



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE CIENCIAS**

**CARRERA INGENIERÍA EN BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL**

**“CUANTIFICACIÓN DEL FLUJO DE CARBONO EN SUELOS DE  
BOFEDALES DEL ÁREA DE CONSERVACIÓN COMUNITARIA  
CUNUYACU EN LA RESERVA DE PRODUCCIÓN DE FAUNA  
CHIMBORAZO.”**

**Trabajo de Titulación**

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar al grado académico de:

**INGENIERA EN BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL**

**AUTORES: WENDY ANABEL CURISACA MALAN**

**JESSICA ANABEL NARVÁEZ CASTILLO**

**DIRECTORA: Dra. MAGDY MILENY ECHERRÍA GUADALUPE PhD**

Riobamba-Ecuador

2023

**©2023, Wendy Anabel Curisaca Malán & Jessica Anabel Narváez Castillo**

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

Nosotras, WENDY ANABEL CURISACA MALÁN y JESSICA ANABEL NARVÁEZ CASTILLO, declaramos que el presente trabajo de titulación es de nuestra autoría y los resultados de este son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autores asumimos la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 22 de febrero del 2023



**Wendy Anabel Curisaca Malán**  
**0605060110**



**Jessica Anabel Narváez Castillo**  
**0302799317**

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS**  
**CARRERA INGENIERÍA EN BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL**

El Tribunal del Trabajo de Titulación certifica que: El Trabajo de Titulación: Tipo: Proyecto de Investigación, **“CUANTIFICACIÓN DEL FLUJO DE CARBONO EN SUELOS DE BOFEDALES DEL ÁREA DE CONSERVACIÓN COMUNITARIA CUNUYACU EN LA RESERVA DE PRODUCCIÓN DE FAUNA CHIMBORAZO.”**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del trabajo de titulación, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal autoriza su presentación.

FIRMA

FECHA

Ing. Nancy Elizabeth Chariguamán Maurisaca  
**PRESIDENTE DEL TRIBUNAL**

2023-02-22

Dra. Magdy Mileny Echeverría Guadalupe  
**DIRECTOR DEL TRABAJO  
DE TITULACIÓN**

2023-02-22

Ing. Carlos Rolando Rosero Erazo  
**ASESOR DEL TRABAJO  
DE TITULACIÓN**

2023-02-22

## DEDICATORIA

A mis amados padres Diana y Carlos que me han forjado como la persona que soy en la actualidad, con sus valores y sabios consejos; todos mis logros se los debo a ellos por su apoyo económico y emocional. A mi abuelita Lola que es como mi segunda madre, que estuvo en cada momento brindándome todo su cariño sincero e incondicional. A mis hermanos Ivonne, Eder y Jade quienes siempre han creído en mí y en mis capacidades. A mi sobrino Yeray quién con sus locuras y sonrisas me alegra cada día. A mi Malancito que lamentablemente ya no está con nosotros, pero sé que desde arriba está feliz de ver a su sobrina triunfar. A mis tías y primas quienes siempre han estado presentes en cada uno de mis logros, dándome palabras de aliento para no decaer jamás. Y finalmente a mis amigas Mar, Joz y Jessy; por estar presentes en los buenos y malos momentos.

Wendy

El presente trabajo lo dedico a Dios, quien ha sido mi guía y fortaleza durante esta trayectoria estudiantil matizada de éxitos y esporádicas desilusiones.

Dedico con todo respeto y gratitud a todos esos seres queridos que me brindaron su apoyo incondicional: A mis padres Luz María y Sergio, a mi hermano Luis Antonio quienes con mucho amor siempre me han apoyado y me han sabido orientar con sus buenos consejos en todo momento. A mi ángel, mi querida abuelita Laura, cuyo amor por mí no conocía límites, siempre estuvo ahí con sus consejos y oraciones y sé que estará orgullosa en el más allá por la cristalización de mis más caros anhelos. Finalmente, este trabajo lo dedico a mis amigas Jenny, Mar y Wen por su compañía en este trayecto y por estar presentes cuando más lo necesitaba.

Jessica

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradecemos primeramente a Dios por darnos la fuerza y fe para creer en todo aquello que ante nuestros ojos es imposible.

Al Ing. Franklin Cargua principal colaborador durante todo este proceso, gracias por su ayuda y su valioso aporte intelectual para la cristalización de una de nuestras más grandes aspiraciones.

A nuestra tutora la Dra. Magdy Echeverría quién junto al Ing. Carlos Rosero, nos guiaron y apoyaron durante el proceso del trabajo de titulación.

También a nuestros amigos, amigas y familiares, que con sus palabras de aliento nos motivaron día tras día a luchar por nuestros sueños.

De igual manera nuestro agradecimiento a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, a toda la Facultad de Ciencias y a nuestros profesores, quienes nos ayudaron a desarrollarnos profesionalmente día a día con su invaluable conocimiento. Agradecemos a todos y cada uno de ustedes por su paciencia, dedicación, apoyo incondicional y amistad.

Wendy & Jessica

## ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	xi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xii
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	xiii
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xiv
ÍNDICE DE ABREVIATURAS.....	xv
RESUMEN.....	xvi
ABSTRACT.....	xvii
INTRODUCCIÓN.....	1

### CAPITULO I

1.	Problema de la investigación .....	2
1.1.	Planteamiento del problema.....	2
1.2.	Limitaciones y delimitaciones .....	2
1.3.	Problema general de investigación .....	2
1.4.	Problemas específicos de investigación .....	3
1.5.	Objetivos.....	4
1.5.1.	<i>Objetivo General</i> .....	4
1.5.2.	<i>Objetivos Específicos</i> .....	4
1.6.	Justificación.....	4
1.7.	Hipótesis.....	5
1.7.1.	<i>Hipótesis general</i> .....	5
1.7.2.	<i>Hipótesis específica</i> .....	5

### CAPITULO II

2.	MARCO TEÓRICO.....	7
2.1.	Antecedentes de investigación.....	7

<b>2.2.</b>	<b>Referencias teóricas</b> .....	8
<b>2.2.1.</b>	<b>Bofedales</b> .....	8
<b>2.2.1.1.</b>	<i>Clasificación de bofedales</i> .....	9
<b>2.2.1.2.</b>	<i>Procesos ecológicos en los bofedales</i> .....	9
<b>2.2.1.3.</b>	<i>Servicios ecosistémicos de bofedales</i> .....	9
<b>2.2.1.4.</b>	<i>Indicadores del estado del ecosistema de bofedales</i> .....	10
<b>2.2.2.</b>	<b>Suelo</b> .....	12
<b>2.2.2.1.</b>	<i>Propiedades del suelo</i> .....	12
<b>2.2.3.</b>	<b>Materia orgánica</b> .....	13
<b>2.2.4.</b>	<b>Carbono</b> .....	14
<b>2.2.4.1.</b>	<i>Ciclo del carbono</i> .....	14
<b>2.2.4.3.</b>	<i>Sumideros de carbono</i> .....	17
<b>2.2.5.</b>	<b>Actividad microbiana</b> .....	18
<b>2.2.6.</b>	<b>Respiración edáfica</b> .....	18
<b>2.2.6.1.</b>	<i>Procesos de respiración del suelo</i> .....	19
<b>2.2.6.2.</b>	<i>Factores que influyen sobre la tasa de respiración del suelo</i> .....	19
<b>2.3.</b>	<b>Marco legal</b> .....	22
<b>2.3.1.</b>	<i>Código orgánico del ambiente</i> .....	22
<b>2.3.2.</b>	<i>Ley para la preservación de zonas de reserva y parques nacionales</i> .....	23
<b>2.3.3.</b>	<i>Ley forestal y de conservación de áreas naturales y vida silvestre</i> .....	23

### CAPÍTULO III

<b>3.</b>	<b>MARCO METODOLÓGICO</b> .....	24
<b>3.1.</b>	<b>Enfoque de investigación</b> .....	24
<b>3.2.</b>	<b>Nivel de investigación</b> .....	24
<b>3.3.</b>	<b>Diseño de investigación</b> .....	24
<b>3.4.</b>	<b>Tipo de estudio</b> .....	25
<b>3.5.</b>	<b>Población y planificación, selección y cálculo del tamaño de la muestra</b> .....	25
<b>3.5.1.</b>	<i>Localización del estudio</i> .....	25

3.5.2.	<i>Población de estudio</i> .....	25
3.5.3.	<i>Tamaño de la muestra</i> .....	26
3.6.	<b>Métodos, técnicas e instrumentos de investigación</b> .....	26
3.6.1.1.	<i>Diseño de muestreo</i> .....	26
3.6.1.2.	<i>Recolección de muestras</i> .....	27
3.6.1.3.	<i>Técnica de recolección de muestras para materia orgánica, conductividad, pH y color</i> .....	<b>28</b>
3.6.1.4.	<i>Técnica de recolección de muestras para carbono orgánico</i> .....	28
3.6.1.5.	<i>Técnica de recolección de muestras para densidad y % de humedad</i> .....	29
3.6.1.6.	<i>Técnica de recolección de muestras para respiración edáfica</i> .....	29
3.6.2.2.	<i>Determinación de parámetros fisicoquímicos del suelo</i> .....	31

#### CAPÍTULO IV

4.	<b>MARCO DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS</b> .....	37
4.1.	<b>Respiración edáfica</b> .....	37
4.2.	<b>Evaluación del carbono orgánico total</b> .....	39
4.2.1.	<i>Análisis de propiedades fisicoquímicas del suelo</i> .....	39
4.2.1.1.	<i>Color y textura</i> .....	39
4.2.1.2.	<i>pH y conductividad eléctrica</i> .....	41
4.2.1.3.	<i>Densidad aparente, humedad y materia orgánica</i> .....	<b>43</b>
4.2.2.	<i>Carbono orgánico en el suelo</i> .....	45
4.2.3.	<i>Biomasa aérea y subterránea y necromasa</i> .....	47
4.3.	<b>Correlación del flujo de carbono</b> .....	48
4.4.	<b>Discusión de resultados</b> .....	49
4.4.1.	<i>Respiración edáfica</i> .....	49
4.4.2.	<i>Carbono orgánico total</i> .....	50
4.4.2.1.	<i>Parámetros físicos y químicos para la determinación del COT</i> .....	50
4.4.2.2.	<i>Carbono orgánico en el suelo (COS</i> .....	<b>52</b>
4.4.2.3.	<i>Biomasa aérea, subterránea y necromasa</i> .....	52

<b>4.4.3. Correlación del flujo de carbono .....</b>	<b>53</b>
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>54</b>
<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>55</b>

**GLOSARIO**

**BIBLIOGRAFÍA**

**ANEXOS**

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1-2:</b>	Tipos de servicios ecosistémicos que brindan los bofedales.....	10
<b>Tabla 1-4:</b>	Datos de los valores de respiración de los conglomerados en los días 1 y 5.....	38
<b>Tabla 2-4:</b>	Datos de color y textura del suelo a 0-30 cm de profundidad.....	40
<b>Tabla 3-4:</b>	Datos del color y textura del suelo a 30-60 cm de profundidad.....	41

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1-3:</b>	Mapa del Área de Conservación Comunitaria Cunuyacu .....	25
<b>Figura 2-3:</b>	Diseño del muestreo en campo .....	27
<b>Figura 3-3:</b>	Mapa del Área de Conservación Comunitaria Cunuyacu. ....	28
<b>Figura 4-3:</b>	Tablas de color de Munsell .....	33
<b>Figura 5-3:</b>	Guía resumen para la determinación al tacto para diferentes clases texturales ...	34
<b>Figura 1-4:</b>	Correlación del flujo de carbono del suelo en los tres reservorios.....	48

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

<b>Gráfico 1-4:</b>	Variación de la respiración edáfica del día 1 y 5 de todos los conglomerados....	39
<b>Gráfico 2-4:</b>	Diagrama de caja del pH y conductividad del suelo a una profundidad de 0-30 cm.....	42
<b>Gráfico 3-4:</b>	Diagrama de caja del pH y conductividad del suelo a una profundidad de 30-60 cm.....	43
<b>Gráfico 4-4:</b>	Diagrama de caja de la densidad aparente, humedad y materia orgánica del suelo a una profundidad de 0-30 cm. ....	44
<b>Gráfico 5-4:</b>	Diagrama de caja de la densidad aparente, humedad y materia orgánica del suelo a una profundidad de 30-60 cm. ....	45
<b>Gráfico 6-4:</b>	Diagrama de caja del Carbono Orgánico del suelo a una profundidad de 0-30 cm.....	46
<b>Gráfico 7-4:</b>	Diagrama de caja del Carbono Orgánico del suelo a una profundidad de 30-60 cm.....	47
<b>Gráfico 8-4:</b>	Stock de carbono del suelo en los seis conglomerados de los tres reservorios....	48
<b>Gráfico 9-4:</b>	Matriz de correlación del flujo de carbono en los tres reservorios. ....	49

## **ÍNDICE DE ANEXOS**

**ANEXO A:** RECOLECCIÓN DE MUESTRAS

**ANEXO B:** DETERMINACIÓN DE RESPIRACIÓN EDÁFICA

**ANEXO C:** DETERMINACIÓN DE PH Y CONDUCTIVIDAD EN EL LABORATORIO

**ANEXO D:** DETERMINACIÓN DE COLOR

**ANEXO E:** MATERIA ORGÁNICA

**ANEXO F:** DETERMINACIÓN DE MONOLITOS

**ANEXO G:** DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD

## ÍNDICE DE ABREVIATURAS

<b>%</b>	Porcentaje
<b>°C</b>	Grados centígrados
<b>C</b>	Carbono
<b>CE</b>	Conductividad eléctrica
<b>cm</b>	Centímetro
<b>CO</b>	Monóxido de carbono
<b>COT</b>	Carbono Orgánico Total
<b>CO2</b>	Dióxido de Carbono
<b>g</b>	Gramos
<b>H+</b>	Iones de hidrógeno
<b>h</b>	Hora
<b>Ha</b>	Hectáreas
<b>Kg</b>	Kilogramo
<b>Km</b>	Kilometro
<b>Kpa</b>	Kilopascales
<b>mg</b>	Miligramos
<b>ml</b>	Mililitros
<b>mm</b>	Milímetros
<b>MO</b>	Materia Orgánica
<b>MOS</b>	Materia Orgánica del suelo
<b>N</b>	Nitrógeno
<b>NO3</b>	Nitrato
<b>PP</b>	Productividad primaria
<b>TC</b>	Toneladas de carbono

## RESUMEN

El objetivo de la investigación fue cuantificar el flujo de carbono en suelos de bofedales del Área de Conservación Comunitaria Cunuyacu en la Reserva de Producción de Fauna Chimborazo. Para lo cual se realizó un muestreo en los meses de julio y agosto, y se utilizó la ecuación de poblaciones finitas para determinar el tamaño de la muestra, obteniendo 18 parcelas que representan 6 conglomerados; en cada parcela se tomaron 3 puntos teniendo un total de 54 puntos de muestreo a lo largo del área de estudio. La toma de muestras se llevó a cabo con un barreno, se extrajeron muestras de 0-30 y 30-60 cm de profundidad, para posteriormente en el laboratorio ser sometidas al método de calcinación para la determinación de la materia y carbono orgánico. También, se aplicó la técnica de los monolitos para determinar el carbono en los tres depósitos de estudio (biomasa aérea, necromasa y biomasa subterránea). En cuanto a la determinación de la respiración edáfica, se realizó una muestra compuesta de 5 puntos aleatorios en cada conglomerado, y posteriormente fueron analizadas en el laboratorio con el sistema OxiTop. Los análisis estadísticos se realizaron mediante el software Infostat, para establecer las correlaciones durante las etapas de respiración y el almacenamiento de carbono orgánico total. Se concluye que los suelos de los bofedales almacenan 128 g C y liberan 0.099 mg CO<sub>2</sub>/Kg de suelo seco×h<sup>-1</sup>, lo que indica que esta área de estudio actúa como un gran sumidero de carbono. Se recomienda que se realicen monitoreos en la época lluviosa para conocer si existen variaciones en cuanto a la respiración edáfica y el contenido de carbono.

**Palabras clave:** <FLUJO DE CARBONO>, <CARBONO ORGÁNICO>, <BOFEDAL>, <RESPIRACIÓN EDÁFICA>, <BIOMASA AÉREA>, <NECROMASA>, <RAICILLAS>

0396-DBRA-UPT-2023



## ABSTRACT

This research aimed to quantify the carbon flow in wetland soils of the Cunuyacu Community Conservation Area in the Chimborazo Fauna Production Reserve. Sampling was carried out in July and August, and the equation of finite populations was used to determine the sample size, obtaining 18 plots that represent six conglomerates; In each plot, 3 points were taken, having a total of 54 + sampling points throughout the study area. Sampling was carried out with a borehole; samples of 0-30 and 30-60 cm depth were extracted, to be later subjected to the calcination method in the laboratory to determine matter and organic carbon. Also, the monolith technique was applied to determine the carbon in the three study deposits (aerial biomass, necromass and underground biomass). Concerning the determination of edaphic respiration, a sample composed of 5 random points in each conglomerate was made, and later they were analyzed in the laboratory with the OxiTop system. Statistical analyzes were carried out using the Infostat software to establish the correlations during the respiration stages and the storage of total organic carbon. It is concluded that the soils of the wetlands store 128 g C and release 0.099 mg CO<sub>2</sub>/Kg of dry soil x h<sup>-1</sup>, which indicates that this study area acts as a significant carbon sink. It is recommended that monitoring be carried out in the rainy season to find out if there are variations in edaphic respiration and carbon content variations.

