérdida de sustrato mayor a los demás puntos con  $1,34 \text{ g/cm}^2$ , el resultado posiblemente es alto ya que el área se encontró sin el ingreso de agua. En cambio, en el punto número cuatro tuvo un registro mínimo de  $0,22 \text{ g/cm}^2$ , esto podría darse porque este punto tiene un ingreso de agua constante todo el año.

En el mes de setiembre, al cuarto mes de la reinstalación se extrajo el tubo número tres de cada punto de muestreo, la pérdida de sustrato del punto número cinco se perdió más que los meses anteriores, registró  $1,58 \text{ g/cm}^2$  de pérdida, en este mes el área de este punto se encontró seco. El punto número cuatro con  $0,26 \text{ g/cm}^2$  mostró la pérdida de sustrato menor que los demás puntos, este punto tuvo ingreso de agua constante, pero en menor cantidad que los meses anteriores.

En el mes de noviembre, al sexto mes de la reinstalación de las muestras, se extrajo el tubo número cuatro de cada punto de muestreo, la pérdida de sustrato en mayor cantidad se registró en el punto número cinco con 1,22 g/cm<sup>2</sup>, este mes registró menos pérdida que en el muestreo anterior, el área se encontró con el ingreso de agua al bofedal ya que la extracción se realizó en el tiempo de lluvias. El punto número cuatro registró la pérdida en menor cantidad que los demás puntos con 0,26 g/cm<sup>2</sup>, este punto se encontró con ingreso de agua abundante al área de muestreo.

En el mes de enero del 2019, al octavo mes de la reinstalación de las muestras, se extrajo el tubo número cinco de cada punto de monitoreo, la mayor pérdida de sustrato se registró en el punto número cinco con 1,02 g/cm<sup>2</sup>, la pérdida es menor al monitoreo anterior, el punto se encontró con ingreso de agua constante pero inundada por el deslizamiento de tierra y arena por las laderas aledañas. El punto número uno registró la menor pérdida de sustrato con 0.3 g/cm<sup>2</sup>, este punto se encontró con ingreso de agua abundante al área.

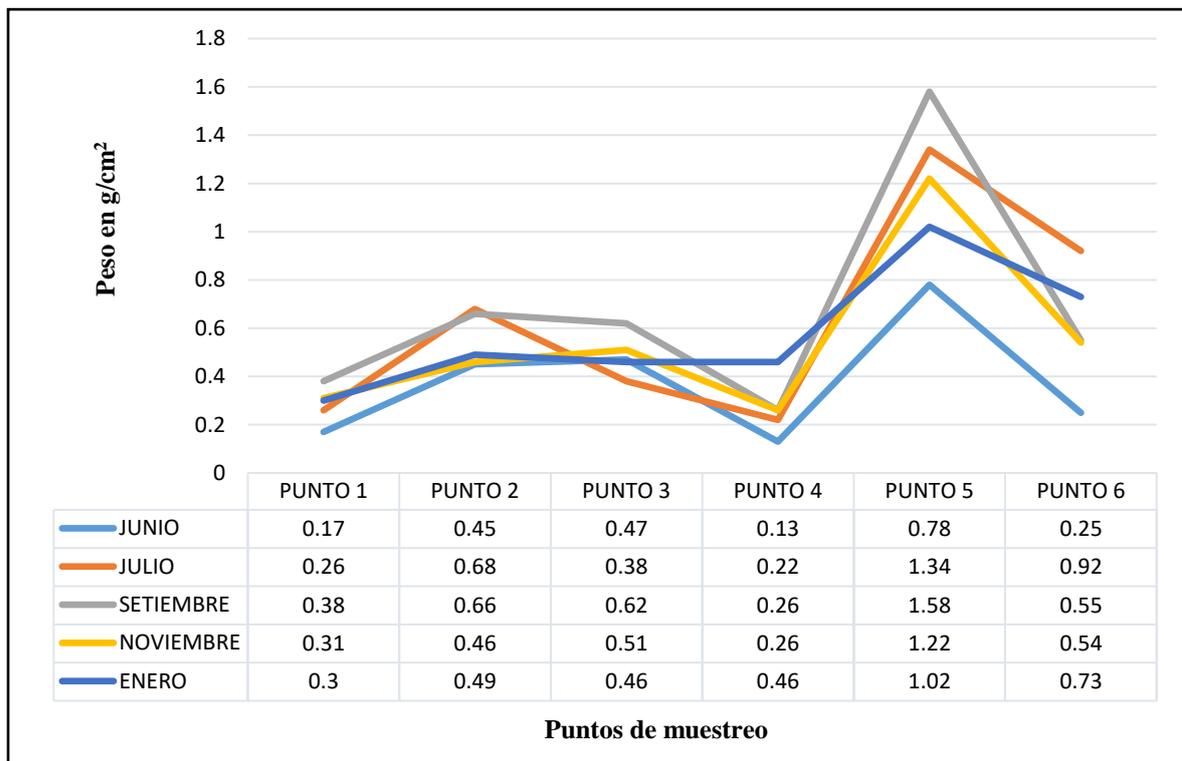


Figura 16. Pérdida de sustrato de los seis puntos de muestreo en la época seca y húmeda.  
Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 17 se puede apreciar la pérdida de sustrato total en gramos de los seis puntos realizados durante los 5 meses de muestreo. Se observa que los puntos uno y cuatro registraron menor pérdida de sustrato, el punto uno registró 1,42 g/cm<sup>2</sup> y el punto cuatro registró 1,33 g/cm<sup>2</sup>, ambos puntos tuvieron el ingreso constante de agua durante todo el año. El punto número cinco registró la mayor pérdida de sustrato con 5,94 g/cm<sup>2</sup>, el área no tuvo un ingreso de agua constante, además, se encontró cubierta por los deslizamientos de tierra y arena que bajan de las laderas en tiempos de lluvia.

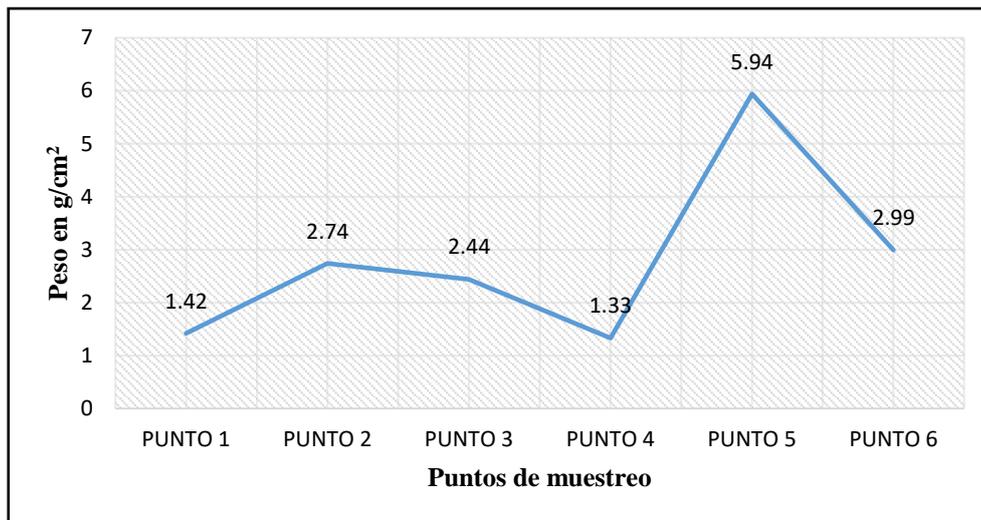


Figura 17. Pérdida de sustrato total de los seis puntos de muestreo (época seca y húmeda).  
Fuente: Elaboración propia.

### 3.3. Resultado de la Eficiencia Neta del Ecosistema

Para resolver la fórmula de la Eficiencia Neta del Ecosistema (ENE), se utilizó los datos obtenidos de la descomposición y pérdida del sustrato en la época seca y húmeda (Figura 16) y los resultados de la Productividad Primaria Neta (PPN) (Tabla 7) que fue utilizada al reemplazar la G = Ganancia.

Para determinar la Eficiencia Neta del Ecosistema (ENE), se utilizó la fórmula de la acumulación de sustrato en términos de pérdida o ganancia de biomasa.

En la Figura 18 se puede apreciar que en la mayoría de los puntos registraron valores negativos, pero en la época seca (junio, julio y setiembre) el punto uno y el punto cuatro registraron valores positivos máximos con  $0,14 \text{ g/cm}^2$  y  $0,09 \text{ g/cm}^2$ , la Eficiencia Neta de estos dos puntos tuvo ganancia de biomasa, en consecuencia, el bofedal del sector Moyobamba almacenó carbono en estos puntos. El registro mínimo fue de  $-1,67 \text{ g/cm}^2$  en el punto número cinco, en este punto la descomposición de biomasa es mayor, en consecuencia, liberó mayor carbono a la atmósfera en forma de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ). El desarrollo de la fórmula de la eficiencia neta del ecosistema se detalla en el Apéndice 2.

En la época húmeda (noviembre y enero) se registró el valor máximo de la Eficiencia Neta en el punto uno con  $-0,02 \text{ g/cm}^2$  y el valor mínimo en el punto cinco con  $-1,28 \text{ g/cm}^2$ .

Los puntos números dos, tres y seis, registraron valores por debajo de cero en su totalidad, la Eficiencia Neta del bofedal en estos puntos fue negativa, es decir el bofedal de Moyobamba en general no almacena carbono, porque la descomposición de la turba es mayor en la época seca ya que no tiene ingreso constante de agua, esto hace que se libere carbono a la atmósfera en forma de ( $\text{CO}_2$ ).

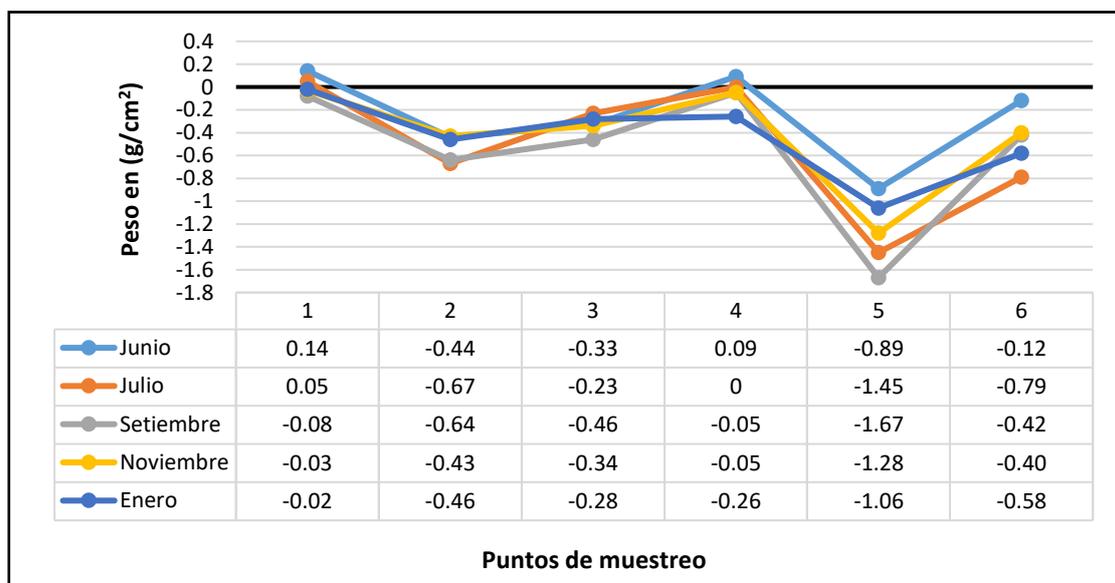


Figura 18. Resultado de la fórmula para determinar la Eficiencia Neta del Ecosistema en términos de ganancia o pérdida de biomasa en el bofedal de Moyobamba. Fuente: Elaboración propia.

## CAPÍTULO IV: DISCUSIONES

### 4.1. Cuantificación de la Productividad Primaria (PP)

#### A. Identificación de comunidades vegetales

En la presente investigación se identificaron seis tipos de especies vegetales en la época seca y húmeda, las especies dominantes en todos los puntos fueron *Distichia muscoides* (Juncaceae) y *Lachemilla diplophylla* (Rosaceae), excepto en el punto número cinco donde se registró especies dominantes a *Cinnagrostis vicunarum* (Poaceae) y *Aciachne pulvinata*, (Poaceae), estas dos últimas especies no son propios de un bofedal, su presencia como dominante en el área, probablemente se debe a la presión de sobrepastoreo y al drenaje que ha ocurrido desde los años 50 en el bofedal, lo que podría estar generando que algunas áreas del bofedal se esté convirtiendo en césped de puna. Muñoz (2020), también identificó las mismas especies dominantes excepto la especie de *Oritrophium* (Asteraceae), en su estudio reporta cuatro especies como dominantes: *Distichia muscoides* (Juncaceae), *Oritrophium limnophilum* (Asteraceae), *Hypochaeris taraxacoides* (Asteraceae) y *Lachemilla diplophylla* (Rosaceae).

Asimismo, León (2016) registró como especies dominantes en la época seca y húmeda a *Distichia muscoides* y *Plantago tubulosa*, en el estudio sobre reserva de carbono realizada en los bofedales de Puno. Igualmente, Alvarado (2012) en los humedales altoandinos de Tacna, registró como especies dominantes a *Distichia muscoides* y *Alchemilla diplophylla*. Mientras que Alvis *et al.* (2021) presentó a *Phylloscirpus deserticola* como la especie dominante con (28 %), seguida de *Werneria pygmaea* (15,7 %) y *Distichia muscoides* (14,5 %).

Maldonado (2014) menciona que en el Perú es común encontrar bofedales con especie dominante de *Distichia muscoides*, además, es una especie deseable para alpacas, ovejas y llamas, que le hacen fuerte presión de pastoreo. Asimismo, Chimner *et al.* (2019), afirma este dato mencionando que la mayoría de los bofedales de los Andes Centrales son turberas de *Distichia*. Según Oyague y Cooper (2020), esto implica una condición particular para la ciencia relacionada a su conservación y el estudio de sus servicios ecosistémicos. Siendo que las especies de *Distichia* tienen una capacidad muy superior a otras plantas formadoras de turba para acumular carbono (Hribljan *et al.*, 2015).

#### B. Resultados del crecimiento de la vegetación aérea

El crecimiento de la vegetación aérea fue evaluada durante ocho meses, los cuales se dividió en cinco meses de monitoreo, en la época húmeda tuvo un crecimiento máximo de 0,7 cm y un crecimiento mínimo de 0,4 cm, en la época seca el registro del crecimiento máximo fue de 0,4 cm y un mínimo de 0,2 cm, este resultado probablemente se debe a que el bofedal no tiene ingreso de agua constante en la época seca, además, el sobrepastoreo no permite el crecimiento de las plantas porque es consumida por el ganado que pasta en el área; como indicó Onofre (2020) en su investigación, algunos sectores del bofedal del sector Moyobamba se encuentra en un estado de conservación mala a causa del sobrepastoreo. A diferencia de Cooper *et al.* (2015) registró un crecimiento máximo de 5,37 cm y un crecimiento mínimo de 0,96 cm en un período de 12 meses, menciona que fue en la época húmeda donde la planta tuvo mayor crecimiento. Mientras que Muñoz (2020) menciona que registró mayor crecimiento en la época seca con un máximo de 1,9 cm y un mínimo de 0,9 cm, en la época húmeda registró un máximo de 0,8 cm y un mínimo de 0,4 cm.

Cooper *et al.* (2015), menciona que las turberas de alta montaña están dominadas por plantas vasculares que tienen una forma de crecimiento en cojín, además este crecimiento depende del nivel freático permanentemente alto.

#### C. Productividad Primaria

La productividad primaria o biomasa aérea, en la época seca tuvo un valor mínimo de -0,11 g/cm<sup>2</sup> y un máximo de 0,31 g/cm<sup>2</sup>. En la época húmeda, el registro mínimo fue de -0,06

g/cm<sup>2</sup> y un registro máximo de 0,28 g/cm<sup>2</sup>. Los registros mínimos en ambas épocas fueron negativos, lo que significa que no hubo acumulación de biomasa aérea, es decir, los datos negativos podrían estar indicando que el bofedal en esos puntos no registró productividad primaria, ya que no tuvo ganancia de biomasa, esto podría deberse a los factores antrópicos que se produce en el bofedal. Según Onofre (2020) el sobrepastoreo existente en el bofedal del sector Moyobamba no permite el desarrollo vegetativo de las plantas. Los resultados obtenidos en la presente investigación fueron similares a los resultados de Muñoz (2020), quién registró el valor más alto en la época seca de 0,25 g/cm<sup>2</sup> y un mínimo de -0,02 g/cm<sup>2</sup>, en la época húmeda registró el valor máximo de 0,19 g/cm<sup>2</sup> y un valor mínimo de -0,08 g/cm<sup>2</sup>. Muñoz (2020) menciona que no hubo acumulación de biomasa en el punto dos porque no tuvo acceso de agua al área, además, la pendiente inclinada impide la acumulación de agua durante la época húmeda, este es un factor importante que reduce la acumulación de biomasa.

Asimismo, Alvis *et al.* (2021) registró 0,047 g/cm<sup>2</sup> de biomasa aérea, el autor menciona que este resultado se debe a que el bofedal fue afectado por sobrepastoreo, también disminuye el secuestro de carbono por la reducción del área foliar. De igual forma Medrano *et al.* (2012) registró 0,008 g/cm<sup>2</sup> de biomasa aérea para *Plantago tubulosa* y 0,002 g/cm<sup>2</sup> para *Eleocharis albibactreata*. Mientras que Sequeiros (2020) registró valores de biomasa aérea que fluctúan entre 0,12 g/cm<sup>2</sup> y 0,18 g/cm<sup>2</sup>, estos valores se asemejan a los resultados de la presente investigación.

Según Mistch y Gosselink (2000), la productividad primaria en los bofedales está determinada por las condiciones climáticas, las especies de vegetación y la cantidad de agua disponible.

#### **4.2. Estimación de la descomposición y pérdida de biomasa (turba)**

En la presente investigación se registró la descomposición de biomasa (turba) del bofedal de Moyobamba, que está dominada por especies de *Distichia muscoides* y *Lachemilla diplophylla*, donde se apreció que en la época seca se registró mayor descomposición de la

biomasa subterránea a diferencia de la época húmeda. Según Roa y Brown (2016), la acumulación de materia orgánica y de carbono depende de la productividad primaria, la descomposición, junto con procesos de escorrentía y erosión en el ecosistema.