**Keywords:** <CARBON FLOW>, <ORGANIC CARBON>, <BOFEDAL>, <SOIL RESPIRATION>, <AERIAL BIOMASS>, <NECROMASA>, <RAICILLAS>



Ing. Paul Obregón. Mgs

0601927122

## INTRODUCCIÓN

Los bofedales son formaciones vegetativas que se encuentran en las zonas altoandinas y que típicamente ocupan terrenos adyacentes a lagunas o aguas de corriente lenta; en estos lugares, el suelo está permanentemente saturado de agua en los cuales se desarrolla una vegetación hidrófila siempre verde (Sequeiros y Cazorla, 2020, p.359). Los bofedales son considerados un importante sumidero de carbono (C) ya que a pesar de representar menos del 3 % del área total de los biomas del mundo almacenan más del 10 % del C global (Leon, 2016, p.12); esto se debe a la alta productividad de plantas y baja descomposición de la materia orgánica (Suárez et al., 2016, p.172).

El manejo y conservación de ecosistemas se lo está realizando en las áreas protegidas de todo el mundo para mantener en buen estado su biodiversidad y servicios ambientales; con ello se contribuye al almacenamiento de carbono y se evita las emisiones por deforestación y degradación (Suárez et al., 2016, p.172). En el caso del Ecuador, el páramo es el ecosistema mejor representado en el sistema nacional de áreas protegidas, y los bofedales son ecosistemas importantes dentro de estos biomas (Suárez et al., 2016, p.172).

En los suelos de los bofedales del Área de Conservación Comunitaria Cunuyacu no se han realizado investigaciones previas sobre el contenido de carbono que allí se libera y almacena, por lo que, el principal objetivo de este trabajo de investigación es cuantificar el flujo de carbono de los suelos de esta área; para ello se utilizó el método del Oxitop para el cálculo de la respiración edáfica; y, el método del monolito para la identificación del contenido de C que almacenan estos suelos.

La presente investigación se desarrolló en cuatro capítulos: el primero engloba el problema y la justificación del trabajo, en el segundo capítulo se detalla los antecedentes, bases teóricas y legales que se han empleado para el desarrollo de los resultados y la discusión. En el capítulo tres se detalla detenidamente la metodología que fue dividida en dos fases correspondientes a la fase de campo y a los análisis en el laboratorio, finalmente, en el capítulo cuatro se reportan los resultados obtenidos en la fase de laboratorio.

La importancia de la investigación radica en el hecho de que, a partir de esta, se pueden realizar nuevos estudios relacionados con el contenido de carbono y la respiración edáfica, no solo en bofedales si no en todo tipo de ecosistemas de importancia nacional.

## **CAPITULO I**

### **1. Problema de la investigación**

#### **1.1. Planteamiento del problema**

Los bofedales se enfrentan a problemas de deterioro debido a la alta actividad antropogénica que se realizan en estos, como son: el pastoreo, la expansión de la frontera agropecuaria, la quema de pajonal, cambios de uso de suelo, entre otros; por estas razones se ha generado la pérdida de grandes extensiones de la cobertura vegetal, lo que produce que con el paso del tiempo la cobertura de los ecosistemas disminuya notablemente, generando alteraciones en los procesos e interacciones bióticas, aumentando así el riesgo de un colapso inminente (Andrade, 2016, p.2). En el caso de los bofedales de la Reserva de Producción de Fauna Chimborazo se encuentran actualmente en un severo proceso de degradación, teniendo una pérdida del 12.11% en el año 2016, asignándolo a una categoría de peligro crítico (Secaira, 2018, p.2).

#### **1.2. Limitaciones y delimitaciones**

La presente investigación se llevó a cabo en los suelos del bofedal del Área de Conservación Comunitaria Cunuyacu ubicada en la Provincia de Tungurahua, parroquia Pilahuin, a una altitud de 4800 msnm con una superficie total de 171 hectáreas. En cuanto a la delimitación temporal los muestreos se realizaron en la época seca, mismos que tuvieron inicio el mes de julio y culminaron en agosto. Finalmente, la delimitación teórica se basó en la cuantificación del flujo de carbono y para la delimitación de las unidades de observación se trabajará en tres reservorios: biomasa aérea, necromasa y biomasa subterránea.

#### **1.3. Problema general de investigación**

La Reserva de Producción de Fauna Chimborazo cuenta con una extensión de 58560 ha, de las cuales un 0.93% del total representa a los bofedales, mismos que se caracterizan por su alto contenido de flora y fauna endémica (Delgado, 2018, p.1); además, cumplen un papel importante en la regulación hidrológica y el almacenamiento de carbono atmosférico (Suárez et al., 2016: p.171).

Estos ecosistemas se han visto afectados por las actividades antropogénicas, principalmente por incendios forestales, quema de combustibles fósiles y la degradación de los humedales, lo que ha generado un aumento en la concentración de dióxido de carbono CO<sub>2</sub> (gas de efecto invernadero),

provocando un acrecentamiento de la temperatura atmosférica y efectos adversos en la salud humana (Marín y Hernandez, 2021); por lo que es crucial que el carbono sea almacenado o retenido para reducir sus emisiones.

¿Cuál es la cantidad de Carbono que se acumula y se libera en los suelos de los bofedales del Área de Conservación Comunitaria Cunuyacu?

#### **1.4. Problemas específicos de investigación**

Los factores ambientales como la temperatura, la humedad, el contenido de nutrientes y la concentración de oxígeno controlan la respiración edáfica; sin embargo, este proceso natural ha sido afectado por los cambios en el suelo, generando un aumento del calentamiento global debido a los desequilibrios en la emisión de gases de efecto invernadero a la atmósfera (Pinzón, 2022, p.2). Por lo tanto, incluso pequeños cambios en la magnitud de la respiración edáfica a escala global pueden tener un impacto significativo en las concentraciones de CO<sub>2</sub> en la atmósfera (Andrade, 2016, p.1).

Los humedales desempeñan una gran cantidad de funciones ecológicas que sustentan la actividad económica; estas funciones no se venden o se monetizan porque apoyan indirectamente la actividad productiva, por esta razón estas funciones ecológicas normalmente no se valoran (Chamorro et al. 2021, p.10). Algunos servicios ambientales poseen las cualidades de lo que se denominan un bien público o un bien común, y como tal, suelen ser percibidos como gratuitos (Castro, 2011, p.14); esto plantea un desafío para el reconocimiento de los valores de los humedales, como es el caso del bofedal del Área de Conservación Comunitaria Cunuyacu, los problemas sociales, económicos y ambientales ocurren como resultado del desconocimiento del valor real de este recurso (Castro, 2011, p.14).

¿Cuál es la respiración promedio del suelo de los bofedales del Área de Conservación Comunitaria Cunuyacu?

¿Qué porcentaje de COT se encuentran en los tres depósitos (necromasa, biomasa aérea y raicillas) de los suelos del bofedal del Área de Conservación Comunitaria Cunuyacu?

## **1.5. Objetivos**

### ***1.5.1. Objetivo General***

Cuantificar el flujo de carbono en suelos de bofedales del Área de Conservación Comunitaria Cunuyacu en la Reserva de Producción de Fauna Chimborazo.

### ***1.5.2. Objetivos Específicos***

- Determinar la respiración edáfica mediante el sistema de medición OxiTop.
- Calcular el contenido de carbono orgánico total (COT) en los tres depósitos del suelo: biomasa aérea, necromasa y raicillas del ecosistema herbazal inundable de páramo del Área de Conservación Comunitaria Cunuyacu.
- Establecer la relación del flujo de carbono en las etapas de respiración y almacenamiento de carbono orgánico total (COT) de los suelos del bofedal del Área de Conservación Comunitaria Cunuyacu.

## **1.6. Justificación**

### ***1.6.1. Justificación teórica***

El cambio climático representa un peligro para los ecosistemas y para la propia sobrevivencia del hombre en el planeta; de allí, la importancia de conocer el papel de algunos ecosistemas como reguladores del ciclo del carbono (C) en el medio ambiente como es el caso de los humedales (Hernández, 2010, p.140).

Los bofedales son humedales altoandinos que acumulan agua durante las épocas lluviosas y del agua proveniente de los nevados; en el suelo de estos ecosistemas crecen plantas en forma de cojín compactas, pasturas que sirven de alimento para el ganado, vicuñas, ovejas, etc. (Chamorro et al., 2021, p.8). Al mismo tiempo, los bofedales brindan una variedad de servicios ecosistémicos a las comunidades aledañas, desempeñando un papel importante en la sostenibilidad de los ambientes de montaña, como nichos para la biodiversidad, reguladores del ciclo hidrológico y sumideros de carbono; esto los convierte en un foco de investigación para evaluar el impacto que tienen en el medio ambiente las alteraciones generadas en estos (Chamorro et al., 2021, p.8).

### ***1.6.2. Justificación metodológica***

Con el fin de conocer los efectos que diversas actividades humanas tienen sobre los humedales, el presente estudio estimará el flujo de carbono de los bofedales de la Reserva Cunuyacu en tres reservorios: biomasa aérea, biomasa del suelo y necromasa, así como el carbono orgánico total y la respiración edáfica; esta información se utilizará para sugerir alternativas del manejo y conservación de los bofedales y nuevas medidas para la restauración de las reservas de carbono y contribuir con la problemática mundial como es el cambio climático.

### ***1.6.3. Justificación práctica***

Otro aspecto importante de nuestro estudio es establecer una relación entre los factores que inciden en el flujo de carbono durante las etapas de respiración y almacenamiento de la materia orgánica en comparación con la mineralización de carbono en forma de stock del herbazal inundable de páramo y las actividades primarias en el Área de Conservación Comunitaria Cunuyacu. Para cumplir con el objetivo de la investigación se estableció el número de parcelas mediante la ecuación del tamaño de una muestra para estimar una proporción del área de estudio que corresponde a la fase de campo. Posteriormente, las muestras fueron analizadas en el laboratorio para determinar la respiración edáfica mediante el método manométrico Oxitop y los parámetros físicos y químicos de estas. Este estudio forma parte del Proyecto “Medios de vida como estrategia para la planificación y gestión en la adaptación basada en ecosistemas - PACHA” IDI-ESPOCH del Grupo de Investigación - Desarrollo para el Ambiente y Cambio Climático (GIDAC).

## **1.7. Hipótesis**

### ***1.7.1. Hipótesis general***

El suelo del bofedal del Área de Conservación Comunitaria Cunuyacu acumula un alto contenido de Carbono en comparación al C emitido en forma de CO<sub>2</sub>.

### ***1.7.2. Hipótesis específica***

La cantidad de CO<sub>2</sub> emitido por los suelos del bofedal del Área de Conservación Comunitaria Cunuyacu es menor a 0.1 mg CO<sub>2</sub>/Kg de suelo seco×h<sup>-1</sup>.

El mayor porcentaje de COT se acumula en la Necromasa del suelo del bofedal del Área de Conservación Comunitaria.

## CAPITULO II

### 2. MARCO TEÓRICO

#### 2.1. Antecedentes de investigación

En el año 2020, Morales estudió la relación entre la respiración edáfica (RE) y las propiedades fisicoquímicas en los suelos intervenidos (pastizales, cultivos, plantaciones) y no intervenidos (Páramo) de la microcuenca del río Guano (Morales, 2020, p.14). Los resultados medios para RE en las zonas no intervenidas fueron de 0,057 mg CO<sub>2</sub>-C/g por hora, en comparación con 0,080 mg CO<sub>2</sub>-C/g por hora en las zonas intervenidas; los valores de materia orgánica, carbono orgánico, humedad y conductividad eléctrica en el área de no intervención fueron mayores, y la densidad aparente en las áreas no intervenidas fue menor a 1g/cm<sup>3</sup>, que a diferencia de los suelos intervenidos cuyo valor fue mayor a 1g/cm<sup>3</sup> y el pH en las áreas no intervenidas fluctuó entre 4-5, mientras que fue mayor en las zonas intervenidas (Morales, 2020, p.14). En suelos no intervenidos, hubo una correlación significativa con todos los parámetros estudiados, sin embargo, en suelos intervenidos, no existió una correlación significativa. Concluyeron que la correlación entre las propiedades fisicoquímicas y la edaforespiración variaron en los sitios estudiados, lo que podría atribuirse a las condiciones edafoclimáticas (Morales, 2020, p.14).

En Arequipa, Perú desarrollaron un estudio sobre el cálculo y valoración del almacenamiento de carbono del humedal altoandino de Chalhuanca; recolectaron 30 muestras al azar con la ayuda de un barreno, en tres reservorios de carbono: biomasa aérea, biomasa subterránea y suelo orgánico (Alvis et al., 2021, p.139). Los resultados que obtuvieron fueron que el almacenamiento total de carbono asociado a la región del bofedal fue de unas 795 415,65 toneladas de CO<sub>2</sub>, el almacenamiento de carbono difirió en cada reservorio: el suelo orgánico almacena la mayor cantidad con 218,3 TC/ha (90%), seguido de la biomasa bajo suelo (raíces) con 19,7 TC/ha (8%), y la biomasa aérea (hojas y tallos) con 4,8 TC/ha (2%); los servicios ecosistémicos de almacenamiento de carbono cuestan alrededor de 6462,18 U\$D/ha (Alvis et al., 2021, p.139).

En el 2022, se desarrolló un estudio para la cuantificación del flujo de CO<sub>2</sub> en el suelo colonizado por *Avicennia germinans*, emplazado en el humedal Laguna Grande, Venezuela, cuyo propósito principal fue precisar diferencias significativas en el flujo de CO<sub>2</sub> en suelo colonizado por *Avicennia germinans*, así como no rizosférico (Pérez et al., 2022, p.86). Esta investigación se desarrolló en tres etapas: la primera consistió en un trabajo de campo donde se recolectaron 120 muestras de suelo superficial (0-20 cm), la segunda etapa fue una fase de laboratorio para estimar

el flujo de CO<sub>2</sub> a partir del método de respiración basal y finalmente un análisis estadístico, para identificar con base en el ANOVA y prueba de Tukey, diferencias significativas (Pérez et al., 2022, p.86); los resultados muestran que existen diferencias significativas, con flujos de 7,51 mg C-CO<sub>2</sub> g/24h en la zona rizosférica y 1,49 mg C-CO<sub>2</sub> g/24h para la no rizosférica (Pérez et al., 2022, p.86).

## **2.2. Referencias teóricas**

### **2.2.1. Bofedales**

Son ecosistemas considerados como humedales andinos hidro mórficos con vegetación herbácea de tipo hidrófila, sus suelos permanecen inundados o saturados de agua corriente y se caracterizan por su alto contenido de materia orgánica en la turba (MINAM, 2019, p.10). La vegetación es densa y compacta denominada de almohadilla o en cojín; la fisonomía de la vegetación corresponde a herbazales de 0.1 a 0.5 metros (MINAM, 2019, p.10).

Por sus características, los bofedales son reservas de agua dulce que mantienen el balance de los niveles de agua de ríos, lagos y cuencas subterráneas; estos se caracterizan por su capacidad de almacenar el agua que escurre de los deshielos, pero no la retienen en su totalidad (Lozano, 2017, p.11). La vegetación está organizada en cojines, y los juncos son las principales especies de vida vegetal; a pesar de que solo representan alrededor del 4-6% de la superficie terrestre, se cree que, junto con el mantenimiento de los caudales de los ríos y aguas subterráneas, uno de los aportes más significativos de los humedales altoandinos es la captura de carbono, este potencial se debe a la alta productividad de las plantas y la baja tasa de descomposición de materia orgánica en suelos inundados (Lozano, 2017, p.11).

Los suelos de los altos Andes del Ecuador, conocidos como "Andisoles", "están formados por cenizas volcánicas jóvenes bajo condiciones frescas y húmedas, como resultado la descomposición de materia orgánica es baja" (Suárez et al., 2016, p.172); a esto se suma la formación de complejos organometálicos en el suelo, que ayudan a una descomposición más lenta, esto da como resultado que estos suelos tengan un alto contenido de materia orgánica y, en consecuencia, una gran capacidad de retención de agua (Suárez et al., 2016, p.172). Estas condiciones, que incluyen alta humedad, bajas temperaturas, características especiales del suelo y la descomposición lenta de la materia orgánica, posibilitan que el carbono se almacene en gran cantidad en los suelos paramunos (Suárez et al., 2016, p.172).

### *2.2.1.1. Clasificación de bofedales*

Los bofedales se pueden clasificar según el proceso ecológico en:

- ❖ **Hidroperiodo:** los clasifica en bofedales estacionales y permanentes; los estacionales tienen una menor profundidad de turba y generalmente no llega a ser turberas, por lo que tienen una baja capacidad de almacenamiento de agua y carbono, caso contrario sucede con los bofedales permanentes que almacenan agua y carbono debido a que son turberas (MINAM, 2019, p.10).
  