En la época seca (junio, julio y setiembre) se registró la pérdida de sustrato con valor máximo de 1,58 g/cm<sup>2</sup> y un mínimo de 0,22 g/cm<sup>2</sup>, en la época húmeda (noviembre y enero) se registró un máximo de 1,22 g/cm<sup>2</sup> y un mínimo de 0,26 g/cm<sup>2</sup>. La pérdida de sustrato con valores altos son los que tuvieron mayor descomposición, esto se dio posiblemente porque no tuvieron el ingreso de agua constante durante todo el año, a diferencia de los resultados con valores mínimos, estos puntos tuvieron un ingreso de agua constante, así mantuvieron un nivel freático alto, en consecuencia, el sustrato (turba subterránea) no se descompuso fácilmente. Según León (2016), los suelos saturados de agua reducen el oxígeno, en consecuencia, se forma un ambiente anaerobio por lo que la descomposición de la biomasa es muy lenta, esto favorece a la captura de carbono.

A diferencia de Muñoz (2020) en la época húmeda registró un valor máximo de 1,74 g/cm<sup>2</sup>, mientras que el valor mínimo de tasa de descomposición fue en la época seca con 0,85 g/cm<sup>2</sup>, reportándose que en época de lluvia principalmente los meses de diciembre, enero y febrero se produce mayor descomposición que en la época seca como en mayo y junio, la autora menciona que esto podría estar ocurriendo por anomalías de las precipitaciones y el cambio climático. Mientras que Alvarado (2012), registró la biomasa con una producción promedio de materia verde de 1,85 g/cm<sup>2</sup> y una producción de materia seca de 0,57 g/cm<sup>2</sup>, los valores de la producción de la materia seca son muy similares a los que se obtuvo en el bofedal del sector Moyobamba.

Roa y Brown (2016), en su investigación indicó que las diferencias de las tasas de acumulación de suelo a largo plazo permiten concluir que, a pesar de los contrastes en elevación, el balance entre productividad y descomposición de biomasa no tienen mucha discrepancia.

### **4.3. Estimación de la Eficiencia Neta del bofedal de Moyobamba**

En la época seca (junio, julio y setiembre) el punto número uno y el punto número cuatro registraron valores positivos máximos con  $0,14 \text{ g/cm}^2$  y  $0,09 \text{ g/cm}^2$ , la Eficiencia Neta de estos dos puntos tuvo ganancia de biomasa, en consecuencia, el bofedal del sector Moyobamba almacenó carbono en estos puntos. El registro mínimo fue de  $-1,67 \text{ g/cm}^2$  en el punto número cinco, en este punto la descomposición de biomasa es mayor, en consecuencia, liberó mayor carbono a la atmósfera en forma de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ). En la época húmeda (noviembre y enero) se registró el valor máximo de la Eficiencia Neta del bofedal en el punto uno con  $-0,02 \text{ g/cm}^2$  y el valor mínimo en el punto cinco con  $-1,28 \text{ g/cm}^2$ . En consecuencia, la Eficiencia Neta del bofedal de estos puntos es negativa, es decir en este punto no logró almacenar carbono.

El resultado positivo se debe a que esos puntos tuvieron ingreso constante de agua, así como el punto número cuatro que fue suministrado por el ingreso de agua subterránea durante todo el año. Al mantener un nivel freático alto de agua, la materia orgánica se preserva por la descomposición lenta, en consecuencia, se acumula esta biomasa como turba en el bofedal, de esta forma secuestra el dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) de la atmósfera. FAO (2002), expresó que la relación entre el carbono orgánico subterráneo y la atmósfera son importantes y pueden ser positivos bajo la forma de captura o negativos como emisión de gases de efecto invernadero.

Muñoz (2020) en su investigación realizada en el bofedal del sector de Huachipampa en Yauyos Lima, registró la Eficiencia Neta del Ecosistema para la época de lluvias (diciembre, enero y febrero) registró un máximo de  $0,19 \text{ g/cm}^2$  y un mínimo de  $-0,08 \text{ g/cm}^2$ , es decir, que en esta época el bofedal acumula más biomasa de la que descompone, su valor mínimo negativo se asemeja al valor registrado en el bofedal del sector Moyobamba en la época húmeda. De igual forma en la época seca (mayo y junio) la autora también registró eficiencia neta con valores altos, con un máximo de  $0,33 \text{ g/cm}^2$  y un mínimo de  $-0,02 \text{ g/cm}^2$ , estos valores también son muy parecidos a los valores registrados en el bofedal del sector

Moyobamba, pero su valor máximo positivo es mayor, por lo que se deduce indirectamente que el sistema está cumpliendo eficientemente su función de almacenamiento de carbono.

La presente investigación determinó que la Eficiencia Neta del Ecosistema del bofedal sector Moyobamba es baja, sólo en la época seca el punto uno y punto cuatro tuvieron valores positivos máximos con  $0,14 \text{ g/cm}^2$  y  $0,09 \text{ g/cm}^2$ , en estos dos puntos logró almacenar carbono, mientras que en todos los demás puntos tanto en la época seca y húmeda los resultados fueron negativos, lo que significa que el bofedal del sector Moyobamba no almacena carbono en forma de turba, al contrario, el bofedal registró mayor descomposición de biomasa, en consecuencia, libera carbono en forma de  $\text{CO}_2$  a la atmósfera. Esto probablemente se debe a que el bofedal está en proceso de degradación a causa de las actividades de sobrepastoreo y la existencia de drenajes que reducen el nivel freático, además del cambio climático que altera la estación de lluvia en el área de estudio. Oyague (2020), menciona que la eficiencia neta del ecosistema define la capacidad para capturar carbono desde la atmósfera y almacenarlo en forma de turba, o si actúa como una fuente, lo libera en forma de  $\text{CO}_2$  o  $\text{CH}_4$ .

## CAPÍTULO V: CONCLUSIONES

- En el bofedal del sector Moyobamba se identificaron dos especies con mayor dominancia; *Distichia muscoides* (Juncaceae) y *Lachemilla diplophylla*, (Rosaceae), excepto en el punto cinco donde las especies dominantes fueron *Cinnagrostis vicunarum*, (Poaceae) y *Aciachne pulvinata*, (Bentham), ambas especies no son propias del bofedal, la primera especie puede estar en forma escasa y la última especie ingresa al bofedal cuando ésta se encuentra en mal estado de conservación.
- El crecimiento de la vegetación aérea en ambas épocas registró valores altos en los puntos que se mantuvieron con un ingreso de agua constante, mientras que los puntos que no tenían ingreso de agua constante registraron valores muy reducidos, los resultados bajos posiblemente se dieron por el sobrepastoreo y la existencia de canales de drenaje en el bofedal.
- La estimación de la Productividad Primaria (PP) o biomasa aérea en la época seca, registró que el punto número cinco presenta datos con valores por debajo de cero, es decir, tiene pérdida de biomasa por cada centímetro de profundidad; en la época húmeda el punto número uno y el punto número cuatro registraron mayor cantidad de biomasa por cada centímetro de profundidad que los demás puntos, por lo cual, el registro positivo significa que ganó biomasa a cada centímetro de profundidad.

- En la época seca (junio, julio y setiembre) se registró la mayor pérdida de sustrato porque la turba se descompuso más rápido ya que el nivel del agua bajó en esta temporada, al tener un suelo no saturado, la descomposición fue mayor. A diferencia de la época húmeda, la descomposición de turba en esta temporada es más lenta ya que el nivel del agua subterráneo es alto.
- La estimación de la Eficiencia Neta en el bofedal del sector Moyobamba registró que en la época seca el punto uno y el punto cuatro tuvieron valores positivos muy reducidos, entonces es posible indicar que la Eficiencia Neta del bofedal en estos dos puntos se encontraron en la capacidad de secuestrar carbono en mínimas cantidades. Mientras que, los registros de la época húmeda fueron valores negativos, es decir, el bofedal no logró almacenar carbono. El punto cinco fue el que tuvo registros mínimos tanto en la época seca y húmeda, por lo cual, se podría decir que este punto se encuentra en condiciones críticas, debido a que la descomposición de biomasa es mayor ya que libera mayor carbono a la atmósfera en forma de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>).

## **CAPÍTULO VI: RECOMENDACIONES**

- El bofedal del sector Moyobamba se encuentra en proceso de degradación, por lo que se recomienda reducir el sobrepastoreo, disminuir el drenaje existente y realizar cercos perimétricos para que los ganados ingresen periódicamente, de esta forma el bofedal se podría recuperar con el tiempo, además, es importante iniciar la restauración del bofedal por ser la cabecera de la cuenca alta del río Cochas Pachacayo, para que este ecosistema continúe brindando los servicios ambientales.
- A partir de la presente investigación, generar nuevos estudios de Eficiencia Neta del Ecosistema en bofedales con similares características, con el objetivo de realizar comparaciones y profundizar en el tema.
- Realizar estudios de puntos de infiltración para comprobar la relación que existe entre la pérdida de biomasa con el tiempo de infiltración que tiene el bofedal a diferentes profundidades, además de los estudios geológicos, para determinar el tipo de suelo y conocer los elementos presentes a cada estrato de profundidad, así poder explicar la pérdida de biomasa por el tipo de suelo diagnosticado en cada punto de muestreo.
- Los resultados de la investigación deben ser socializados a la población del sector Moyobamba por parte del personal de la Reserva Paisajística Nor Yauyos Cochas, con el objeto de aprovechar los bofedales realizando buenas prácticas ambientales.