- ❖ **Posición topográfica:** se diferencia dos bofedales: los de ladera que son generalmente más estacionales y desarrollan turba superficial y los bofedales en áreas planas que son receptores del agua que por escorrentía bajan de las laderas cercanas, dando como resultado bofedales permanentes y profundos (MINAM, 2019, p.10).

### *2.2.1.2. Procesos ecológicos en los bofedales*

La vegetación presente en los bofedales es la más estudiada, pero la condición hidrológica es la encargada de determinar las características y el funcionamiento de este (MINAM, 2019, p.12). También en estudios realizados han probado que el tipo de roca madre que encierra el bofedal influye en la calidad del agua, de igual forma se ha comprobado que los bofedales son alimentados por fuentes de agua subterránea, precipitaciones, etc. (MINAM, 2019, p.12). La composición química y la calidad del agua tienen una influencia directa en la composición vegetal del bofedal. La densidad aparente y la profundidad de turba están estrechamente relacionados con el abastecimiento de servicios ecosistémicos como son : almacenamiento de carbono y agua (MINAM, 2019, p.12).

La acumulación de turba se produce cuando el suministro de material vegetal muerto en el suelo es mayor que la velocidad de mineralización y descomposición del material vegetal; si el nivel freático se encuentra cerca de la superficie, saturando el suelo, se ralentiza el proceso de descomposición porque se reduce la disponibilidad de oxígeno en el suelo y facilita la descomposición anaeróbica (MINAM, 2019, p.12).

### *2.2.1.3. Servicios ecosistémicos de bofedales*

Los bofedales pueden ofrecer cuatro tipos de servicios ecosistémicos, mismos que se detallan en la tabla 1-2:

**Tabla 1-2:** Tipos de servicios ecosistémicos que brindan los bofedales.

Tipo de servicio	Ejemplo de servicio	Función
<i>Servicios de provisión</i>	Forraje de ganado	Se emplea como alimento para alpacas, ganado vacuno, ovino y equino.
	Turba	Utilizado como abono en viveros.
	Plantas medicinales	Existen varias especies que se desarrollan en ambientes húmedos que pueden ser utilizadas como medicina natural.
	Agua	Es considerado uno de los servicios más valorados.
<i>Servicios de regulación</i>	Almacén de carbono	La turba son la forma principal de almacenamiento y fijación de carbono.
	Protección de procesos de erosión de la turba y el suelo	La cubierta vegetal hace que por fricción la velocidad del agua disminuya al moverse dentro del bofedal.
	Purificación del agua	Reducen la cantidad de metales, mejorando la calidad del agua.
	Almacén de agua	La turba actúa a manera de una esponja, retiene con mayor intensidad el agua almacenada en su interior.
	Regulación hídrica	El agua dentro de la turba es liberada solo en épocas de lluvias más no en épocas de estiaje.
	Regulación del clima local	El amortiguamiento de las temperaturas externas depende directamente de la cantidad de agua almacenada en el bofedal
	Regulación climática global	Naturalmente, hay un equilibrio entre el carbono fijado por las plantas y en la turba con el carbono que se libera en forma de metano. Pero cuando los bofedales son alterados se libera una mayor cantidad de gases de efecto invernadero, acelerando el cambio climático.
<i>Servicio de soporte</i>	Refugio de fauna silvestre y de biodiversidad	Las condiciones únicas de los bofedales, los hacen especiales para el desarrollo de especies de flora y fauna.
	Formación de turba	Es el proceso más importante para el mantenimiento de un bofedal, este depende del Hidroperiodo.
	Mantenimiento del ciclo de nutrientes	Ciclo del carbono.
<i>Servicios culturales</i>	Bofedales bien conservados	Tener belleza escénica y paisajística
		Áreas de recreación y turismo

Fuente: (MINAM, 2019, pp.13-14)

Realizado por: Curisaca, Wendy & Narváez, Jessica, 2023

#### 2.2.1.4. Indicadores del estado del ecosistema de bofedales

Los principales indicadores para evaluar si el ecosistema ha sufrido alteraciones son las siguientes:

### **a. Condición del agua.**

- *Nivel de la capa freática durante la época seca:* describe la profundidad a la que se encuentra la napa freática, empleando como referencia la superficie del suelo. Generando una idea del equilibrio que existe entre la acumulación de turba (se da en época lluviosa) y la descomposición de esta, que se da solo en época de estiaje (MINAM, 2019, p.19).
- *Conductividad eléctrica:* cantidades altas de conductividad indican problemas de salinidad, lo que supone problemas de calidad del agua (MINAM, 2019, p.19).

### **b. Indicadores de la condición del suelo**

- *Profundidad de turba:* este indicador es importante para conocer la capacidad de almacenamiento de carbono y agua de un bofedal. Se conoce que en bofedales permanentes la edad de este está estrechamente relacionada con la profundidad de la turba, es decir entre más profunda más antiguo será el bofedal (MINAM, 2019, pp.19-20).
- *Materia orgánica superficial:* La materia orgánica acumulada en el área superficial del suelo señala la capacidad de almacenar carbono en la turba, esto quiere decir que a valores altos de materia orgánica mayor será el almacén de carbono (MINAM, 2019, pp.19-20).
- *Densidad aparente en la capa superficial:* hace referencia a la capacidad de almacenar agua en la turba, los valores de densidad son directamente proporcionales a la capacidad de almacén de agua (MINAM, 2019, pp.19-20).
- *Signos de erosión:* evalúa los procesos de erosión hídrica de la turba, que se generan por el pisoteo de ganado ya que se elimina una cantidad de la vegetación superficial, dejando expuesta a la turba (MINAM, 2019, pp.19-20).

### **c. Indicadores de la condición biótica**

- *Abundancia de especies nativas:* el número de especies nativas del total de vegetación es un buen indicador de la condición ecológica en el bofedal. Si se encuentran especies no nativas esto señala un cambio relacionado con la reducción del nivel de humedad y la disponibilidad de nutrientes (MINAM, 2019, p.20).

- *Riqueza de especies:* es el número de especies que existen en un área determinada, como expresión de la diversidad (MINAM, 2019, p.20).
- *Cobertura vegetal viva:* se relaciona con la protección que le brinda la vegetación a la turba, con el fin de evitar que se genere procesos de erosión (MINAM, 2019, p.20). Es así que, entre mayor sea la cobertura vegetal mayor será la protección que esta genera sobre la turba (MINAM, 2019, p.20).
- *Biomasa aérea:* se refiere a la capacidad de producción primaria del ecosistema. Cuando existe pastoreo en la zona esta se ve afectada y se ve reducido (MINAM, 2019, p.20).

### 2.2.2. Suelo

El suelo es definido como un medio natural de gran importancia que proporciona servicios ambientales, permite el crecimiento de las plantas, almacena agua y retiene nutrientes, además es un reservorio de organismos como bacterias, hongos, nematodos, etc. (INTAGRI, 2018). El suelo es el producto final de la influencia del tiempo y combinado con el clima, topografía, organismos (flora, fauna y ser humano), de materiales parentales (rocas y minerales originarios), como resultado el suelo difiere de su material parental en su textura, estructura, consistencia, color y propiedades químicas, biológicas y físicas (INTAGRI, 2018). Para lograr que el suelo funcione de forma correcta, es importante el uso de prácticas de manejo encaminados a mejorar la salud del suelo y con ello lograr beneficios agronómicos (aumentar productividad y la rentabilidad de los cultivos) y ambientales, inmediatos y en el futuro (INTAGRI, 2018).

#### 2.2.2.1. Propiedades del suelo

- ❖ **pH.**- es una propiedad química que hace referencia a la concentración de iones de hidrógeno activos ( $H^+$ ) que ocurre en la interfaz líquida del suelo, a través de la interacción de los componentes sólidos y líquidos (Pinzón, 2022, p.4).
- ❖ **Textura.** - determina la proporción en la que se encuentra las partículas minerales de diversos tamaños que hay presentes en el suelo, las texturas se dan debido a la combinación de porcentajes de arena, limo y arcilla (Cajilema y Piguabe, 2018, p.7).
- ❖ **Color.** - el color resulta de los elementos cromógenos presentes en cada horizonte, como es el hierro, materia orgánica y otros componentes como el carbonato cálcico, yeso, arena entre

otros; para determinar el color de un suelo se emplea la tabla Munsell que contiene un espacio de tres dimensiones: Matiz, brillo y croma (Cajilema y Piguabe, 2018, p.8).

- ❖ **Densidad aparente.** – hace referencia al peso por volumen de suelo seco (105°C); el volumen constituye tanto sólidos como los poros, por consecuencia la densidad aparente da un resultado de la porosidad total del suelo (FAO, 2014, pp.51-52). Este parámetro es importante para la descripción de la calidad del suelo y la función del ecosistema (FAO, 2014, pp.51-52).
- ❖ **Porosidad.** –“ se refiere a la relación entre el volumen que ocupa los poros y el volumen total expresado en porcentaje” (Pinzón, 2022, p.5).
- ❖ **Humedad.** – el término “régimen de humedad del suelo” hace referencia a la presencia o ausencia de agua subterránea o agua retenida a una tensión a una tensión menos de 1500 kPa en el suelo u horizontes específicos en distintos períodos del año (FAO, 2014. p.93). La cantidad de sales disueltas también afectan en la disponibilidad de agua, es por tal motivo que cuando la tensión de humedad es 1500 kPa o más, es considerado seco; pero si los valores de la tensión son menores a 1500 kPa se considera húmedo (FAO, 2014. p.93).
- ❖ **Conductividad eléctrica.** -se mide mediante la CE, que es la medida de la capacidad de transportar corriente eléctrica, el valor de este será más alto cuanto más fácil se mueve la corriente (Bárbaro, et al., 2005: pp.7).

### ***2.2.3. Materia orgánica***

Es el material orgánico que cumple un papel importante en el suelo, es decir hace referencia a la fracción del suelo que engloba tanto organismos vivos como residuos muertos en diferentes estados de descomposición (Bajaña, 2020, p.10). La biota del suelo, incluyendo los microorganismos, utilizan derivados de la materia orgánica como alimentos, al mismo tiempo que descomponen los residuos y materia orgánica, estos productos de desecho que se generan por la acción de ellos microorganismos aportan a la formación de la materia orgánica del suelo (Bajaña, 2020, p.10).

Los materiales orgánicos que se encuentran sobre la superficie del suelo actúan como amortiguadores hacia el impacto de las gotas de lluvia e insolación directa (L. Rodriguez, 2011, p.2). La descomposición de raíces muertas proporciona acceso aguas abajo mediante los cuales el agua puede llegar de forma rápida a los niveles inferiores de la zona radicular (L. Rodriguez, 2011, p.2).

#### **2.2.4. Carbono**

El carbono es un elemento químico abundante que se encuentra formando parte de algunos compuestos de la naturaleza orgánica como los combustibles fósiles: el petróleo y gas natural, y compuestos inorgánicos como los sulfatos, carbonatos, monóxidos y dióxido de carbono, esto se debe a la capacidad que tiene para enlazarse con otros átomos de carbono y otros elementos o sustancias para formar otros compuestos (Burbano, 2018, p.85). Este elemento transita entre los océanos, la atmósfera, el suelo y el subsuelo, y esta circulación se da mediante procesos químico, físicos y biológicos (Burbano, 2018, p.85).

El carbono se encuentra en la naturaleza ya sea bajo el agua en forma de compuestos carbónicos disueltos (carbonatos); en el aire en forma de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) o anhídrido carbónico, y en los organismos vivos, quienes están constituidos por compuestos de carbono, que obtienen como resultado de sus procesos metabólicos realizados durante su crecimiento y desarrollo y son liberados cuando se mueren (Osorio, 2012, p.5). El carbono constituye aproximadamente el 50% del peso seco de cualquier organismo considerándolo como el elemento más importante de la vida (Osorio, 2012, p.5).

##### **2.2.4.1. Ciclo del carbono**

El carbono es el cuarto elemento de mayor abundancia en el mundo, siendo absolutamente necesario para la vida terrestre, todos los organismos de la Tierra necesitan del carbono ya sea para su estructura, su energía, o para ambos (Banegas 2015, p.14). En la Tierra, el carbono (C) circula por los océanos, la atmósfera, la litosfera y la biosfera como parte de un gran ciclo biogeoquímico que se puede definir como la sucesión de transformaciones químicas, físico-químicas y bioquímicas que ha sufrido este elemento a lo largo del tiempo (Banegas 2015, p.14).

La regulación del clima de la Tierra depende en gran medida del ciclo del carbono, que también incluye actividades fundamentales necesarias para el sostenimiento de la vida (Banegas, 2015, p.14). El ciclo global del C puede ser dividido en dos componentes: geológico y biológico (Banegas, 2015, p.14).

##### **❖ Ciclo Geológico**

Controla el intercambio de carbono entre la atmósfera, y la litosfera (océanos y suelos). El CO<sub>2</sub> atmosférico se disuelve fácilmente en el agua, formando ácido carbónico que ataca a los silicatos

que forma los minerales en las rocas, dando como resultado iones de bicarbonato (Banegas, 2015, p.14). Estas partículas solubles en agua llegan al océano, donde los animales las asimilan para formar sus tejidos, y al morir se depositan en los sedimentos (Banegas, 2015, p.14). Los animales y plantas que se encuentran en estado de descomposición por acción de los microorganismos forman dióxido de carbono que retorna a la atmósfera (Banegas, 2015, p.14). Además, hay ocasiones en las que el material orgánico queda sepultado, aislado del oxígeno que de otro modo lo descompondría, produciendo así la fermentación que lo transforma en carbón, petróleo y gas natural (Banegas, 2015, p.14). Debido a la participación de los mecanismos geofísicos, este ciclo opera en una escala de millones de años (Banegas, 2015, p.14).

#### ❖ Ciclo Biológico

Incluye los intercambios de carbono ( $\text{CO}_2$ ) entre los seres vivos y la atmósfera, es decir, la fotosíntesis, un proceso por el cual las plantas retienen el carbono, y al mismo tiempo libran oxígeno que es emitido a la atmósfera (Burbano, 2018, p.85). Según las estimaciones, este ciclo se produce con relativa rapidez; estimándose que la renovación del carbono atmosférico ocurre cada 20 años (Banegas, 2015, p.14).

Dado que el  $\text{CO}_2$  es la especie química que predomina en la atmósfera, el ciclo del carbono gira particularmente en torno a él (Banegas, 2015, p.14). Las plantas absorben el  $\text{CO}_2$  atmosférico a través de la fotosíntesis, acumulándolo en sus tejidos aéreos y subterráneos (Banegas, 2015, p.14). Los animales herbívoros se alimentan de estas plantas, de las que obtienen energía, que luego transportan a los demás niveles tróficos de la cadena alimentaria (Banegas, 2015, p.14). La descomposición de la materia orgánica, la respiración de animales y plantas y la quema de vegetación dan como resultado la liberación de C en forma de  $\text{CO}_2$  a la biosfera (Banegas, 2015, p.14).

Como resultado, el C fijado a las plantas se transforma en moléculas móviles que se asignan a los diversos componentes estructurales de las plantas para satisfacer sus necesidades estructurales y funcionales (Banegas, 2015, p.14). Esta asignación establece las rutas a través de las cuales se dará posteriormente el flujo de C al suelo. Se estima que los ecosistemas terrestres intercambian 125.000 billones de toneladas de carbono entre la atmósfera, la vegetación y el suelo (Banegas, 2015, p.14).

De esta forma, el C en los ecosistemas terrestres circula activamente a través de diferentes compartimentos, con la capacidad de dividirlos en dos categorías básicas: productividad primaria y materia orgánica del suelo (Banegas, 2015, p.15).

La cantidad de C que cualquier ecosistema vegetal puede movilizar está relacionada con la productividad primaria del mismo (Mora, 2001, p.39). Una de las características clave de un ecosistema, tanto desde el punto de vista agropecuario como ecológico, es su productividad primaria (PP), que se define como su capacidad para producir biomasa vegetal (Mora, 2001, p.39).

La relación entre la productividad primaria y la materia orgánica del suelo (MOS) es extremadamente estrecha (Piñeiro, 2006, pp. 24-25). La PP controla la cantidad de detritos que está disponible para la formación del MOS y, por lo tanto, controla la acumulación de C y N orgánicos en el suelo (Piñeiro, 2006, pp. 24-25). En consecuencia, la MOS determina el PP a largo plazo por su impacto en la fertilidad del suelo, es decir, en la disponibilidad de nitrógeno para el crecimiento de las plantas (Piñeiro, 2006, pp. 24-25). El flujo y el componente estructural más significativo de los sistemas son probablemente la PP y la MOS; la productividad primaria representa los puntos de entrada de carbono al ecosistema y, en consecuencia, determina la cantidad de energía que está disponible para el resto de los niveles tróficos (Piñeiro, 2006, pp. 24-25).

La productividad primaria representa las ganancias totales de C del ecosistema y comprende a la productividad primaria aérea (biomasa forrajera, biomasa arbórea y mantillo) y productividad primaria subterránea (Banegas, 2015, p.15).

Es importante mencionar que, en el suelo sucede un proceso de respiración que se basa en la producción de dióxido de carbono que resulta de dos procesos: la ruptura u oxidación de la materia orgánica del suelo realizada por los microorganismos del suelo y la respiración de las células de las raíces de las plantas (Burbano, 2018, p.86). La tasa de producción de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) es esencial ya que nos da un indicio de la tasa de descomposición de la materia orgánica y en resultado, de la cantidad de carbono que se pierde del sistema suelo (Burbano, 2018, p.86).

#### *2.2.4.2. Carbono en el suelo*

Como estrategias de manejo para mitigar las emisiones de gases de efecto invernadero, el almacenamiento y secuestro de carbono en el suelo son de especial interés científico y político, el interés mencionado se debe a que el suelo actúa como el principal depósito de C sobre la superficie terrestre, almacenando al mismo como carbono orgánico (CO) (Banegas, 2015, pp.21-22).

Se estima que, a un metro de profundidad, el suelo contiene entre 1.500 a 2.000 Pg de carbono en una variedad de formas orgánicas, que van desde residuos recientemente incorporados hasta compuestos recalcitrantes humificados (Janzen, 2004, p.401). Aproximadamente un tercio de este CO se encuentra en áreas boscosas, otro tercio se encuentra en suelos de pastura y sabana, y la otra

parte se encuentra en humedales, suelos agrícolas y otros biomas (Janzen, 2004, p.401). En condiciones aeróbicas del suelo, una gran parte del carbono que ingresa al mismo es lábil, y solo una pequeña fracción (1%) del que ingresa (55 Pg/año) se acumula en la fracción húmica estable (0,4 Pg/año) (Banegas, 2015, p.22).

#### ❖ Necromasa

La necromasa es un estrato de diverso espesor, esponjoso y consolidado de color pardo oscuro, rica en carbono que forma parte del suelo de los humedales. Su formación se debe a la descomposición parcial de restos vegetales provocadas por la ausencia de aire y la presencia de un medio ácido o básico saturado de agua (Domínguez et al., 2012, p.38).

#### ❖ Raíces

Las raíces juegan un papel importante en el ciclo del carbono porque sirven como vía para que grandes cantidades de carbono pasen de la atmósfera al suelo (Banegas, 2015, p.20). Debido al aporte que brindan al liberar compuestos carbonados a través de procesos de exudación, secreción, descamación y lisis de células y tejido radicular (rizodeposición), alrededor del 5-10% del carbono se libera del suelo a través de las raíces (Banegas, 2015, p.20).

#### 2.2.4.3. Sumideros de carbono

Entre los sumideros de carbono, se encuentran los bofedales estos ecosistemas son capaces de almacenar grandes cantidades de carbono gracias a la acción fotosintética de la flora (proceso por el cual el dióxido de carbono se toma de la atmósfera y que en el interior de la planta es transformado en proteínas, carbohidratos, etc.) y a los procesos lentos de descomposición de la materia muerta que ocurren en el suelo, ayudando a la retención de estos gases por más tiempo (Medrano et al., 2012: p.111). Su capacidad para almacenar carbono está directamente relacionada con la cantidad de materia orgánica que contienen (Osorio, 2012, p.7). Una parte del carbono fijado es transformado en biomasa y la otra parte es liberada a la atmósfera por medio de la respiración (Osorio, 2012, p.7).

Una serie de variables, incluida la composición mineral del suelo, la textura, profundidad, densidad aparente y la aireación, estarán controlando el secuestro de carbono (Osorio, 2012, p.7). La medida en que puede aumentar el nivel potencial de carbono en el suelo estará limitada por factores como la producción de biomasa aérea y subterránea, los efectos climáticos directos en

los procesos del suelo y los efectos climáticos indirectos en la producción de biomasa (Osorio, 2012, p.19). Los niveles actuales del almacenamiento de carbono en el suelo serán controlados por factores de reducción como las pérdidas directas por erosión, lixiviación y por las causas del manejo de residuos de las cosechas que puedan limitar la cantidad de carbono que entran en el suelo (Osorio, 2012, p.19).

#### **2.2.5. Actividad microbiana**

Es la actividad que realizan los microorganismos durante cualquier proceso de descomposición y, como resultado, se produce CO<sub>2</sub>; es necesaria para la liberación de nutrientes contenidos en materiales vegetales muertos (Thompson y Troeh, 2002: pp.145-146). Sin esta liberación, los nutrientes disponibles se agotarían rápidamente y el suelo se volvería estéril (Thompson y Troeh, 2002: pp.145-146). Los microorganismos completan el ciclo, permitiendo que los nutrientes absorbidos por las plantas regresen al suelo (Thompson y Troeh, 2002: pp.145-146).

“Una población microbiana activa puede ser un buen indicador de la fertilidad del suelo” (Thompson y Troeh, 2002: p.145), además de ser muy sensible a los cambios en la edificación. Su investigación le permite evaluar el impacto de los contaminantes en las comunidades microbiológicas existentes, estimar la degradación de los contaminantes y determinar la viabilidad de los tratamientos de biorremediación suelo (Torri et al., 2018, p.128). La tasa de respiración es uno de los parámetros más utilizados para estimar indirectamente la actividad microbiana del suelo (Torri et al., 2018, p.128).

#### **2.2.6. Respiración edáfica**

La respiración es uno de los parámetros más antiguos y más frecuentemente usados para cuantificar la actividad microbiana en el suelo (Zagal et al., 2002, p.299). El uso de este índice microbiológico ha permitido estimar la actividad general de la biomasa y como ésta es influenciada por clima, propiedades físicas y químicas, o prácticas de manejo agrícola, tales como labranza y rotaciones de cultivos (Zagal et al., 2002, p.299). Todos los estudios se han basado en incubaciones de suelos, ya sea in situ o en laboratorio, con mediciones de productos finales como CO<sub>2</sub> y NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, que han permitido a los investigadores conocer la mineralización y estabilidad del carbono en relación con la cantidad y calidad de MO presente, así como prácticas de manejo agrícola (Zagal et al., 2002, p.299).

Debido a que constituyen una fracción activa de la MO del suelo, el C y el nitrógeno N mineralizados en estos experimentos han sido reportados como excelentes indicadores de cambio en el C y N orgánicos, respectivamente (Zagal et al., 2002, p.299).

#### *2.2.6.1. Procesos de respiración del suelo*

Es fundamental comprender las propiedades físicas y químicas del suelo porque influyen en la cantidad de microorganismos, la concentración de sustratos, enzimas y nutrientes inorgánicos en el suelo y en consecuencia sobre las actividades biológicas como la respiración edáfica y la biomasa microbiana (Palma, 2011, p.41).

En la respiración del suelo se involucran diferentes procesos: bióticos, químicos y físicos.

- Procesos bióticos: respiración rizosfera (raíces y exudados de la raíz), la respiración microbiana y respiración fauna (Palma, 2011, p.29).
- Proceso químico: la oxidación química de los minerales del suelo, que es relativamente pequeño en comparación con otras fuentes, pero pronunciado a altas temperaturas (Palma, 2011, p.29).
- Proceso físico: desgasificación de CO<sub>2</sub> del suelo y transporte de CO<sub>2</sub> a través del suelo hacia la superficie (Palma, 2011, p.29).

#### *2.2.6.2. Factores que influyen sobre la tasa de respiración del suelo*

El suministro de energía es uno de los factores más críticos que afectan la actividad microbiológica (Álvarez y Anzueto, 2003, p.14). Dicho de otra manera, la calidad y cantidad de materia orgánica, como fuente primaria de energía y carbono, interactúa con variables ambientales y propiedades fisicoquímicas del suelo, tales como aireación, aporte de agua al suelo, temperatura, pH y el suministro de nutrientes adecuados (N, Ca, P, K, etc.), así como la actividad microbiológica, además de ello la actividad microbiana es regulada por la composición de los materiales orgánicos y por la naturaleza de la comunidad microbiana (Álvarez y Anzueto, 2003, p.14). Estas variables fluctúan dependiendo de los cambios en el uso de la tierra y la fertilidad del suelo (Álvarez y Anzueto, 2003, p.14).

## ❖ Factores bióticos

Comprenden todos los seres vivos de un ecosistema, y las interrelaciones que se forman entre ellos, las plantas, los animales (incluidos los humanos) y los microorganismos (Ochoa, 2015, p.8), así como la estructura de la vegetación, la fotosíntesis, el desarrollo fenológico de las plantas, así como por la biomasa de raíces finas y microbiana (Murcia y Ochoa, 2008: p.338).

## ❖ Factores abióticos

### • Temperatura del suelo

Es un factor que afecta a los procesos químicos, físicos y biológicos, la temperatura del suelo además afecta a la descomposición microbiológica en el control del crecimiento microbiano; muchos estudios muestran una correlación positiva entre la respiración del suelo (R) y la temperatura (T) (Lloyd y Taylor, 1994: p.315). Un aumento de 10 °C a partir de temperaturas subóptimas puede duplicar la respiración y el crecimiento de las bacterias. La tasa de respiración del suelo en áreas donde la temperatura del suelo es baja es relativamente más sensible a las fluctuaciones de temperatura (Lloyd y Taylor, 1994: p.315).

### • Humedad del suelo

Es una variable significativa para predecir la descomposición de la materia orgánica y la formación de gases inertes (Gutiñas, 2009, p.79). Los valores de humedad del suelo que proporcionan una óptima descomposición de la materia orgánica y, como resultado, óptimos procesos de mineralización se encuentran en el rango de -0,01 a -0,05 MPa (Gutiñas, 2009, p.79). Existen varios mecanismos interconectados que provocan una disminución de la actividad microbiana en una superficie completamente seca, como la reducción de la difusión del sustrato soluble, la reducción de la movilidad microbiana y el consiguiente acceso al sustrato, así como un efecto directo sobre el crecimiento microbiano; la ausencia de oxígeno provocada por su lenta difusión se atribuye a la disminución de la actividad de los microorganismos aeróbicos en ambientes muy húmedos (Gutiñas, 2009, p.79).

- La temperatura del suelo y la humedad

A menudo interactúan para controlar la tasa de respiración de este, por lo general es difícil separar los efectos de ambos (Palma, 2011, p.30). Los estudios demuestran que la respiración del suelo responde a la mayoría de factor limitante, la temperatura o la humedad (Palma, 2011, p.30).

- Conductividad

El contenido de sales presentes determina la calidad y fertilidad de una tierra agrícola (INTAGRI, 2017). A pesar de que el suelo tiene niveles razonables de humedad, estas sales disminuyen el potencial osmótico de la solución, reduciendo al mismo tiempo la disponibilidad de agua para las plantas (INTAGRI, 2017). Los problemas de salinidad son más frecuentes en las regiones áridas y semiáridas (INTAGRI, 2017). La conductividad eléctrica se utiliza para medir la salinidad en el suelo (CE) (INTAGRI, 2017).

- pH

El pH es una propiedad química que mide la acidez o alcalinidad de soluciones acuosas (Osorio, 2012, p.1). Por definición se considera que el pH es el logaritmo negativo de la actividad de los protones (H<sup>+</sup>) en una solución acuosa (Osorio, 2012, p.1).

$$-\log (H^+) = \text{pH}$$

En el suelo, el pH es una propiedad química muy importante porque indica qué tan ácida o alcalina es la solución del suelo, que es de donde las raíces y los microorganismos obtienen sus nutrientes (Osorio, 2012, p.1). La escala de pH es una escala de medición con un rango de fluctuación de 0 a 14 (Osorio, 2012, p.1).

- Textura

La textura del suelo indica la cantidad relativa de partículas de varios tamaños, como arena, limo y arcilla; tiene que ver con la facilidad con la que se trabaja en el suelo, la cantidad de agua y aire que se absorbe y la velocidad con la que el agua penetra en el suelo y lo atraviesa (Gisbert et al., 2014, p.4).

- Nutrientes

Los organismos están compuestos de materia orgánica y requieren nutrientes de forma regular para crecer, reproducirse y mantener sus funciones corporales (Campos, 2003, p.21). El carbono, nitrógeno, oxígeno, hidrógeno, fósforo y sulfuro son los principales componentes del tejido vivo (Campos, 2003, p.21).

### **2.2.7. Sistema de medición OxiTop**

El OxiTop es un instrumento de laboratorio diseñado para un propósito diferente a la medición de la evolución del CO<sub>2</sub> del suelo, ya que a menudo se usa para estimar la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) requerida para la degradación de la materia orgánica de aguas residuales (Barrales et al., 2014, p.681). El equipo es un sistema cerrado con botellas de vidrio de 1000 ml que mide el consumo de oxígeno de forma indirecta midiendo la caída de presión provocada por el consumo de oxígeno a lo largo del tiempo mediante un sensor (Barrales et al., 2014, p.681). Esta caída de presión está relacionada con la liberación y captura de CO<sub>2</sub>; los datos se descargan mediante un control externo (Barrales et al., 2014, p.681). Esta herramienta se utiliza para estudiar la biodegradabilidad de la materia orgánica que se encuentra disuelta en las aguas residuales, evaluar la remediación de suelos contaminados y, ocasionalmente, examinar la descomposición del material de desecho orgánico en los suelos, su respiración y actividad microbológica (Barrales et al., 2014, p.681).

El método consiste en generar cambios de presiones en un sistema cerrado que emplea cabezales de medición conectados a los frascos que contienen las muestras de estudio, en donde los microorganismos presentes en las muestras consumen oxígeno y generan CO<sub>2</sub>, dando como resultado la determinación de la demanda biológica de oxígeno (DBO) (SERVIQUIMIA, 2020, p.1). Para llevar a cabo este procedimiento no es necesario que se genere la dilución de las muestras (SERVIQUIMIA, 2020, p.1).

## **2.3. Marco legal**

### **2.3.1. Código orgánico del ambiente**

Art.146.- Actividades permitidas. – Las actividades permitidas bajo el Sistema Nacional de Áreas Protegidas abarcarán la conservación, investigación, y aprovechamiento sustentable de la diversidad biológica, restauración, rehabilitación, manejo integrado del fuego,

educación, aspectos culturales, recreación y el turismo controlado, y otras actividades. Estas actividades serán reguladas y autorizadas por la Agencia Nacional del Medio Ambiente según la categoría de manejo del área protegida y el plan de manejo correspondiente (Asamblea Nacional del Ecuador, 2017, p.45).

El Art 248 del Código Orgánico del Ambiente del Ecuador plantea que la provisión de servicios ambientales por medio de ecosistemas naturales o alterados artificialmente beneficia a la población directa o indirectamente. Los resultados de preservar, mantener y regenerar las funciones ecológicas y los ciclos naturales críticos se denominan servicios ambientales. Estos resultados deben ser el resultado de acciones u omisiones humanas (Asamblea Nacional del Ecuador, 2017, p.65).

Art. 261.- Principios. – La Autoridad Ambiental Nacional publicará una norma técnica que definirá un mecanismo de manejo de páramos de acuerdo con los siguientes principios

...e) El ecosistema de páramo juega un papel fundamental en el desarrollo del país y el bienestar de la población, gracias a las fuentes de agua y la cantidad de carbono que contienen, por lo que en aquellos que son alterados deben ser determinadas como prioritarias y la Autoridad Ambiental Nacional debe promover la recuperación ecológica. f) Los planes, programas, proyectos y actividades a desarrollar por las autoridades competentes de los Páramos deberán ser congruentes con sus planes de manejo y deberán identificar actividades que aseguren la recuperación de estos ecosistemas (Asamblea Nacional del Ecuador, 2017, p.68).

### ***2.3.2. Ley para la preservación de zonas de reserva y parques nacionales***

Art. 3.- Las áreas de las reservas y parques nacionales, deberán mantenerse en su estado natural para el cumplimiento de sus fines específicos dentro de los límites establecidos en esta ley, y sólo podrán ser utilizados con fines científicos o turísticos (Congreso Nacional, 2009, p.1).

### ***2.3.3. Ley forestal y de conservación de áreas naturales y vida silvestre***

Art. 68.- El patrimonio de las áreas naturales nacionales deben permanecer intactos Para ello, se desarrollarán planes de manejo para cada una de las áreas antes mencionadas. Tal herencia es inalienable e indescriptible, y sobre ella no puede establecerse ningún derecho real (Congreso Nacional, 2004, p.15).

## **CAPÍTULO III**

### **3. MARCO METODOLÓGICO**

#### **3.1. Enfoque de investigación**

El trabajo de investigación tuvo un enfoque cuantitativo ya que se realizaron análisis respecto a las muestras de suelo que fueron evaluadas a nivel in situ y de laboratorio. De acuerdo con los objetivos, esta investigación es de tipo aplicada porque se pondrán en práctica los conocimientos del investigador para dar una percepción real del problema ambiental generado por las actividades agropecuarias. Por el tipo de inferencia es hipotético-deductiva porque se parte de una hipótesis inicial basado en un marco teórico, finalmente debido a que el estudio se realizará en un tiempo específico es catalogado de tipo transversal.