## REFERENCIAS

- Alegre, J., García, S., Guerra, P., Lao, C. y Vega, R. (2014). *Manual de la materia orgánica en los sistemas agroforestales*. IUC VLIR-UNALM. 24 p. [https://www.researchgate.net/profile/Ruby-Vega-Ravello/publication/323839562\\_MANUAL\\_LA\\_MATERIA\\_ORGANICA\\_EN\\_LOS\\_SISTEMAS\\_AGROFORESTALES/links/5aaec05caca2721710fc4b11/MANUAL-LA-MATERIA-ORGANICA-EN-LOS-SISTEMAS-AGROFORESTALES.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Ruby-Vega-Ravello/publication/323839562_MANUAL_LA_MATERIA_ORGANICA_EN_LOS_SISTEMAS_AGROFORESTALES/links/5aaec05caca2721710fc4b11/MANUAL-LA-MATERIA-ORGANICA-EN-LOS-SISTEMAS-AGROFORESTALES.pdf)
- Alvarado, C. (2012). *Evaluación de Pastizales Naturales de los Humedales Altoandinos en Época de Lluvia de la Provincia de Candarave Departamento de Tacna 2012*. (Tesis de Grado). Universidad Nacional Jorge Basadre Grohman, Tacna, Perú.
- Alvis, C., Villasante, B., Pauca, T., Quispe, T. y Luque, F. (2021). Cálculo y valoración del almacenamiento de carbono del humedal altoandino de Chalhuanca, Arequipa (Perú). *Revista de Investigaciones Altoandinas – Journal of High Andean Research*. 23(3), 139–148.
- Alzérrec, H. (1992). Producción y utilización de pastizales de la zona altoandina de Bolivia. *Red de Pastizales Andinos, Instituto Boliviano de Tecnología Agropecuaria*. 1 (1), 146-147.
- Alzérrec, H. (1988). *Diagnóstico y prioridades de investigación en praderas y pasturas del Altiplano y altoandino de Bolivia*. En Primera reunión nacional en praderas nativas de Bolivia. Programa de autodesarrollo campesino, corporación desarrollo de Oruro (PAC; CORDEOR). Oruro, Bolivia. 214 pp.
- Benavides, C., Vitt, H. y Wieder, K. (2013). The influence of climate change on recent peat accumulation patterns of distichia muscoides cushion bogs in the high-elevation tropical Andes of Colombia. *Journal of geophysical research: biogeosciences*. 118, 1162-1635. doi.org/10.1002/2013JG002419.2013.
- Cardozo, A. (1996). Indicadores básicos para la cría de camélidos domésticos y ovinos. Zonisig. *Informe de consultoría*. La Paz, Bolivia.
- CIPCA (Centro de Investigación y Promoción del Campesinado) (1998). *Manejo y conservación de praderas nativas* (1ra ed.). La Paz, Bolivia: Virgo.
- Convención Marco de las Naciones Unidas (CMNUCC). (1992). Convención marco de las naciones unidas sobre el cambio climático. <https://unfccc.int/resource/docs/convkp/convsp.pdf>

- Cooper, D.; Wolf, E.; Colson, C.; Vering, W.; Granda, A. y Meyer, M. (2010). Alpine peatlands of the Andes, Cajamarca, Perú. *Ártic, Antartic, and Alpine research*, 42 (1), 19-33.
- Cooper, D., Kristen K., Daniel, S. y Karina, Y. (2015). Growth and Organic Carbon Production in Peatlands Dominated by *Distichia muscoides*, Bolivia, South America. *Arctic, Antarctic, and Alpine Research*, 47:3, 505-510. <https://doi.org/10.1657/AAAR0014-060>
- Cooper, D., Sueltenfuss, J., Oyague, E., Yager, K., Slayback, D., Caballero, E. M. C., y Mark, B. G. (2019). Drivers of peatland water table dynamics in the central Andes, Bolivia and Peru. *Hydrological Processes*, 33(13), 1913–1925. DOI: 10.1002/hyp.13446
- Chimner, R., Bourgeau, C. L., Grelik, S., Hribljan, J., Clarke, 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, Peru. *Wetlands*. 39: 105771067.
- Chimner, R.; Cooper D.; Parton, W. (2002). Modeling carbon accumulation in Rocky Mountain fens. *Wetlands*. 22 (1). 100-110. DOI: [https://doi.org/10.1672/0277-5212\(2002\)022 \[0100: MCAIRM\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1672/0277-5212(2002)022 [0100: MCAIRM]2.0.CO;2)
- Collins, M. E. y R. J. Kuehl. (2000). Organic matter accumulation and organic soils. En Richardson J. L. y Vepraskas M. J. *Wetland Soils*. pp. 137-162. Alaska, Estados Unidos: CRC Press.
- Ergueta, P. y Aranda, K. (Eds.) (2010). Glaciares, agua y biodiversidad. *Tunupa 64* (1), 6-7. <http://www.keneamazon.net/Documents/Publications/Virtual>.
- Flórez, M, A. (1991). *Producción de rumiantes menores*. Ed. Novoa y Flórez. Impresión RERUMEN. Apartado 110097. Lima, PE.
- Holden, J. (2005). *Peatland hydrology and carbon release: why small-scale process matters*. Philosophical Transactions of the Royal Society of London A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences 363: 2891-2913.
- Hernández, G. M., Granados, S. D. y Sánchez, G. A. (2003). Productividad de los ecosistemas en las regiones áridas. *Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 9(2),113-123.

- Hernández, S. R.; Fernández, C. C. y Baptista, L. P. (2006). *Metodología de la Investigación*. <http://observatorio.epacartagena.gov.co/wp-content/uploads/2017/08/metodologia-de-la-investigacion-sexta-edicion.compressed.pdf>
- Hernández, M. E. (2010). Suelos de humedales como sumideros de carbono y fuentes de metano. *Terra Latinoamericana*, 28 (2), pp. 139-147.
- Hribljan, J.; Cooper, D.; Sueltenfuss, J.; Wolf, E.; Heckman, K.; Lilleskov, E. y Chimmer, 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)
- IPCC, (Intergovernmental Panel on Climate Change) (2014). *Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Geneva, Switzerland, 151 pp.
- Joosten, H.; Clarke, D. (2002). *Wise Use of Mires and Peatlands - Background and Principles including a Framework for Decision-Making*. International Mire Conservation Group International Peat Society. 38. Finland.
- La Matta, R. F. (2017). *Percepciones, actores y manejo actual de los humedales altoandinos de la comunidad campesina Santiago de Carampoma*. (Tesis de maestría). Pontificia Universidad Católica Del Perú. Lima, Perú.
- León, T. A. (2016). *Reserva de carbono en bofedales y su relación con la florística y condición del pastizal*. (Tesis de maestría). Universidad nacional agraria La Molina. Lima, Perú.
- Maldonado, M. S. (2014). An introduction to the bofedales of the Peruvian High Andes. *Mires and Peat*. 15 (5), 4-5.
- Mason (1976). Relative importance of fungi and bacteria in the decomposition of phragmites leaves. *Hydrobiologia*. 51(1), 65-69. doi.org/10.1007/BF00007986
- Medrano, Y. R., Chupan, M. L. y Vila, B. M. (2012). Almacenamiento de carbono en especies predominantes de flora en el lago Chinchaycocha. *Apuntes de Ciencia y Sociedad*. 2 (02), 110-111. DOI: <https://doi.org/10.18259/acs.2012013>
- Ministerio del Ambiente (2012). *Glosario de términos para la gestión ambiental peruana*. <http://www.usmp.edu.pe/recursoshumanos/pdf/Glosario-de-Terminos.pdf>

- Ministerio del Ambiente (2015). Estrategia nacional de Humedales. Perú: MINAM. <http://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2015/01/Anexo-Decreto-Supremo-N%C2%B0-004-2015-MINAM2.pdf>
- Mitsch, W. J. y J. G. Gosselink. (2000). *Wetlands*. 3rd ed. John Wiley and Sons. New York, NY, USA.
- Muñoz, F. B. (2020). *Evaluación de la Eficiencia Neta mediante la acumulación de carbono, en base a la biomasa en el bofedal sector Huachipampa Nor Yauyos*. (Tesis de grado). Universidad Católica Sedes Sapientiae, Huaura, Perú.
- Neill, C., C. Cerri, J. M. Melillo, B. J. Feigl, P. A. Steudler, J. F. L. Moraes, and M. C. Piccolo. (1998). Stocks and dynamics of soils carbon following deforestation for pasture in Rondonia. En Rattan, L., (Ed.), *Soil Processes and the Carbon Cycle*. 235-243. New York, Estados Unidos: CRC Press.
- Neue, H. U.; J. L. Gaunt.; Z. P. Wang.; P. Becker. y C. Quijano. (1997). Carbon in tropical wetlands. *Geoderma*. 79: 163-185. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0016706197000414>
- Onofre, S. M. (2020). *Diagnóstico de la condición ambiental del bofedal Moyobamba a través de un estudio agrostológico, distrito de Canchayllo, provincia de Jauja*. (Tesis de grado). Universidad Católica Sedes Sapientiae, Tarma, Perú.
- Organización De Las Naciones Unidas Para La Agricultura y la Alimentación (FAO). (2002). *Captura de carbono en los suelos para un mejor manejo de la tierra*. Informes sobre recursos mundiales de suelos Informes sobre recursos mundiales de suelos. Italia, Roma.
- Oyague, E. (2020). *Variabilidad de factores hidrológicos e hidráulicos en cuatro turberas de los andes centrales*. (Tesis de maestría). Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú.
- Palomino, D. (2007). *Estimación del servicio ambiental de captura del CO2 en la flora de Los Humedales de Puerto Viejo*. (Tesis de maestría). Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Perú.
- Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD). (2001). *Características y Distribución de los Bofedales en el ámbito boliviano*. <http://www.alt-perubolivia.org/>