#### **3.2. Nivel de investigación**

Según el nivel de profundidad en el tema de estudio, esta investigación tiene un carácter exploratorio debido a la falta de un estudio científico del flujo de carbono en herbazales inundable en el Área de Conservación Comunitaria Cunuyacu.

#### **3.3. Diseño de investigación**

##### ***3.3.1. Según la manipulación o no de la variable independiente***

El diseño de este estudio es preexperimental debido a que la manipulación de variables es casi nula, ya que se basará en la observación del fenómeno tal y como sucede en su entorno natural para analizarlos.

##### ***3.3.2. Según las intervenciones en el trabajo de campo***

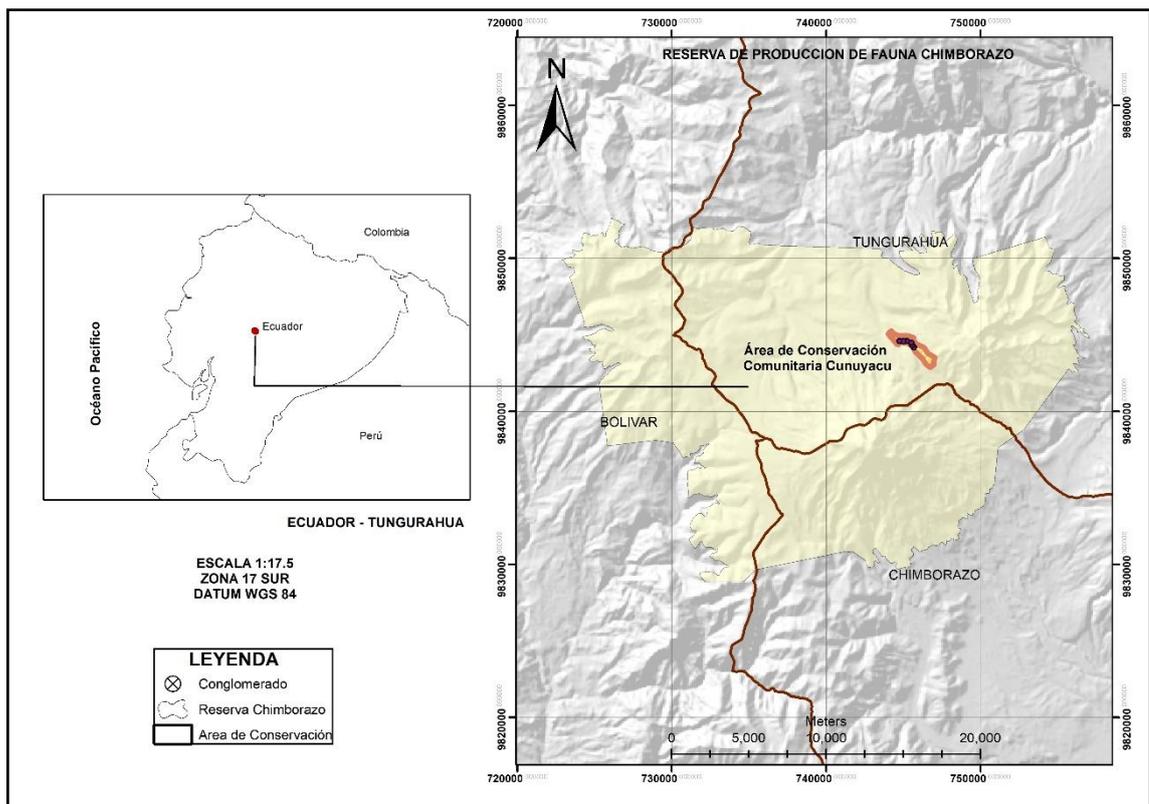
La investigación se llevó a cabo en los meses de Julio- agosto, es decir en una época específica, por lo que es catalogada de tipo trasversal.

### 3.4. Tipo de estudio

### 3.5. Población y planificación, selección y cálculo del tamaño de la muestra

#### 3.5.1. Localización del estudio

El Área de Conservación Comunitaria Cunuyacu se encuentra ubicada en la Provincia de Tungurahua, parroquia Pilahuin. Presenta coordenadas :1°24'28.25°S Y 78°47'30.55°O, con una latitud de -1.4078472 y una longitud de -78.7918194.



**Figura 1-3: Mapa del Área de Conservación Comunitaria Cunuyacu**

**Realizado por:** Curisaca, Wendy & Narváez, Jessica, 2023 (GIDAC)

#### 3.5.2. Población de estudio

- El estudio se realizó en 40 hectáreas del Herbazal inundable de páramo del Área de Conservación Comunitaria Cunuyacu en la Reserva de Producción de Fauna Chimborazo.

### 3.5.3. Tamaño de la muestra

En el Área de Conservación Comunitaria Cunuyacu, provincia de Chimborazo se determinó el tamaño de la muestra, con la ayuda de la fórmula para poblaciones finitas.

$$n = \frac{N * p * q * Z^2}{(N - 1) * e^2 + p * q * Z^2}$$

Dónde:

**N**= tamaño de la población (Superficie del área de conservación Cunuyacu)

**p**= probabilidad de que un evento suceda (0.90)

**q**= probabilidad de que el evento no suceda (0.05)

**Z**= Valor de confianza, para este caso se emplea un nivel de confianza del 95% que equivale a un valor de 1.96

**e**= Margen de error

(Condori, 2020, p.6)

Entonces:

$$n = \frac{40 * 0.90 * 0.05 * 1.96^2}{(40 - 1) * 0.05^2 + 0.90 * 0.05 * 40^2}$$
$$n = 18$$

Una vez calculado el tamaño de la población con un error del 0.5% mediante un muestreo probabilístico por aleatorio siempre se obtuvo un tamaño de la muestra de 18 que hace referencia al número de parcelas, entonces el número se divide para 3 dando un total de 6 conglomerados con 54 puntos de muestreo.

## 3.6. Métodos, técnicas e instrumentos de investigación

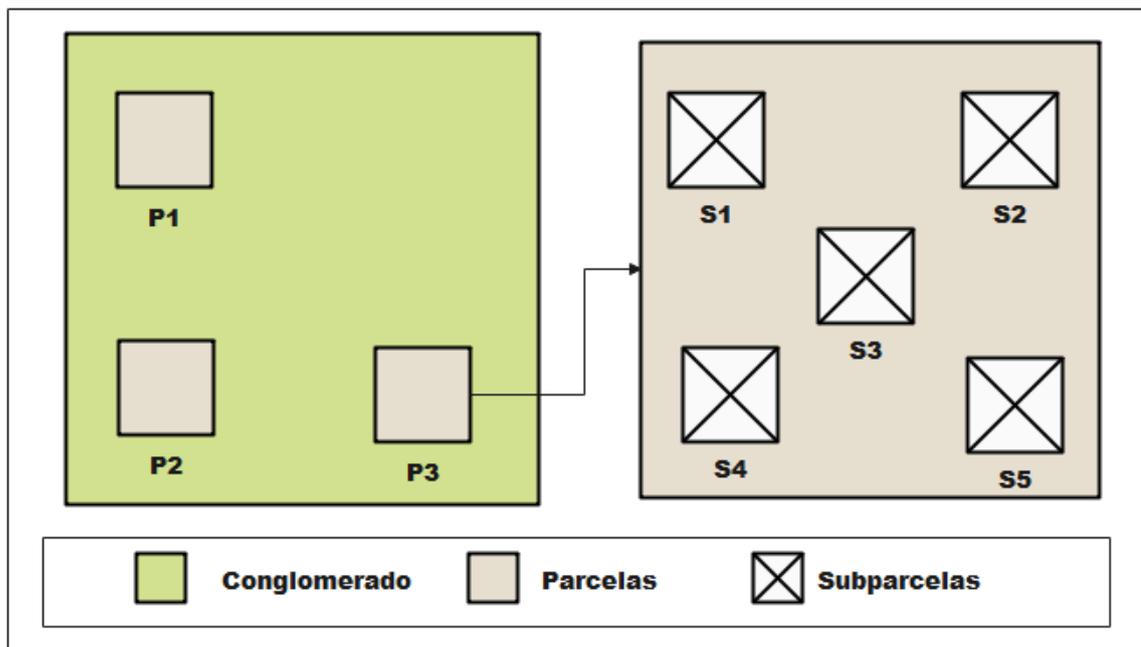
### 3.6.1. Fase de campo

#### 3.6.1.1. Diseño de muestreo

Se empleó el método conocido como muestreo por conglomerados en el cual se estableció 3 parcelas en forma de L de 1\*1 km cada cuadrante y cada parcela contiene 5 subparcelas (Ministerio del Ambiente del Ecuador MAE, 2012, p.11), como se muestra en la figura 2-3. Para acceder a los puntos se utilizó un GPS que contenía previamente los datos de las coordenadas de muestreo y con la

ayuda de un barreno se tomaron las muestras de suelo a 0-30 cm y 30-60 cm de profundidad. También se extrajeron monolitos con la ayuda de una hoyadora.

Utilizando la cartografía del área de estudio se realizó la distribución espacial de los puntos de muestreo para cada sitio en particular, se tomaron en cuenta las características y el objetivo de muestreo.

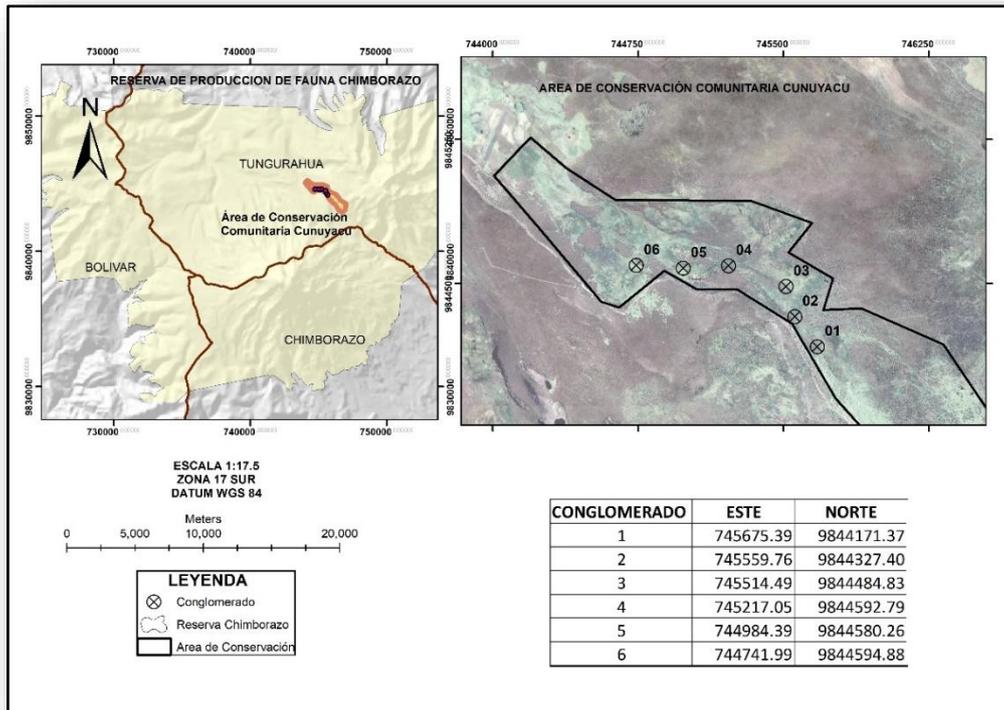


**Figura 2-3:** Diseño del muestreo en campo

**Realizado por:** Curisaca, Wendy & Narváez, Jessica, 2023

### 3.6.1.2. Recolección de muestras

Una vez localizado el lugar de muestreo y determinado el tamaño de la muestra se procedió a determinar el número de conglomerados que fueron 6 con un total de 18 parcelas de estudio, como se muestra en la figura 3-3.



**Figura 3-3:** Mapa del Área de Conservación Comunitaria Cunuyacu.

**Realizado por:** Curisaca, Wendy & Narváez, Jessica, 2023 (GIDAC)

### 3.6.1.3. Técnica de recolección de muestras para materia orgánica, conductividad, pH y color.

Se realizó una muestra compuesta con la ayuda de un barreno a profundidades de 0 a 30 cm y 30 a 60 cm, para lo cual en cada se tomó una muestra por cada subparcela mismas que fueron colocadas en una funda para su posterior homogenización, de la muestra compuesta se tomó 1 kg de muestra para sus posteriores análisis de laboratorio, este proceso se realizó para las dos profundidades de estudio. Ambas muestras fueron colocadas en una funda ziploc con las etiquetas respectivas tomando en cuenta el número de conglomerado y parcela (Alvis, 2018, p.35).

### 3.6.1.4. Técnica de recolección de muestras para carbono orgánico

Se tomó en cuenta tres depósitos de carbono: biomasa aérea y subterránea y necromasa, para lo cual se empeló una hoyadora la cual permitió la extracción de un monolito en cada parcela de cada conglomerado (Alvis, 2018, p.35). Estos fueron envueltos con plástico film para mantener su estructura y humedad, se colocaron en fundas ziploc para evitar que se destruyan en el trayecto, fueron etiquetados tomando en cuenta el conglomerado y la parcela correspondiente (Alvis, 2018, p.35).

### *3.6.1.5. Técnica de recolección de muestras para densidad y % de humedad*

Para estos parámetros se utilizó una hoyadora para realizar un hoyo de 0. 60 cm, en cada parcela de los 6 conglomerados para introducir dos cilindros en forma horizontal tomando una muestra a nivel de sus perfiles; el primer cilindro fue colocado en la profundidad de 0- 30 cm y el otro de 30-60 cm, posteriormente estos fueron envueltos con plástico film para evitar la pérdida de humedad cada uno con su respectiva codificación. Para la humedad se utiliza las mismas muestras contenidas en los cilindros (Auquilla, 2016, p.28).

### *3.6.1.6. Técnica de recolección de muestras para respiración edáfica*

Para el análisis de la respiración edáfica se realizó una muestra compuesta de 0-30 cm por cada conglomerado, es decir se extrajeron 5 submuestras de todo el conglomerado para hacer una muestra, estas fueron homogenizadas en campo para tener una mejor visión de ellos procesos que se dan en el lugar de estudio (Paña, 2022, p.22). Una vez recolectada la muestra fue colocada en una funda ziploc sin cerrarla para evitar que los microorganismos aerobios que se encuentran presentes mueran y que se siga dando el proceso de respiración para evitar alteraciones en los resultados (Paña, 2022, p.22).

## **3.6.2. Fase de laboratorio**

### *3.6.2.1. Determinación de la respiración edáfica*

Para la cuantificación de la respiración edáfica se utilizó un método manométrico (Oxip Control measuring system) (Sánchez, 2015, p.5), que registra la depresión causada por el consumo de oxígeno en un recipiente de vidrio con cierre hermético de 1000 mL tras la adición de 300 g de suelo y un vaso plástico que contiene 30 mL de NaOH 1 N, cuyo propósito es absorber el CO<sub>2</sub> liberado y evitar que aparezca en forma de gas libre (Sánchez, 2015, p.5).

El resultado es una curva de cambios de presión (hPa) con el tiempo (horas). El tiempo total de incubación fue de 5 días (Sánchez, 2015, p.5). A partir de los cambios de presión que son valores negativos se puede calcular el oxígeno consumido (mg) utilizando la ecuación general de los gases (Sánchez, 2015, p.5).

- Ecuación general de los gases

$$PV=nRT$$

Donde:

P= Presión (atm)

V= Volumen (L)

n= Número de moles de O<sub>2</sub> (moles)

R= Constante ( $0,082 \frac{atm*L}{mol*K}$ )

T= Temperatura (K)

(Sánchez, 2015, p.5)

- Cálculo de la respiración del suelo

$$BA = \frac{M_R(O_2)}{R * T} * \frac{V_{fr}}{m_{Bt}} * \Delta p$$

Donde:

BA = respiración del suelo [en mg O<sub>2</sub> / kgTS]

MR (O<sub>2</sub>) = masa molar de oxígeno: 32000 mg/mol

V<sub>fr</sub> = volumen de gas libre [en L] (ver ecuación 7)

R = constante general de los gases: 83,14 L mbar mol<sup>-1</sup> K<sup>-1</sup>

T = temperatura de medición [en K]

m<sub>Bt</sub> = masa de sustancia seca del suelo en la preparación de medición

Δp = reducción de la presión de la preparación de medición [en mbar]

(Platen y Wirtz, 2010, p.16)

- Cálculo del volumen de gas libre:

$$V_{fr} = V_{ges} - V_{AG} - V_{AM} - V_{Bf}$$

Donde:

V<sub>fr</sub> = volumen de gas libre [en L]

V<sub>ges</sub> = volumen total del espacio de cabeza encerrado en el recipiente de medición por la tapa [en L] (sin tierra, sin recipiente de absorción, sin agente absorbente)

V<sub>AG</sub> = volumen característico del recipiente para el agente absorbente [en L]

V<sub>AM</sub> = volumen característico del agente absorbente [en L]

V<sub>Bf</sub> = volumen del suelo húmedo [en L]

(Platen y Wirtz, 2010, p.16)

### 3.6.2.2. Determinación de parámetros fisicoquímicos del suelo

#### ❖ Determinación de densidad aparente y humedad

Para la determinación de DA se utilizó el “método del cilindro”, que consiste en utilizar un cilindro metálico de volumen conocido (Agostini et al., 2014, p.172). Siguiendo la técnica que se describe a continuación.

En la balanza analítica se pesó la tarrina de aluminio luego se removió la funda plástica de los cilindros y la muestra de suelo fue colocada en la tarrina, se procedió a pesar la muestra de suelo con la tarrina, siendo ese el peso húmedo de la muestra. El siguiente paso fue colocar las muestras en la estufa a 105 °C por 24 horas, transcurrido este tiempo, se pesaron las muestras para obtener así el peso en seco.

Para los cálculos se utilizaron las siguientes ecuaciones:

$$DA = \frac{PS - PC}{V}$$

Donde:

DA= Densidad Aparente

PS= Peso Seco

PC= Peso de la tarrina

V= Volumen del cilindro

$$\%H = \frac{PH - (PS - PC)}{PH} * 100$$

Donde:

%H= % contenido de humedad.

PH= Peso húmedo

PS= Peso Seco

PC= Peso de la tarrina

❖ Determinación de pH y conductividad eléctrica (CE)

Estos análisis se los recomienda realizar lo antes posible luego de la recolección de las muestras en campo.

- pH

Para el pH se pesaron 20 g de suelo y se los colocó en un recipiente plástico al que se le añadió 80 mL de agua destilada, se agitó durante 10 minutos y se procedió a medir con un ph-metro marca Fisher Scientific modelo accumet AB150.

- Conductividad eléctrica

Para medir la conductividad eléctrica se colocaron 50 g de suelo y 50 mL de agua destilada en un vaso plástico, después de 10 minutos de agitación, las muestras se dejaron reposar durante 24 horas para luego ser medidas con un conductímetro de la marca Thermo Scientific modelo Orion Star A112, los datos se obtuvieron en  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

❖ Determinación de materia y carbono orgánico

Para la determinación de la materia y el carbono orgánico se utilizó el método de calcinación (Dabadie et al., 2018, p.157).

Para esto las muestras se extendieron sobre papel periódico y fueron sometidas a un secado natural, cuando las muestras se encontraron totalmente secas, con la ayuda de un mortero y un pistilo se procedió a triturarlas para ser tamizadas hasta 2 mm. Se procedió a colocar 5 g de muestra en un crisol previamente tarado y se las colocó en la estufa a 105 °C durante 24 horas para luego ser pesadas. Posterior a ello se colocaron los crisoles en la mufla a 360 °C por dos horas, transcurrido este tiempo finalmente las muestras fueron pesadas. (Dabadie et al., 2018, p.157)

Para el cálculo del porcentaje de materia orgánica se utilizó la siguiente ecuación:

$$\%MO = \frac{(P_3 - P_4)}{(P_3 - P_1)} * 100$$

Donde:

%MO= Porcentaje de materia orgánica

P1= Peso del crisol

P3= Peso en seco

P4= Peso de calcinación

Para el cálculo del porcentaje de Carbono Orgánico se utilizó la siguiente ecuación.

$$\%CO = \frac{\%MO}{1,724}$$

Donde:

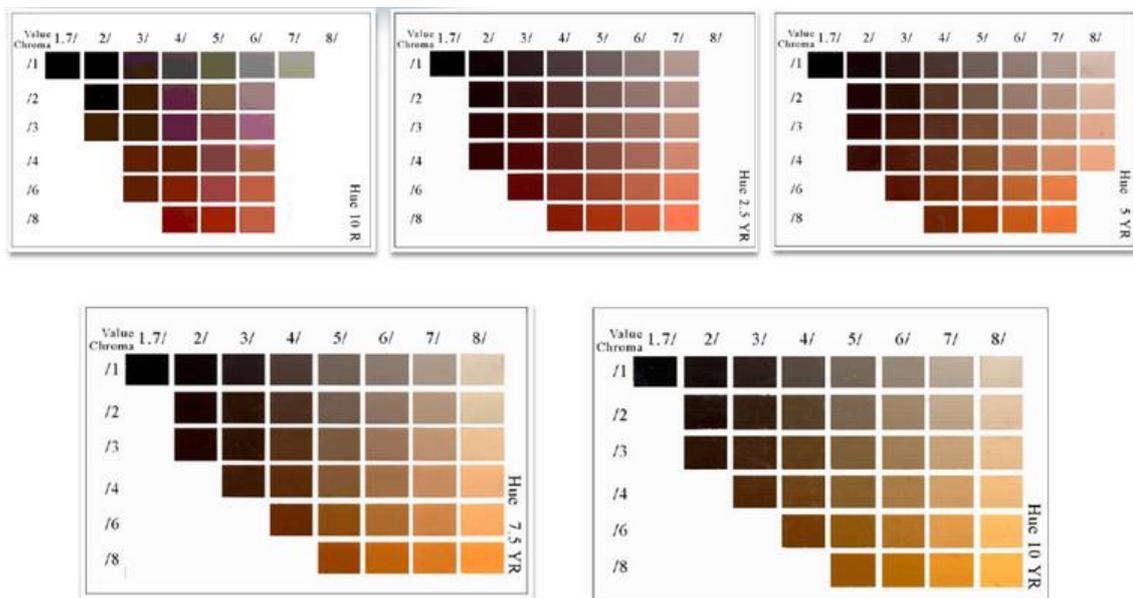
%CO= Porcentaje de carbono orgánico.

%MO= Resultado del porcentaje de materia orgánica

1,724= Factor de Van Bemmelen

#### ❖ Determinación del color y textura del suelo

Para determinar el color del suelo se utilizó las tablas de Munsell (Domínguez et al., 2018, p.142). Para ello, se dejaron secar las muestras una vez secas se las trituro y luego se las tamizó en un tamiz de 2 mm. Sobre una hoja de papel blanca se colocó una pequeña cantidad de muestra y se procedió a comparar con el color de las tablas. Ver figura 4-3.



**Figura 4-3:** Tablas de color de Munsell

Fuente: (Castro, 2018,p.21)

Para la determinación de la textura del suelo se realizó mediante la técnica del “tacto” (Ciancaglino, 2000, p.8). Para esto se siguió el procedimiento que se indica en la figura 5-3.

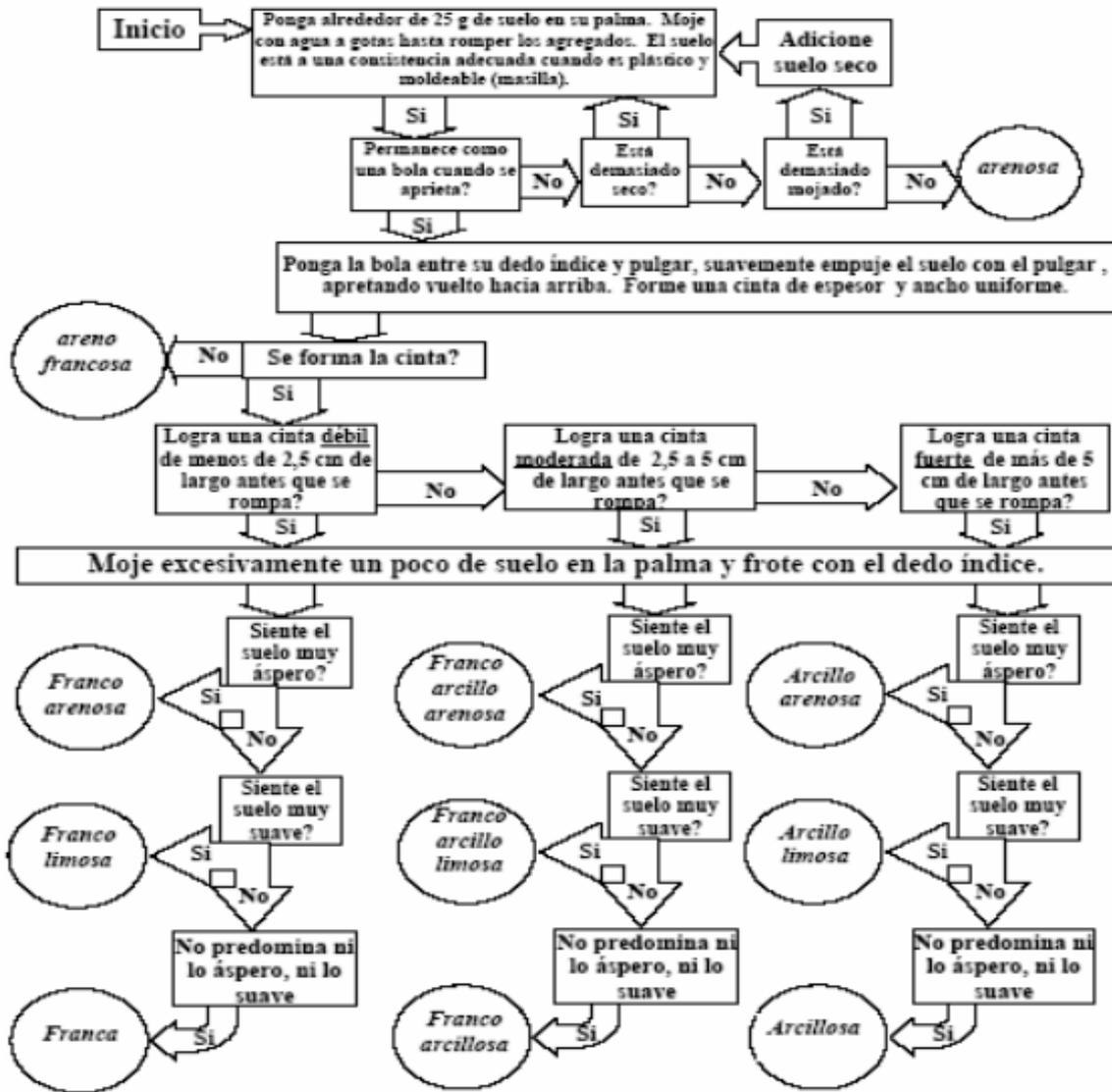


Figura 5-3: Guía resumen para la determinación al tacto para diferentes clases texturales

Fuente: (Ciancaglioni, 2000,p.10)

- ❖ Determinación del Stock de Carbono de los tres reservorios: Biomasa aérea, necromasa y raicillas.

Para la determinación del Stock de Carbono de la biomasa aérea, necromasa y raicillas se midió la altura y el diámetro del monolito, se identificaron cada uno de los reservorios donde la biomasa aérea comprende la vegetación, la necromasa corresponde a la porción del material en proceso de descomposición y la pieza restante son las raicillas.

El monolito fue colocado en una bandeja y se procedió a cortar cada una de las partes ya identificadas, se lavaron las raicillas hasta quitarles la mayor cantidad de tierra. La biomasa aérea,

así como la necromasa y las raicillas, se colocaron en bandejas previamente pesadas y se procedió a pesar cada una de las muestras y fueron colocadas en la estufa por 24 horas a 105 °C, pasado este tiempo se volvieron a pesar las muestras obteniendo así el peso seco.

Cálculos

Determinación del porcentaje de humedad:

$$\%H = \frac{P1 - P2}{P1} * 100$$

Donde:

%H= Porcentaje de humedad

P1= Peso húmedo - bandeja

P2= Peso seco - bandeja

Luego se procedió a calcular la biomasa seca en (g/cm<sup>3</sup>), para esto se utilizó el volumen de cada una de las fracciones del monolito.

Este volumen se calculó utilizando la ecuación del volumen de un cilindro.

$$V = \pi * r^2 * h$$

Donde:

V= Volumen del monolito

r= Radio del monolito

h= Altura de la fracción con la que se esté trabajando (biomasa aérea, necromasa o raicillas)

Para el cálculo de la biomasa seca (g/cm<sup>3</sup>) de cada uno de los reservorios se empleó la siguiente ecuación:

$$Bs = P2/V$$

Donde:

Bs= Biomasa seca

P2= Peso seco - tarrina

V= Volumen de la fracción con la que se está trabajando

Luego se calculó el carbono en g/cm<sup>3</sup>

$$C = Bs * 0,5$$

Donde:

C= Carbono en g/cm<sup>3</sup>

Bs= Biomasa seca

0,5= constante

Se procedió a calcular el Carbono en gramos.

$$C(g) = C * V$$

Donde:

Cg= Carbono en gramos

C= Carbono en g/cm<sup>3</sup>

V= Volumen de la fracción con la que se está trabajando

Y finalmente se calculó el carbono en Mg/ha con la siguiente ecuación.

$$Cf = \frac{Cg}{A} * 100$$

Cf= Carbono en Mg/ha

Cg= Carbono en gramos

A= Área de la fracción con la que se está trabajando.

## CAPÍTULO IV

### 4. MARCO DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

#### 4.1. Respiración edáfica

Para el análisis de la respiración edáfica de los seis conglomerados se tomaron en cuenta los valores del día uno y cinco.

- En el conglomerado 1 se obtuvo en el primer día un valor mínimo de 0.1 mg CO<sub>2</sub>/Kg de suelo seco/hora y un valor máximo de 0.18, con un valor medio de 0.14 y una desviación estándar de 0.04 lo que supone que los datos tienen una dispersión baja. Para el día 5 se logró un valor mínimo y máximo de 0.03 y 0.1 respectivamente, un valor de la media de 0.063 y una desviación estándar de 0.035 indicando que los datos no están dispersos.
- Para el conglomerado 2, las mediciones del primer día oscilaron entre 0.09 mg Co<sub>2</sub>/Kg de suelo seco\*h y 0,17, con un valor medio de 0,13 y una desviación estándar de 0,04, lo que sugiere que los datos tenían un bajo grado de dispersión. Los valores mínimo y máximo para el día 5 fueron 0,02 y 0,06, respectivamente. El valor promedio fue 0,033 y la desviación estándar fue 0,023, lo que indica que los datos están distribuidos uniformemente.
- En cuanto al conglomerado 3 se obtuvo en el primer día un valor mínimo y máximo de 0.09 y 0.23 en el orden mencionado, con un valor medio de 0.153 y una desviación estándar de 0.07 lo que supone que los datos tienen una dispersión baja. Para el día 5 el valor de la desviación estándar fue de 0.037 lo que indica que los valores no se encuentran dispersos entre sí, también se obtuvo un valor mínimo y máximo de 0.07 y 0.13 respectivamente y un valor de la media de 0.043.
- Los valores mínimo y máximo obtenidos en el conglomerado 4 en el primer día fueron 0,12 y 0,24, respectivamente, con un valor medio de 0,163 y una desviación estándar de 0,066, lo que indica un bajo grado de dispersión de los datos. En el día 5, el valor mínimo y máximo fue de 0,02 y 0,05, en el orden mencionado, y una media de 0,04. Además, se obtuvo un valor de la desviación estándar de 0,017, lo que indica que no existe dispersión entre estos valores.
- Con respecto al conglomerado 5; el valor mínimo obtenido el primer día fue de 0,15 mg Co<sub>2</sub>/Kg suelo seco\*h, el valor máximo fue de 0,29, un valor medio de 0,22 y la desviación

estándar de 0,07, es decir, los datos tuvieron baja dispersión. En el día 5, los valores mínimo y máximo fueron 0,04 y 0,17, respectivamente, con una media igual a 0,083 y la desviación estándar de 0,075, lo que indica que los datos no están dispersos.

- Los valores mínimo y máximo obtenidos en el conglomerado 4 en el primer día fueron 0,05 y 0,13, respectivamente, con un valor medio de 0,09 y una desviación estándar de 0,04, lo que indica un bajo grado de dispersión de los datos. En el día 5, el valor mínimo y máximo fue de 0,01 y 0,06, en el orden mencionado, y una media de 0,033. Además, se obtuvo un valor de la desviación estándar de 0,025, lo que indica que no existe dispersión entre estos valores.

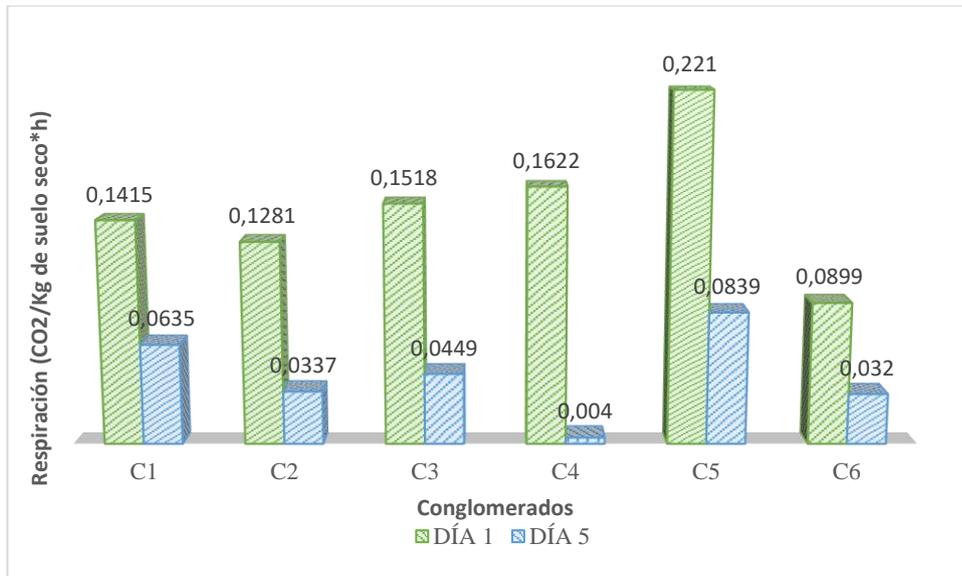
**Tabla 1-4:** Datos de los valores de respiración de los conglomerados en los días 1 y 5.