- Quispe, C. (2013). *Efecto de la frecuencia de corte en la estimación de biomasa en pastizales alto Andinos*. (Tesis de Grado). Universidad Nacional de Huancavelica. Huancavelica. Perú.
- Real Academia Española. (2014). *Diccionario de la Lengua Española*. <http://www.uees.edu.sv/editorial/publicaciones/Normas.APA.SextaEdición>.
- Roa, G. M. y Brown, S. (2016). Caracterización de la acumulación de carbono en pequeños humedales andinos en la cuenca alta del río barbas (Quindío, Colombia). *Caldasia* 38(1):117-135. DOI: <http://dx.doi.org/10.15446/caldasia.v38n1.57833>
- Roberts, M., Long, S., Tieszen, L. y Beadle, C. (1993). Measurement of plant biomass and net primary production of herbaceous vegetation. *Photosynthesis and Production in a Changing Environment*. doi.org/10.1007/978-94-011-1566-7\_1
- Ruthsatz, B. (2012). Vegetación y ecología de los bofedales altoandinos de Bolivia. *Phytocoenologia*, 42 (3-4), 113-179.
- Saqueiros, A. D. (2020). *Evaluación del servicio ambiental de captura de carbono de los bofedales del centro poblado alto Perú, Tacna*. (Tesis de Grado). Universidad Privada de Tacna. Perú.
- Sims, P. y Singh, J. (1978). Net primary production, turnover and efficiencies of energy capture and water use. *Journal of Ecology*. 66 (1), 40-45.
- Weberbauer, A. (1945). El Mundo Vegetal de los Andes Peruanos. *Publications in Botany* 33 (2): 99-184.
- Webber, P.J. (1974). Tundra primary productivity. *Arctic and alpine environments*. pp. 445-473. Methuen, London.

## TERMINOLOGÍA

**Bofedales:** Los bofedales son hábitats naturales húmedos con agua permanente alimentados de diferentes fuentes (manantiales, agua de deshielo, ríos y lluvias), se diferencian por la ubicación altitudinal, calidad, cantidad y permanencia del agua que los riega (Alzérreca, 1992).

**Biomasa:** Es todo el material vegetal correspondiente a las partes aéreas de las plantas, recolectadas en un instante dado. Dicha biomasa se puede dividirse en materia viva por lo general metería verde), y necrosada que es el material vegetal muerto en pie, que todavía está unido a la planta (Webber, 1974).

**Carbono secuestrado:** Es la cantidad de carbono secuestrado que relaciona a la capacidad del bofedal de mantener una cierta cantidad de biomasa por hectárea, la cual está en función a su heterogeneidad y está determinada por las condiciones del suelo y clima (Palomino, 2007).

**Producción de forraje:** Corroboran que los factores que más influyen en general sobre la producción vegetal son de tipo ambiental (humedad, nutrientes), aunque la estructura florística, también puede afectar la producción de los pastos. Uno de los factores más importantes es de radiación solar, ya que sin ella no se puede producir la fotosíntesis (Sims y Singh, 1978).

**Turba:** Carbón fósil formado de residuos vegetales, de color pardo oscuro, con aspecto terroso y de poco peso (Real Academia Española [RAE], 2014).

**Servicios Ambientales:** Está referido a los beneficios que la naturaleza proporciona a la humanidad en su conjunto o a una región, como la protección del recurso hídrico y de los suelos, la protección de la biodiversidad, la mitigación de emisiones de gases de efecto invernadero y la belleza escénica, entre otros (MINAM, 2012).

**Captura de carbono en el suelo:** Es el balance entre la incorporación de material vegetal muerto (desecho de hojas y raíces) y las pérdidas de los procesos de descomposición y

mineralización. Bajo condiciones aeróbicas, la mayor parte del carbono que se incorpora a los suelos es lábil y, por lo tanto, es devuelto a la atmósfera a través de los procesos conocidos como respiración del suelo o flujo de CO<sub>2</sub> (Organización De Las Naciones Unidas Para La Agricultura y la Alimentación [FAO], 2007).

**Degradación ambiental:** La degradación ambiental es la alteración de uno o varios de los componentes del medio ambiente, es decir, es la situación que afecta en forma negativa a los organismos vivos. Comprende a los problemas de contaminación ambiental y así mismo a los problemas ambientales referidos a la depredación de los recursos naturales (Ministerio del Ambiente [MINAM], 2012).

**Calentamiento Global:** Es el incremento a largo plazo de la temperatura del planeta como resultado de la elevada concentración de los Gases de Efecto Invernadero (GEI) que tienen la capacidad de retener el calor (Convención Marco de las Naciones Unidas (CMNUCC), 1992).

**Productividad Primaria Neta:** La producción primaria neta (PPN) se define como la ganancia de fotosíntesis, menos pérdidas respiratorias, de vegetación por unidad de terreno (Hernández, Granados y Sánchez, 2003).

**Descomposición:** El término descomposición se emplea de forma general para referirse a la destrucción (desintegración) de materiales orgánicos de origen animal, microbiano o vegetal (Mason, 1976).

## APÉNDICES

APÉNDICE 1: Gráficos de la productividad primaria bruta para genera la ecuación alométrica

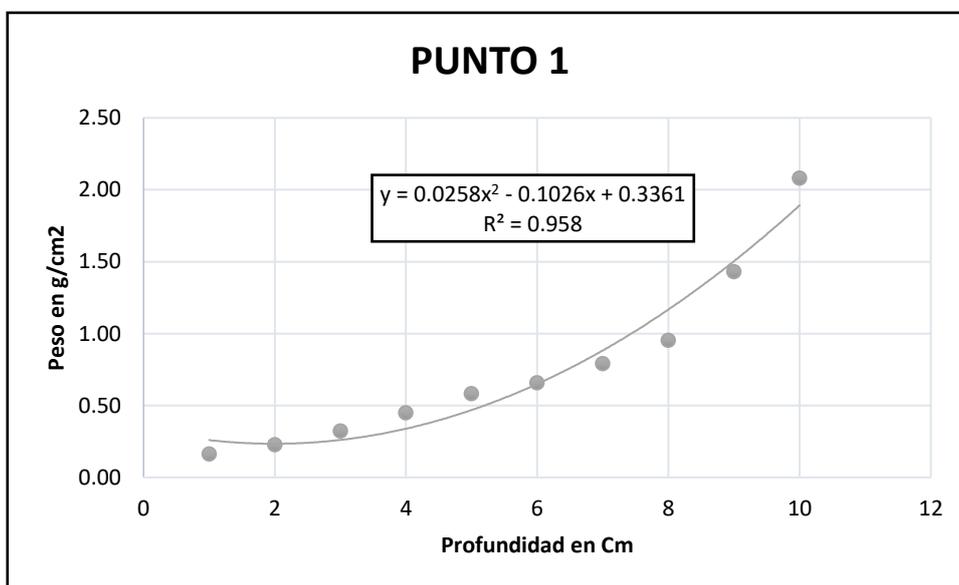


Figura 19. Ecuación generada a partir de los datos obtenidos de los cubos de 1 a 10 cm en el punto número 1. Fuente: Elaboración propia.

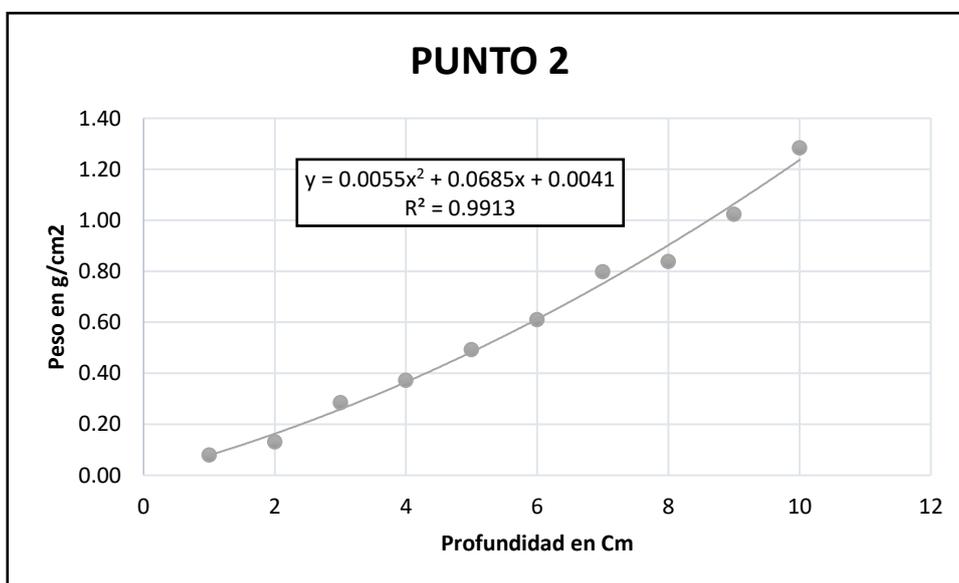


Figura 20. Ecuación generada a partir de los datos obtenidos de los cubos de 1 a 10 cm en el punto número 2. Fuente: Elaboración propia.

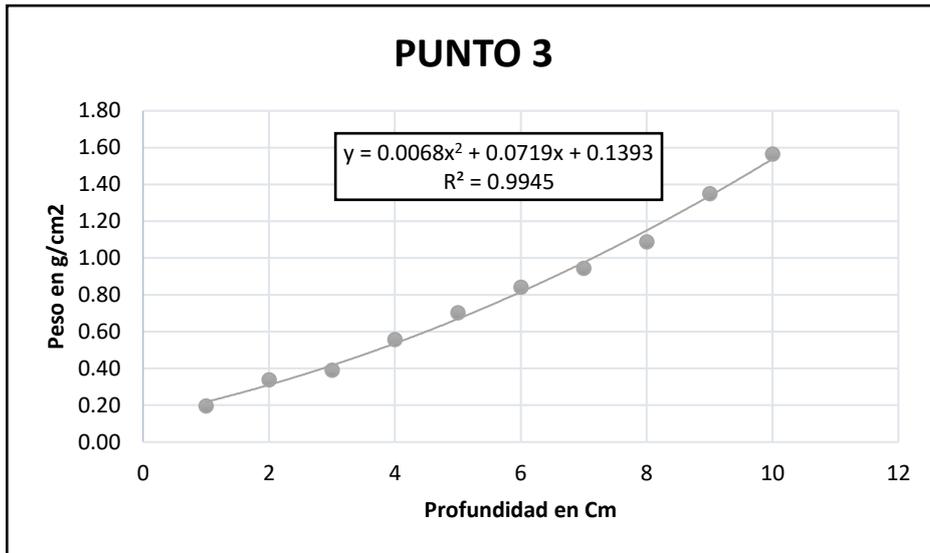


Figura 21. Ecuación generada a partir de los datos obtenidos de los cubos de 1 a 10 cm en el punto número 3. Fuente: Elaboración propia.

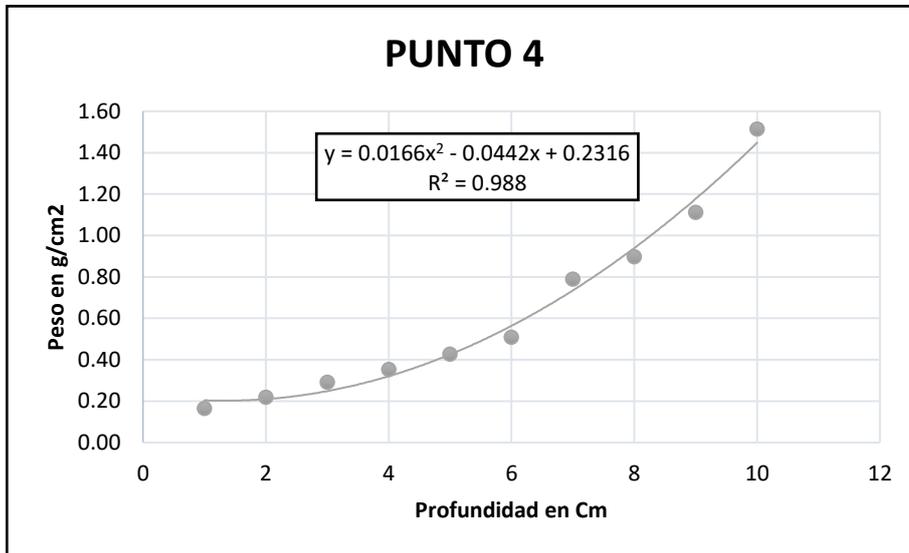


Figura 22. Ecuación generada a partir de los datos obtenidos de los cubos de 1 a 10 cm en el punto número 4. Fuente: Elaboración propia.

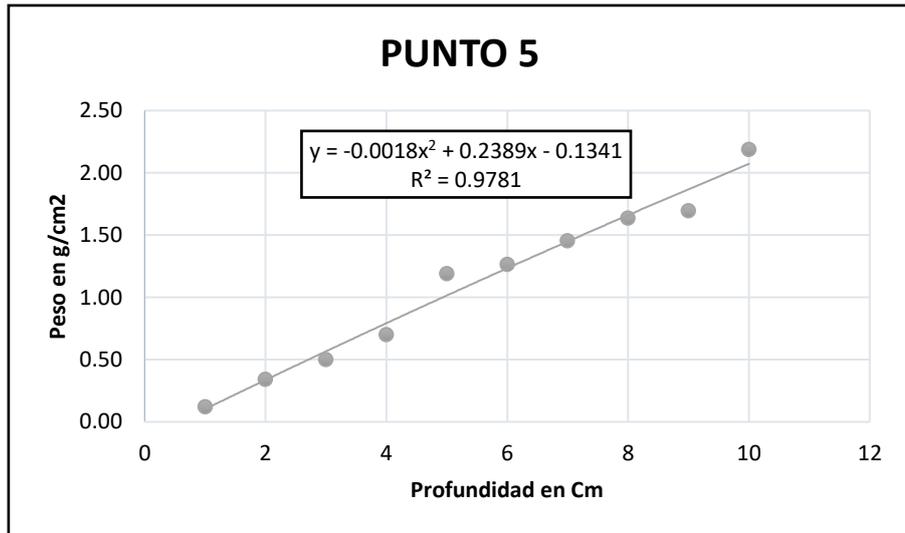


Figura 23. Ecuación generada a partir de los datos obtenidos de los cubos de 1 a 10 cm en el punto número 5. Fuente: Elaboración propia.

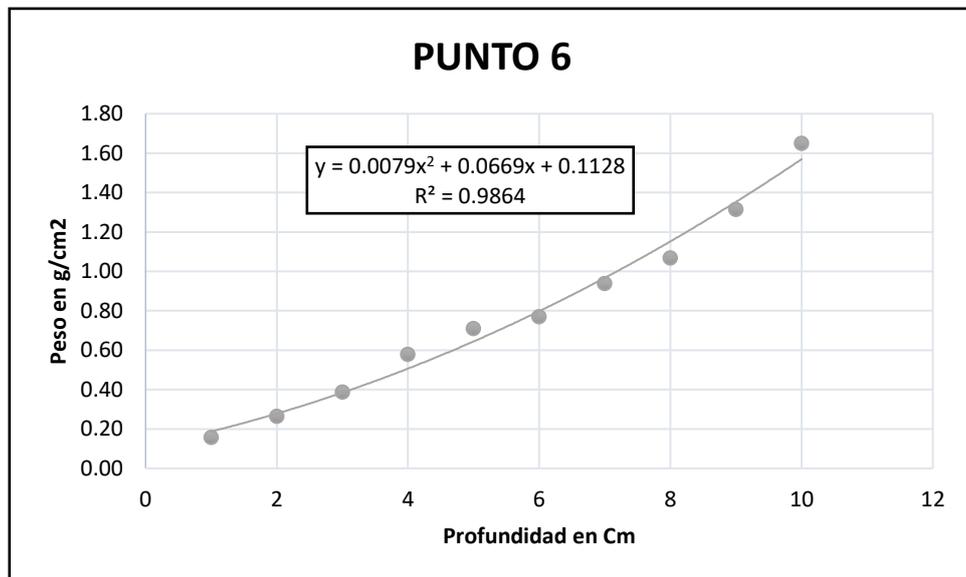


Figura 24. Ecuación generada a partir de los datos obtenidos de los cubos de 1 a 10 cm en el punto número 6. Fuente: Elaboración propia.