DÍAS	CONGLOMERADOS					
	C1	C2	C3	C4	C5	C6
<b>Día 1 mg CO<sub>2</sub>/Kg de suelo seco*h</b>	0,141473333	0,12812	0,1518	0,1622	0,221	0,08991
<b>Día 5 mg CO<sub>2</sub>/Kg de suelo seco*h</b>	0,06352	0,033723333	0,044932333	0,040376667	0,083866667	0,032

Realizado por: Curisaca, Wendy & Narváez, Jessica, 2023 (GIDAC)

Finalmente se realizó un análisis ANOVA utilizando los datos de las tres repeticiones para los días 1 y 5 en los seis conglomerados, los resultados arrojados por el programa fueron: Para el primer día, se identificaron dos grupos, el primer grupo que incluye el conglomerado 6 y el segundo grupo que incluye el conglomerado 5, y los conglomerados restantes se encuentran dentro de estos dos grupos, ya que son estadísticamente iguales a ambos.

Adicionalmente se obtuvo un valor de p de 0.1985, indicando que los valores obtenidos no son significativos en cuanto a la respiración grupal. El valor de p fue de 0.6232 el día 5, revelando que los valores no son significativos en la respiración dentro del grupo. Además, se logró identificar un solo grupo, del cual se puede inferir que los valores no difieren significativamente. El programa de InfoStat determinó que los conglomerados C1, C2, C3, C4, C5 y C6 obtuvieron valores de la media de 0.14, 0.13, 0.15, 0.16 y 0.09, respectivamente, correspondientes al día 1; mientras que, el día 5, los valores fueron 0.06, 0.03, 0.04, 0.04, 0.08 y 0.003, respectivamente, en el orden mencionado anteriormente. Ver gráfico 1-4.



**Gráfico 1-4:** Variación de la respiración edáfica del día 1 y 5 de todos los conglomerados.

**Realizado por:** Curisaca, Wendy & Narváez, Jessica, 2023 (GIDAC)

## 4.2. Evaluación del carbono orgánico total

### 4.2.1. Análisis de propiedades fisicoquímicas del suelo

#### 4.2.1.1. Color y textura

Para establecer los valores de las propiedades físico-químicas correspondientes al color y textura del suelo de 0-30 cm de profundidad; presentaron los siguientes valores: La textura posee una variación comprendida entre arcillo-arenoso, arcillo-limosa, arcillosa, franco arcillo-limosa, franco-arcillosa y franco-arenoso; el color tiene un rango de variación que van desde 5 YR 4/1 gris oscuro hasta 10 YR 6/1 gris; siendo el más frecuente el 7,5 YR 3/3 que corresponde al color marrón oscuro y la textura franco arcillosa. Ver tabla. 2-4.

Estos colores pueden deberse a la acumulación de óxidos de hierro y manganeso. Estos óxidos se producen cerca de la rizosfera debido a la presencia del oxígeno que es transportado por las hojas de las plantas a la raíz que forman motas de un color amarillo-café y gris oscuro.

**Tabla 2-4:** Datos de color y textura del suelo a 0-30 cm de profundidad.

<b>CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL SUELO DE 0-30 CM DE PROFUNDIDAD</b>			
<b>Conglomerado</b>	<b>Punto</b>	<b>Color</b>	<b>Textura</b>
C1	P1	7,5 YR 4/3	Franco arenoso
	P2	7,5 YR 5/1	Franco arcillosa
	P3	7,5 YR 5/1	Arcillo limosa
C2	P1	5YR 4/1	Franco arcillo limosa
	P2	7,5 YR 3/3	Franco arcillosa
	P3	7,5 YR 3/3	Arcillo limosa
C3	P1	7,5 YR 3/4	Arcillo limosa
	P2	10 YR 6/1	Franco arcillo limosa
	P3	7,5 YR 3/3	Arcillosa
C4	P1	7,5 YR 2,5/3	Franco arcillo limosa
	P2	7,5 YR 5/2	Franco arcillo limosa
	P3	10 YR 4/3	Franco arcillosa
C5	P1	7.5 YR 5/1	Franco arcillosa
	P2	10YR 3/3	Arcillo arenoso
	P3	7.5 YR 5/2	Franco arcillosa
C6	P1	7,5 YR 3/3	Arcillo limosa
	P2	7,5 YR 6/1	Arcillo limosa
	P3	7,5 YR 2,5/3	Franco arcillosa

**Realizado por:** Curisaca, Wendy & Narváez, Jessica, 2023 (GIDAC)

De la misma manera para establecer los valores de las propiedades físico-químicas correspondientes al color y textura del suelo que van desde los 30 a 60 cm de profundidad, se presentaron los siguientes valores: Las variaciones texturales incluyen arcillo-limosa, arcillosa, franca, franco arcillo-limosa, franco arcillo-arenosa y franco-limosa; las variaciones de color van desde 7,5 YR 2,5/3 marrón muy oscuro hasta 10 YR 6/1 gris, siendo las más comunes 10 YR 3/2 marrón grisáceo muy oscuro y en cuanto a la textura predomina la franco arcillo limosa. Ver tabla 3-4.

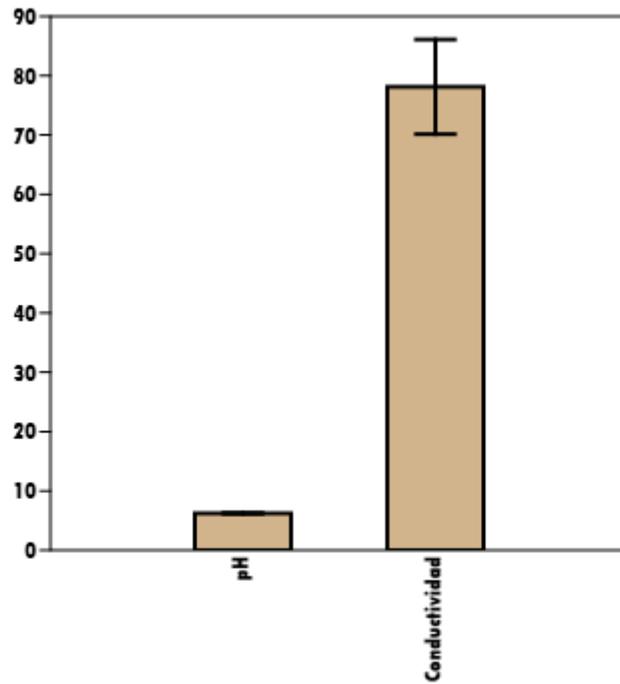
**Tabla 3-4:** Datos del color y textura del suelo a 30-60 cm de profundidad

<b>CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL SUELO DE 30-60 CM DE PROFUNDIDAD</b>			
<b>Conglomerado</b>	<b>Punto</b>	<b>Color</b>	<b>Textura</b>
C1	P1	7,5 YR 4/1	Franco limosa
	P2	7,5 YR 4/1	Arcillo limosa
	P3	10 YR 7/1	Franco arcillo limosa
C2	P1	7,5 YR 6/1	Arcillo limosa
	P2	10 YR 6/1	Arcillo limosa
	P3	10 YR 6/1	Arcillosa
C3	P1	7,5 YR 5/2	Franco arcillo limosa
	P2	7,5 YR 6/1	Franco arcillo arenosa
	P3	7,5 YR 6/1	Franco arcillo limosa
C4	P1	7,5 YR 6/1	Franco
	P2	10 YR 3/2	Franco arcillo arenosa
	P3	10 YR 6/1	Franco arcillo limosa
C5	P1	10 YR 5/2	Franco arcillo limosa
	P2	10 YR 3/2	Franco arcillo limosa
	P3	10 YR 3/2	Franco arcillo limosa
C6	P1	7,5 YR 2,5/3	Franca
	P2	10 YR 3/2	Franco arenosa
	P3	10 YR 3/2	Franco arcillo arenosa

**Realizado por:** Curisaca, Wendy & Narváez, Jessica, 2023 (GIDAC)

#### 4.2.1.2. pH y conductividad eléctrica

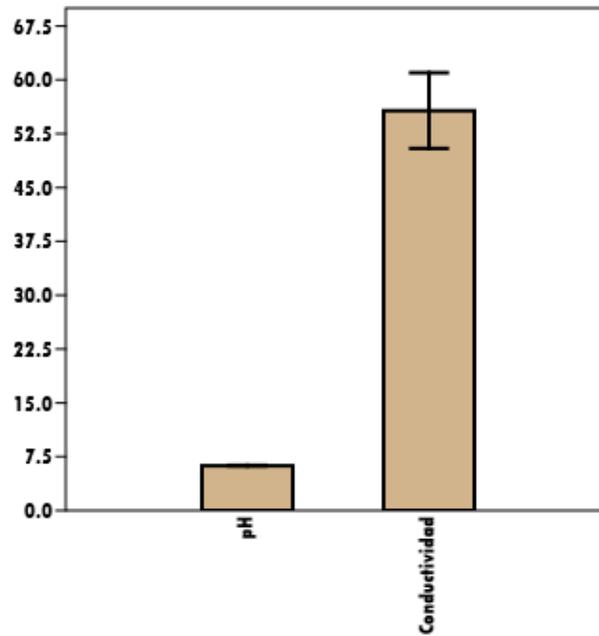
Los valores correspondientes de pH y conductividad a profundidades de 0 a 30 cm nos indica que estos valores poseen una dispersión baja con un valor mínimo de 5,98 y valores máximos de 6.55, mientras que la media y la mediana fueron de 6,24 y 6,245, respectivamente lo que corresponde a un suelo ligeramente ácido. Por otro lado, la conductividad presenta valores considerablemente más dispersos, con un valor mínimo de 32.8 y un valor máximo de 127.2; asimismo, se obtuvo el valor de la mediana siendo de 82.55, mientras que el valor de la media fue de 78.13, esto indica que los suelos de este herbazal presentan una salinidad muy baja. Ver gráfico 2-4.



**Gráfico 2-4:** Diagrama de caja del pH y conductividad del suelo a una profundidad de 0-30 cm.

**Realizado por:** Curisaca, Wendy & Narváez, Jessica, 2023 (GIDAC)

El gráfico (3-4), muestra que a profundidades de 30-60 cm existe una relación entre los valores de pH teniendo una dispersión de los valores baja, con un valor mínimo de 6.01 y un valor máximo de 6.72, en cuanto a la media y a la mediana se obtuvieron valores de 6.24 y 6.245 respectivamente, siendo estos suelos ligeramente neutros. Por otra parte, la conductividad presenta valores mucho más dispersos, con un valor mínimo de 25.58 y un valor máximo de 98.7, además se obtuvo la media cuyo valor fue de 55.70 y el valor de la mediana fue de 57.45.

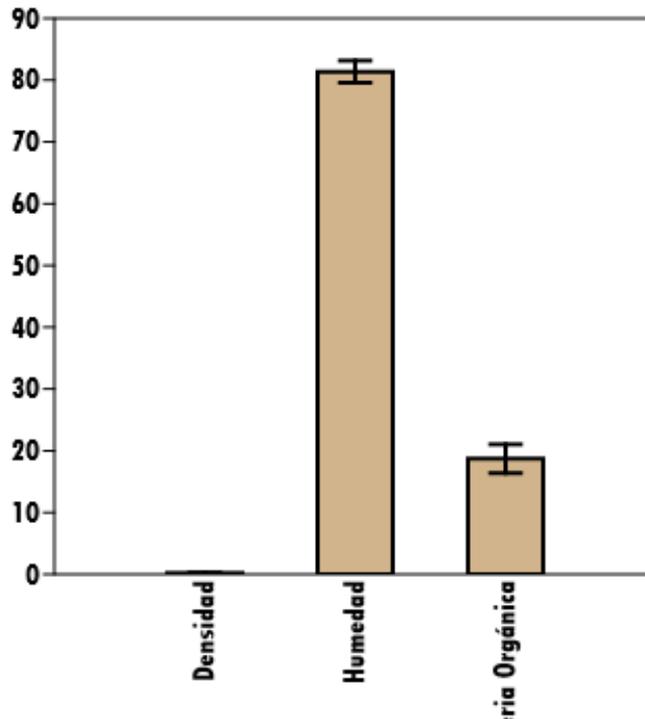


**Gráfico 3-4:** Diagrama de caja del pH y conductividad del suelo a una profundidad de 30-60 cm.

**Realizado por:** Curisaca, Wendy & Narváez, Jessica, 2023 (GIDAC)

#### 4.2.1.3. Densidad aparente, humedad y materia orgánica

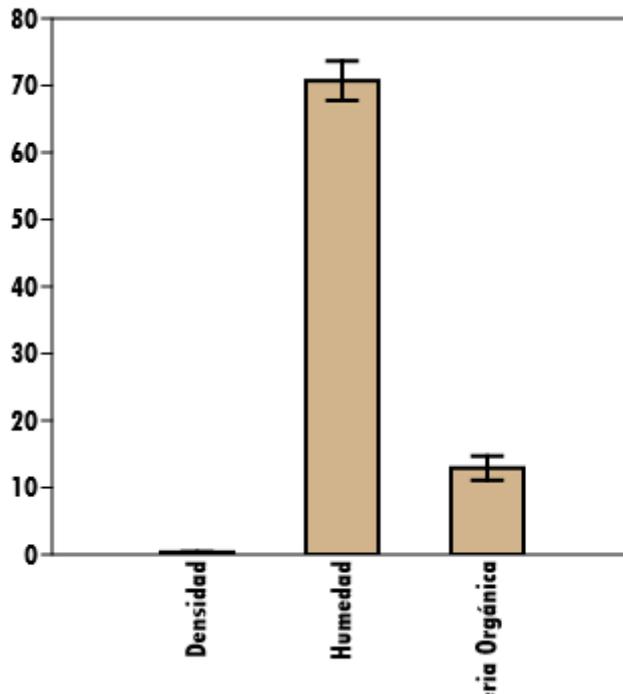
Para los valores de densidad aparente, humedad y materia orgánica que corresponden a profundidades de 0-30 cm indica que los valores de densidad aparente tuvieron una dispersión baja con un valor mínimo de 0.09949 g/cm<sup>3</sup> y un valor máximo de 0.428096 g/cm<sup>3</sup>, mientras que los valores de la media y mediana fueron 0.205753 y 0.177132 en el orden mencionado. Por otro lado, la humedad y materia orgánica exhiben valores mucho más dispersos, con un valor mínimo de 64.7855%, 8.272801% y un valor máximo de 90.2154% y 48.46578% respectivamente; además se obtuvo el valor de la mediana siendo 82.8095 mientras que el valor medio fue de 81.35985 para la humedad; en cuanto a la materia orgánica se obtuvo un valor de la mediana de 18.70921 g y 16.94049 como valor medio. Ver gráfico 4-4.



**Gráfico 4-4:** Diagrama de caja de la densidad aparente, humedad y materia orgánica del suelo a una profundidad de 0-30 cm.

**Realizado por:** Curisaca, Wendy & Narváez, Jessica, 2023 (GIDAC)

En cuanto a los valores de densidad aparente, humedad y materia orgánica que corresponden a profundidades de 30-60 cm, muestran que los valores de densidad aparente tuvieron una baja dispersión con un valor mínimo de  $0.06387 \text{ g/cm}^3$  y un valor máximo de  $0.65338 \text{ g/cm}^3$ , mientras que los valores de la media y mediana fueron  $0.35316$  y  $0.34624 \text{ g/cm}^3$  respectivamente. Por el contrario, la humedad y la materia orgánica presentan valores mucho más dispersos, con valores mínimos de  $64.7855\%$ ,  $8.2728\%$  y valores máximos de  $90.2154\%$  y  $48.46578\%$  respectivamente en el orden mencionado. Además, los valores de la mediana y media de la humedad fueron  $82,8095\%$  y  $81.35985\%$ , mientras que de la materia orgánica fueron  $16,94049\%$  y  $18.70921\%$ . Ver gráfico 5-4.