APÉNDICE 2: Aplicación de la fórmula para hallar la Eficiencia Neta del Ecosistema (ENE)

Tabla 10

*Aplicación de la fórmula para hallar la Eficiencia Neta del Ecosistema (ENE) para las muestras del mes de junio*

	FÓRMULA	DESCRIPCIÓN
<b>PUNTOS</b>	$Ac = G - \sum \left( \frac{Ps}{a} \right)$	<b>Donde:</b> Ac = Acumulación de un estrato “n”. G = Ganancia Ps = Perdida de sustrato (Gramos) a = Área del barreno (cm <sup>2</sup> )
<b>PUNTO 1</b>	$Ac = 0.31 \text{ g/cm}^2 - \left( \frac{3.43 \text{ g}}{20.27 \text{ cm}^2} \right)$ $Ac = 0.31 \text{ g/cm}^2 - 0.17 \text{ g/cm}^2$ $Ac = 0.14 \text{ g/cm}^2$	<b>Donde:</b> Ac = Acumulación de un estrato “n”. G = 0.31 g/cm <sup>2</sup> Ps = 3.43 g a = 20.27 cm <sup>2</sup>
<b>PUNTO 2</b>	$Ac = 0.01 \text{ g/cm}^2 - \left( \frac{9.18 \text{ g}}{20.27 \text{ cm}^2} \right)$ $Ac = 0.01 \text{ g/cm}^2 - 0.45 \text{ g/cm}^2$ $Ac = -0.44 \text{ g/cm}^2$	<b>Donde:</b> Ac = Acumulación de un estrato “n”. G = 0.01 g/cm <sup>2</sup> Ps = 9.18 g a = 20.27 cm <sup>2</sup>
<b>PUNTO 3</b>	$Ac = 0.14 \text{ g/cm}^2 - \left( \frac{9.47 \text{ g}}{20.27 \text{ cm}^2} \right)$ $Ac = 0.14 \text{ g/cm}^2 - 0.47 \text{ g/cm}^2$ $Ac = -0.33 \text{ g/cm}^2$	<b>Donde:</b> Ac = Acumulación de un estrato “n”. G = 0.14 g/cm <sup>2</sup> Ps = 9.47 g a = 20.27 cm <sup>2</sup>
<b>PUNTO 4</b>	$Ac = 0.22 \text{ g/cm}^2 - \left( \frac{2.58 \text{ g}}{20.27 \text{ cm}^2} \right)$ $Ac = 0.22 \text{ g/cm}^2 - 0.13 \text{ g/cm}^2$ $Ac = 0.09 \text{ g/cm}^2$	<b>Donde:</b> Ac = Acumulación de un estrato “n”. G = 0.22 g/cm <sup>2</sup> Ps = 2.58 g a = 20.27 cm <sup>2</sup>
<b>PUNTO 5</b>	$Ac = -0.11 \text{ g/cm}^2 - \left( \frac{15.8 \text{ g}}{20.27 \text{ cm}^2} \right)$ $Ac = -0.11 \text{ g/cm}^2 - 0.78 \text{ g/cm}^2$ $Ac = -0.89 \text{ g/cm}^2$	<b>Donde:</b> Ac = Acumulación de un estrato “n”. G = -0.11 g/cm <sup>2</sup> Ps = 15.8 a = 20.27 cm <sup>2</sup>
<b>PUNTO 6</b>	$Ac = 0.13 \text{ g/cm}^2 - \left( \frac{5.13 \text{ g}}{20.27 \text{ cm}^2} \right)$ $Ac = 0.13 \text{ g/cm}^2 - 0.25 \text{ g/cm}^2$ $Ac = -0.12 \text{ g/cm}^2$	<b>Donde:</b> Ac = Acumulación de un estrato “n”. G = 0.13 g/cm <sup>2</sup> Ps = 5.13 a = 20.27 cm <sup>2</sup>

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 11

Aplicación de la fórmula para hallar la Eficiencia Neta del Ecosistema (ENE) para las muestras del mes de julio

	FÓRMULA	DESCRIPCIÓN
<b>PUNTOS</b>	$Ac = G - \sum \left( \frac{Ps}{a} \right)$	<b>Donde:</b> Ac = Acumulación de un estrato “n”. G = Ganancia Ps = Perdida de sustrato (Gramos) a = Área del barreno (cm <sup>2</sup> )
<b>PUNTO 1</b>	$Ac = 0.31 \text{ g/cm}^2 - \left( \frac{5.33 \text{ g}}{20.27 \text{ cm}^2} \right)$ $Ac = 0.31 \text{ g/cm}^2 - 0.26 \text{ g/cm}^2$ $Ac = 0.05 \text{ g/cm}^2$	<b>Donde:</b> Ac = Acumulación de un estrato “n”. G = 0.31 g/cm <sup>2</sup> Ps = 5.33 g a = 20.27 cm <sup>2</sup>
<b>PUNTO 2</b>	$Ac = 0.01 \text{ g/cm}^2 - \left( \frac{13.86 \text{ g}}{20.27 \text{ cm}^2} \right)$ $Ac = 0.01 \text{ g/cm}^2 - 0.68 \text{ g/cm}^2$ $Ac = -0.67 \text{ g/cm}^2$	<b>Donde:</b> Ac = Acumulación de un estrato “n”. G = 0.01 g/cm <sup>2</sup> Ps = 13.86 g a = 20.27 cm <sup>2</sup>
<b>PUNTO 3</b>	$Ac = 0.15 \text{ g/cm}^2 - \left( \frac{7.82 \text{ g}}{20.27 \text{ cm}^2} \right)$ $Ac = 0.15 \text{ g/cm}^2 - 0.38 \text{ g/cm}^2$ $Ac = -0.23 \text{ g/cm}^2$	<b>Donde:</b> Ac = Acumulación de un estrato “n”. G = 0.15 g/cm <sup>2</sup> Ps = 7.82 g a = 20.27 cm <sup>2</sup>
<b>PUNTO 4</b>	$Ac = 0.22 \text{ g/cm}^2 - \left( \frac{4.42 \text{ g}}{20.27 \text{ cm}^2} \right)$ $Ac = 0.22 \text{ g/cm}^2 - 0.22 \text{ g/cm}^2$ $Ac = 0 \text{ g/cm}^2$	<b>Donde:</b> Ac = Acumulación de un estrato “n”. G = 0.22 g/cm <sup>2</sup> Ps = 4.42 g a = 20.27 cm <sup>2</sup>
<b>PUNTO 5</b>	$Ac = -0.11 \text{ g/cm}^2 - \left( \frac{27.33 \text{ g}}{20.27 \text{ cm}^2} \right)$ $Ac = -0.11 \text{ g/cm}^2 - 1.34 \text{ g/cm}^2$ $Ac = -1.45 \text{ g/cm}^2$	<b>Donde:</b> Ac = Acumulación de un estrato “n”. G = -0.11 g/cm <sup>2</sup> Ps = 27.33 g a = 20.27 cm <sup>2</sup>
<b>PUNTO 6</b>	$Ac = 0.13 \text{ g/cm}^2 - \left( \frac{18.67 \text{ g}}{20.27 \text{ cm}^2} \right)$ $Ac = 0.13 \text{ g/cm}^2 - 0.92 \text{ g/cm}^2$ $Ac = -0.79 \text{ g/cm}^2$	<b>Donde:</b> Ac = Acumulación de un estrato “n”. G = 0.13 g/cm <sup>2</sup> Ps = 18.67 g a = 20.27 cm <sup>2</sup>

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 12

Aplicación de la fórmula para hallar la Eficiencia Neta del Ecosistema (ENE) para las muestras del mes de setiembre

	FÓRMULA	DESCRIPCIÓN
<b>PUNTOS</b>	$Ac = G - \sum \left( \frac{Ps}{a} \right)$	<b>Donde:</b> Ac = Acumulación de un estrato “n”. G = Ganancia Ps = Pérdida de sustrato (Gramos) a = Área del barreno (cm <sup>2</sup> )
<b>PUNTO 1</b>	$Ac = 0.30 \text{ g/cm}^2 - \left( \frac{7.72 \text{ g}}{20.27 \text{ cm}^2} \right)$ $Ac = 0.30 \text{ g/cm}^2 - 0.38 \text{ g/cm}^2$ $Ac = -0.08 \text{ g/cm}^2$	<b>Donde:</b> Ac = Acumulación de un estrato “n”. G = 0.30 g/cm <sup>2</sup> Ps = 7.72 g a = 20.27 cm <sup>2</sup>
<b>PUNTO 2</b>	$Ac = 0.02 \text{ g/cm}^2 - \left( \frac{13.36 \text{ g}}{20.27 \text{ cm}^2} \right)$ $Ac = 0.02 \text{ g/cm}^2 - 0.66 \text{ g/cm}^2$ $Ac = -0.64 \text{ g/cm}^2$	<b>Donde:</b> Ac = Acumulación de un estrato “n”. G = 0.02 g/cm <sup>2</sup> Ps = 13.36 g a = 20.27 cm <sup>2</sup>
<b>PUNTO 3</b>	$Ac = 0.16 \text{ g/cm}^2 - \left( \frac{12.48 \text{ g}}{20.27 \text{ cm}^2} \right)$ $Ac = 0.16 \text{ g/cm}^2 - 0.62 \text{ g/cm}^2$ $Ac = -0.46 \text{ g/cm}^2$	<b>Donde:</b> Ac = Acumulación de un estrato “n”. G = 0.16 g/cm <sup>2</sup> Ps = 12.48 g a = 20.27 cm <sup>2</sup>
<b>PUNTO 4</b>	$Ac = 0.21 \text{ g/cm}^2 - \left( \frac{5.31 \text{ g}}{20.27 \text{ cm}^2} \right)$ $Ac = 0.21 \text{ g/cm}^2 - 0.26 \text{ g/cm}^2$ $Ac = -0.05 \text{ g/cm}^2$	<b>Donde:</b> Ac = Acumulación de un estrato “n”. G = 0.21 g/cm <sup>2</sup> Ps = 5.31 g a = 20.27 cm <sup>2</sup>
<b>PUNTO 5</b>	$Ac = -0.09 \text{ g/cm}^2 - \left( \frac{32.02 \text{ g}}{20.27 \text{ cm}^2} \right)$ $Ac = -0.09 \text{ g/cm}^2 - 1.58 \text{ g/cm}^2$ $Ac = -1.67 \text{ g/cm}^2$	<b>Donde:</b> Ac = Acumulación de un estrato “n”. G = -0.09 g/cm <sup>2</sup> Ps = 32.02 g a = 20.27 cm <sup>2</sup>
<b>PUNTO 6</b>	$Ac = 0.13 \text{ g/cm}^2 - \left( \frac{11.08 \text{ g}}{20.27 \text{ cm}^2} \right)$ $Ac = 0.13 \text{ g/cm}^2 - 0.55 \text{ g/cm}^2$ $Ac = -0.42 \text{ g/cm}^2$	<b>Donde:</b> Ac = Acumulación de un estrato “n”. G = 0.13 g/cm <sup>2</sup> Ps = 11.08 g a = 20.27 cm <sup>2</sup>

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 13

Aplicación de la fórmula para hallar la Eficiencia Neta del Ecosistema (ENE) para las muestras del mes de noviembre

	FÓRMULA	DESCRIPCIÓN
<b>PUNTOS</b>	$Ac = G - \sum \left( \frac{Ps}{a} \right)$	<b>Donde:</b> Ac = Acumulación de un estrato “n”. G = Ganancia Ps = Pérdida de sustrato (Gramos) a = Área del barreno (cm <sup>2</sup> )
<b>PUNTO 1</b>	$Ac = 0.28 \text{ g/cm}^2 - \left( \frac{6.26 \text{ g}}{20.27 \text{ cm}^2} \right)$ $Ac = 0.28 \text{ g/cm}^2 - 0.31 \text{ g/cm}^2$ $Ac = -0.03 \text{ g/cm}^2$	<b>Donde:</b> Ac = Acumulación de un estrato “n”. G = 0.28 g/cm <sup>2</sup> Ps = 6.26 g a = 20.27 cm <sup>2</sup>
<b>PUNTO 2</b>	$Ac = 0.03 \text{ g/cm}^2 - \left( \frac{9.36 \text{ g}}{20.27 \text{ cm}^2} \right)$ $Ac = 0.03 \text{ g/cm}^2 - 0.46 \text{ g/cm}^2$ $Ac = -0.43 \text{ g/cm}^2$	<b>Donde:</b> Ac = Acumulación de un estrato “n”. G = 0.03 g/cm <sup>2</sup> Ps = 9.36 g a = 20.27 cm <sup>2</sup>
<b>PUNTO 3</b>	$Ac = 0.17 \text{ g/cm}^2 - \left( \frac{10.3 \text{ g}}{20.27 \text{ cm}^2} \right)$ $Ac = 0.17 \text{ g/cm}^2 - 0.51 \text{ g/cm}^2$ $Ac = -0.34 \text{ g/cm}^2$	<b>Donde:</b> Ac = Acumulación de un estrato “n”. G = 0.17 g/cm <sup>2</sup> Ps = 10.3 g a = 20.27 cm <sup>2</sup>
<b>PUNTO 4</b>	$Ac = 0.21 \text{ g/cm}^2 - \left( \frac{7.4 \text{ g}}{20.27 \text{ cm}^2} \right)$ $Ac = 0.21 \text{ g/cm}^2 - 0.26 \text{ g/cm}^2$ $Ac = -0.05 \text{ g/cm}^2$	<b>Donde:</b> Ac = Acumulación de un estrato “n”. G = 0.21 g/cm <sup>2</sup> Ps = 7.4 g a = 20.27 cm <sup>2</sup>
<b>PUNTO 5</b>	$Ac = -0.06 \text{ g/cm}^2 - \left( \frac{24.81 \text{ g}}{20.27 \text{ cm}^2} \right)$ $Ac = -0.06 \text{ g/cm}^2 - 1.22 \text{ g/cm}^2$ $Ac = -1.28 \text{ g/cm}^2$	<b>Donde:</b> Ac = Acumulación de un estrato “n”. G = -0.06 g/cm <sup>2</sup> Ps = 24.81 g a = 20.27 cm <sup>2</sup>
<b>PUNTO 6</b>	$Ac = 0.14 \text{ g/cm}^2 - \left( \frac{10.93 \text{ g}}{20.27 \text{ cm}^2} \right)$ $Ac = 0.14 \text{ g/cm}^2 - 0.54 \text{ g/cm}^2$ $Ac = -0.40 \text{ g/cm}^2$	<b>Donde:</b> Ac = Acumulación de un estrato “n”. G = 0.14 g/cm <sup>2</sup> Ps = 10.93 g a = 20.27 cm <sup>2</sup>

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 14

Aplicación de la fórmula para hallar la Eficiencia Neta del Ecosistema (ENE) para las muestras del mes de enero de 2019

	FÓRMULA	DESCRIPCIÓN
<b>PUNTOS</b>	$Ac = G - \sum \left( \frac{Ps}{a} \right)$	<b>Donde:</b> Ac = Acumulación de un estrato “n”. G = Ganancia Ps = Pérdida de sustrato (Gramos) a = Área del barreno (cm <sup>2</sup> )
<b>PUNTO 1</b>	$Ac = 0.28 \text{ g/cm}^2 - \left( \frac{6.17 \text{ g}}{20.27 \text{ cm}^2} \right)$ $Ac = 0.28 \text{ g/cm}^2 - 0.30 \text{ g/cm}^2$ $Ac = -0.02 \text{ g/cm}^2$	<b>Donde:</b> Ac = Acumulación de un estrato “n”. G = 0.28 g/cm <sup>2</sup> Ps = 6.17 g a = 20.27 cm <sup>2</sup>
<b>PUNTO 2</b>	$Ac = 0.03 \text{ g/cm}^2 - \left( \frac{9.9 \text{ g}}{20.27 \text{ cm}^2} \right)$ $Ac = 0.03 \text{ g/cm}^2 - 0.49 \text{ g/cm}^2$ $Ac = -0.46 \text{ g/cm}^2$	<b>Donde:</b> Ac = Acumulación de un estrato “n”. G = 0.03 g/cm <sup>2</sup> Ps = 9.9 g a = 20.27 cm <sup>2</sup>
<b>PUNTO 3</b>	$Ac = 0.18 \text{ g/cm}^2 - \left( \frac{9.4 \text{ g}}{20.27 \text{ cm}^2} \right)$ $Ac = 0.18 \text{ g/cm}^2 - 0.46 \text{ g/cm}^2$ $Ac = -0.28 \text{ g/cm}^2$	<b>Donde:</b> Ac = Acumulación de un estrato “n”. G = 0.18 g/cm <sup>2</sup> Ps = 9.4 g a = 20.27 cm <sup>2</sup>
<b>PUNTO 4</b>	$Ac = 0.20 \text{ g/cm}^2 - \left( \frac{9.39 \text{ g}}{20.27 \text{ cm}^2} \right)$ $Ac = 0.20 \text{ g/cm}^2 - 0.46 \text{ g/cm}^2$ $Ac = -0.26 \text{ g/cm}^2$	<b>Donde:</b> Ac = Acumulación de un estrato “n”. G = 0.20 g/cm <sup>2</sup> Ps = 9.39 g a = 20.27 cm <sup>2</sup>
<b>PUNTO 5</b>	$Ac = -0.04 \text{ g/cm}^2 - \left( \frac{20.66 \text{ g}}{20.27 \text{ cm}^2} \right)$ $Ac = -0.04 \text{ g/cm}^2 - 1.02 \text{ g/cm}^2$ $Ac = -1.06 \text{ g/cm}^2$	<b>Donde:</b> Ac = Acumulación de un estrato “n”. G = -0.04 g/cm <sup>2</sup> Ps = 20.66 g a = 20.27 cm <sup>2</sup>
<b>PUNTO 6</b>	$Ac = 0.15 \text{ g/cm}^2 - \left( \frac{14.87 \text{ g}}{20.27 \text{ cm}^2} \right)$ $Ac = 0.15 \text{ g/cm}^2 - 0.73 \text{ g/cm}^2$ $Ac = -0.58 \text{ g/cm}^2$	<b>Donde:</b> Ac = Acumulación de un estrato “n”. G = 0.15 g/cm <sup>2</sup> Ps = 14.87 g a = 20.27 cm <sup>2</sup>

Fuente: Elaboración propia.

APÉNDICE 3: Constancia de laboratorio de la UNCP del secado de las muestras en los seis puntos de muestreo.



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CENTRO DEL PERÚ**  
**FACULTAD DE CIENCIAS APLICADAS**  
*Ciudad Universitaria Carretera central Km. 4 – Piscochaca*  
*Teléfono 329988 – 321902*



## CONSTANCIA

Quien suscribe, Ing. Claudio Paulino Limaymanta Sulca, Jefe de laboratorios de la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial de la Facultad de Ciencias Aplicadas de la Universidad Nacional del Centro del Perú, hace constar que los estudiantes Ávila Zavala, Danilo, identificado con DNI N°70178984 y Alíaga Oroscó, Alejandro Ángel con DNI N°70238588, de la Universidad Católica Sedes Sapientiae, han realizado labores de secado de muestras en la estufa Memmert desde el 12/03/2016 hasta el 23/03/2016.

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

Tarma, 18 de abril de 2016.

Ing. LIMAYMANTA SULCA, Claudio Paulino  
Jefe de Laboratorios AIT