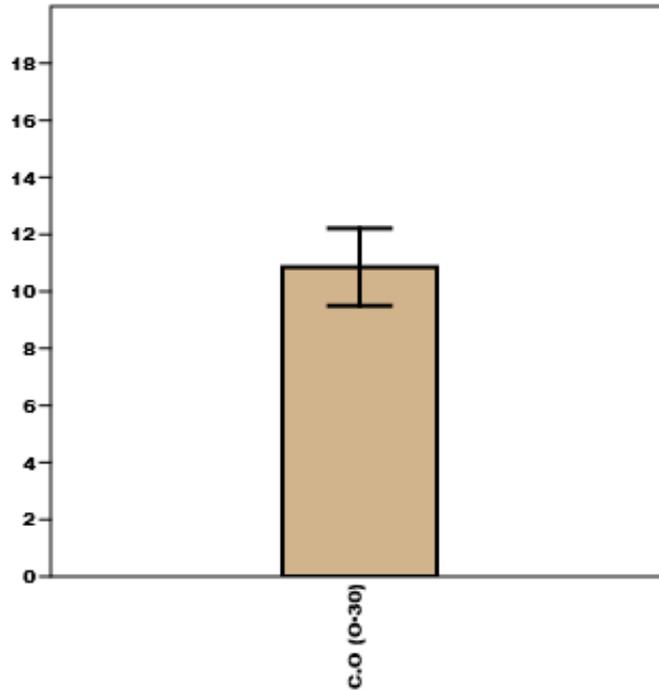


**Gráfico 5-4:** Diagrama de caja de la densidad aparente, humedad y materia orgánica del suelo a una profundidad de 30-60 cm.

**Realizado por:** Curisaca, Wendy & Narváez, Jessica, 2023 (GIDAC)

#### ***4.2.2. Carbono orgánico en el suelo***

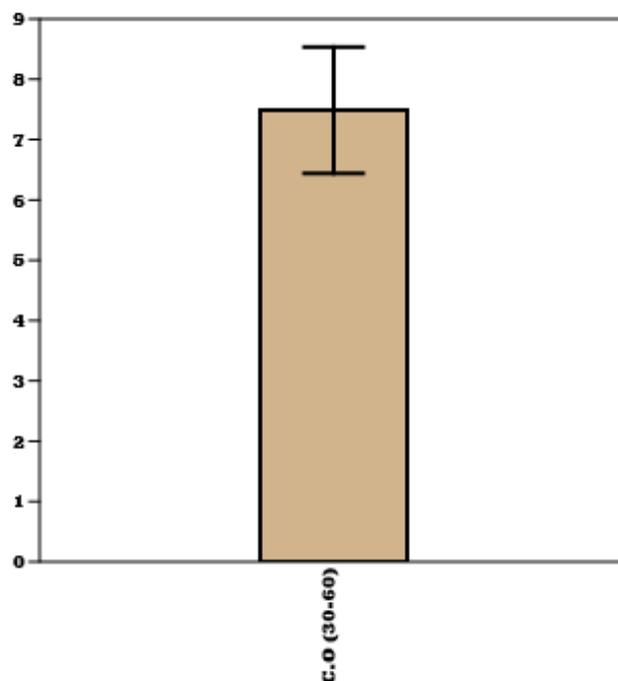
En el gráfico 6-4 se muestra, el porcentaje de carbono orgánico encontrado en el suelo a profundidades de 0-30 tuvo una dispersión media, con un valor mínimo de 4.7986 y un valor máximo de 28.1124; el valor de la media fue 10,8522 y el valor de la mediana fue 9.8263. Estos valores sugieren que el suelo de los humedales de Cunuyacu tiene una cantidad significativa de carbono orgánico.



**Gráfico 6-4:** Diagrama de caja del Carbono Orgánico del suelo a una profundidad de 0-30 cm.

**Realizado por:** Curisaca, Wendy & Narváez, Jessica, 2023 (GIDAC)

El contenido de carbono orgánico medido en el suelo a profundidades 30-60 cm tuvo un grado de dispersión medio, con un valor mínimo de 3.0578 y un valor máximo de 21.2784%; los valores de la media y mediana fueron 7.4869 y 6.3733% respectivamente. Estos valores podrían indicar que el suelo de los humedales de Cunuyacu tiene una alta cantidad de carbono orgánico. Ver gráfico 7-4.



**Gráfico 7-4:** Diagrama de caja del Carbono Orgánico del suelo a una profundidad de 30-60 cm.

**Realizado por:** Curisaca, Wendy & Narváez, Jessica, 2023 (GIDAC)

#### ***4.2.3. Biomasa aérea y subterránea y necromasa***

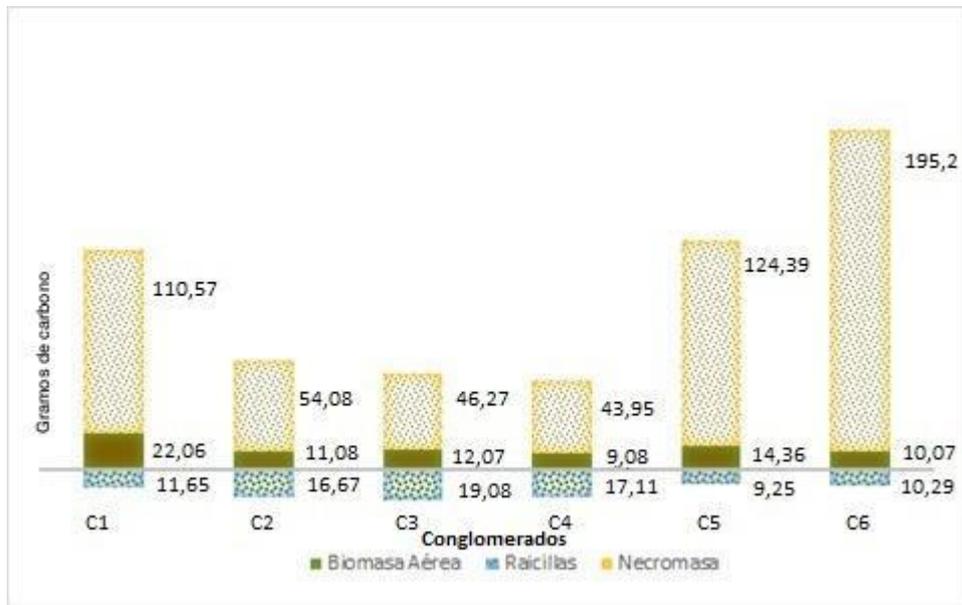
Para realizar el análisis de los tres depósitos de COT, se consideró un nivel de confianza del 95% (5% significancia) y un valor de  $p > 0.05$ .

La biomasa aérea muestra un valor de  $p$  igual a 0.0021 que explica que existe valores altamente significativos de la cantidad de carbono presente en dos grupos, definidos con un mínimo de 7.2642, un valor máximo de 25.8361 y una media de 13.1246, con una desviación estándar de 5.11, lo que indica que los valores son cercanos a la media.

En cuanto a la necromasa, refleja un valor de  $p$  0.0034 indicando que existen valores significativos presentes en tres grupos, definidos con un mínimo de 16.6517, un valor máximo de 245.1773 y una media de 95.7436, con una desviación estándar de 62.32.

Por otro lado, las raicillas presentan un valor de  $p$  igual a 0.432, lo que indica que existen valores no significativos para la cantidad de carbono presente en un grupo, mismo que está definido por

un valor mínimo de 3.692, un valor máximo de 29.4942 y un valor medio de 14.0112, con una desviación estándar de 6.98. Ver gráfico 8-4.



**Gráfico 8-4:** Stock de carbono del suelo en los seis conglomerados de los tres reservorios.  
Realizado por: Curisaca, Wendy & Narváez, Jessica, 2023 (GIDAC)

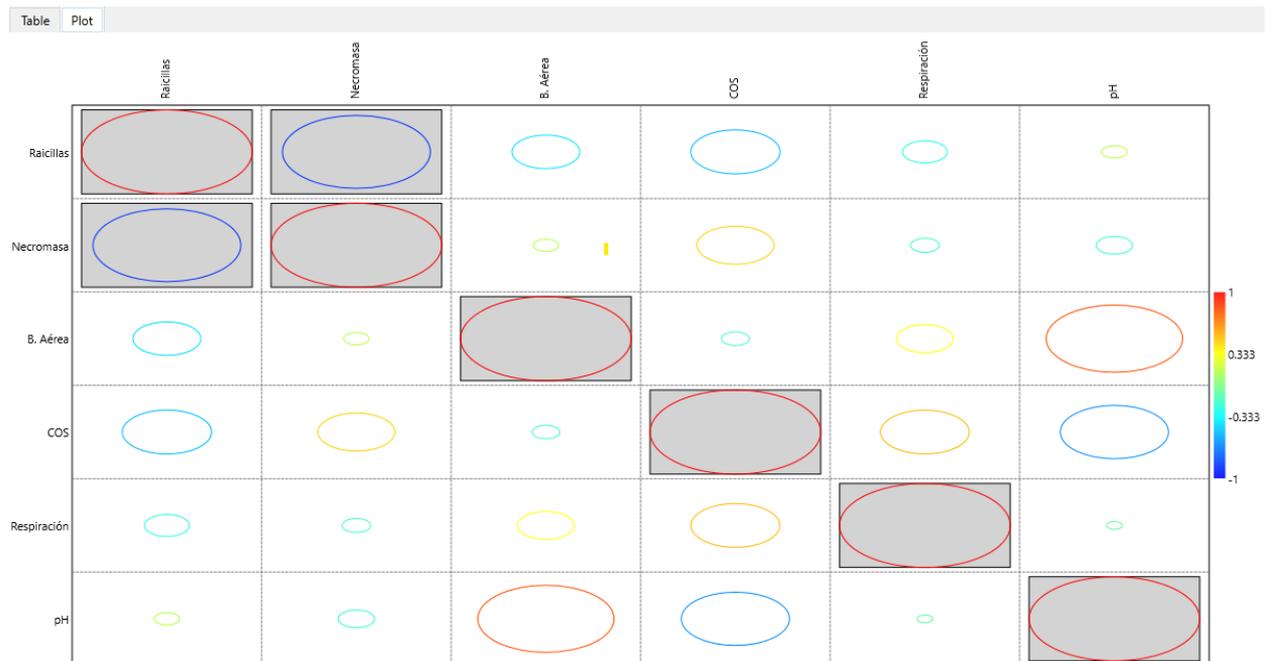
### 4.3. Correlación del flujo de carbono

Se procedió a realizar una correlación de Pearson para evaluar el grado de significancia de los tres depósitos de carbono y la respiración edáfica en el bofedal del Área de Conservación Comunitaria Cunuyacu. Ver figura 1-4.

Table	Plot						
		Raicillas	Necromasa	B. Aérea	COS	Respiración	pH
Raicillas			0.025154	0.43275	0.28617	0.61382	0.77802
Necromasa	-0.86755			0.77801	0.36703	0.74924	0.68535
B. Aérea	-0.39941	0.1491			0.75687	0.5169	0.056214
COS	-0.52379	0.45296	-0.16355			0.28874	0.17567
Respiración	-0.26355	-0.16878	0.33455	0.52143			0.86041
pH	0.14909	-0.21299	0.7996	-0.63484	-0.093332		

**Figura 1-4:** Correlación del flujo de carbono del suelo en los tres reservorios.  
Realizado por: Curisaca, Wendy & Narváez, Jessica, 2023 (GIDAC)

La matriz de correlación se muestra en el gráfico 9-4 junto con los coeficientes de correlación y sus respectivos niveles de significancia, donde se puede observar que las variables que se correlacionan negativamente son pH con carbono orgánico (63,48 %), raicillas con necromasa (86,75 %) y carbono orgánico con raicillas (52,37 %). Por otro lado, las variables que se correlacionan positivamente son ph con biomas aérea (79,96 %), carbono orgánico con respiración (52,14 %) y necromasa con carbono orgánico (45,49 %). Se tomaron en cuenta todos los valores con un nivel de significancia >0.4.



**Gráfico 9-4:** Matriz de correlación del flujo de carbono en los tres reservorios.

**Realizado por:** Curisaca, Wendy & Narváez, Jessica, 2023 (GIDAC)

#### 4.4. Discusión de resultados

##### 4.4.1. Respiración edáfica

Las tasas de respiración dependen en gran parte de la localidad, por lo general, son más altas en zonas de clima cálido al contrario de lo que pasa con nuestra zona de estudio que presenta una respiración promedio de 14,90 mg CO<sub>2</sub>/Kg de suelo seco\*día, estos valores pueden variar de un lugar a otro por la temperatura, pH, contenido de humedad, disponibilidad de nitrógeno, cantidad de materia orgánica; cantidad de hojarasca; carbono; porosidad, textura y densidad aparente del suelo (Romero et al., 2019: p.2). Estas características pueden modificarse debido a un cambio en la forma en que se utiliza un suelo determinado y, como resultado, la cantidad de CO<sub>2</sub> emitida se

ve directamente afectada (Romero et al., 2019: p.2). De la misma manera, se ha evidenciado que las variaciones en la temperatura y la humedad del suelo pueden estar relacionadas con variaciones en la RS, ya que las comunidades microbianas son menos activas y por ende su actividad microbiana es ralentizada generando una menor liberación de CO<sub>2</sub> (Coral, 2021, p.34).

(Alvis, 2018, pp.59-60) menciona que, la importancia del agua en los humedales radica en que las emisiones de CO<sub>2</sub> dependen de su nivel con respecto al suelo, ya que a medida que baja el nivel, el suelo incrementa su temperatura, dando paso a una mejor respiración aeróbica teniendo como consecuencia una alta tasa de emisión y transporte de este gas de efecto invernadero. Por otro lado, la sequía prolongada puede hacer que las turberas pasen de ser un sumidero a una fuente de carbono, causando que el C almacenado sea liberado como dióxido de carbono; asimismo, el pastoreo intensivo impide el crecimiento de la vegetación, reduce la cantidad de CO<sub>2</sub> fijado y aumenta la descomposición de la materia orgánica (Alvis, 2018, p.60)

#### **4.4.2. Carbono orgánico total**

##### *4.4.2.1. Parámetros físicos y químicos para la determinación del COT*

- Color

El color a profundidades de 0-30 cm tiene un rango de variación que va desde 5 YR 4/1 gris oscuro hasta 10 YR 6/1 gris; siendo el más frecuente el 7,5 YR 3/3 que corresponde al color marrón oscuro y para las profundidades de 30 a 60 cm las variaciones de color van desde 7,5 YR 2,5/3 marrón muy oscuro hasta 10 YR 6/1 gris, siendo las más comunes 10 YR 3/2 marrón grisáceo muy oscuro; según (Hernández, 2010, p.140) estos colores pueden deberse a la acumulación de óxidos de hierro y manganeso; estos óxidos se producen cerca de la rizosfera debido a la presencia del oxígeno que es transportado por las hojas de las plantas a la raíz que forman motas de un color amarillo-café y gris oscuro.

- Textura

La textura representativa del suelo del bofedal del Área de Conservación Comunitaria Cunuyacu, fue franco arcillosa en profundidades de 0-30 y franco arcillo limosa en profundidades de 30-60, el (Cubero, 2017) nos menciona que “la textura no es un criterio específico característico de suelos de humedal; sin embargo, las texturas finas a muy finas son las más representativas de estas condiciones” (Cubero, 2017, p.22).

- pH

Según (Osorio, 2012, p.2) el pH del suelo puede variar entre 4.0 a 8.0, considerando que valores menores a 7 son considerados ácidos y valores mayores a este son alcalinos, en nuestro estudio se encontraron valores en un rango de 6.22 a 6.24 a profundidades de 0 a 30 y de 30 a 60 cm, lo que le da una característica de ser un suelo ligeramente ácido, este pH es generalmente propio de ecosistemas húmedos, las razones por las que el suelo puede ser ácido son por la meteorización de minerales aluminosilicatos y la consecuente liberación del aluminio a la solución del suelo (Osorio, 2012, p.2).

- Conductividad eléctrica

El valor promedio registrado para las muestras de suelo de 0-30 cm fue de 78, 13  $\mu$  S/cm y para la profundidad de 30-60 cm fue 55.70  $\mu$  S/cm. Ambos valores corresponden a suelos no salinos ya que según lo mencionado por (Cárdenas, 2015, p.63), cuando se tiene una conductividad menor a 2000  $\mu$  S/cm, los suelos se engloban dentro de esta categoría. Valores bajos de conductividad se deben a la infiltración del agua en el suelo, generando un lavado de sales de la superficie. La infiltración dependerá de la clase de textura del suelo (Cárdenas, 2015, p.64).

- Densidad aparente

Las densidades aparentes observadas en los humedales a profundidades de 0 a 30 y 30 a 60 fueron de 0.2 g/cm<sup>3</sup> y 0.35 g/cm<sup>3</sup> respectivamente, de acuerdo con (Mitsch y Gosselink, 2016: p.163) esto corresponden a valores de suelos orgánicos de humedales, por lo general estos poseen densidades bajas debido a que estos suelos contienen mayor porosidad y por lo tanto retienen un mayor volumen de agua siendo estos al final extremadamente livianos.

- Humedad

Los valores de la humedad a profundidades de 0-30 y 30-60 cm fueron de 81.35% y 70,71% respectivamente. Esta propiedad puede cambiar dependiendo la época, es decir bajo condiciones secas o lluviosas, generando un efecto sobre el color del suelo y la actividad microbiana a través de la limitación de transferencia gaseosa (Gutiñas, 2009. p.48). Además, los cambios drásticos en el régimen de humedad del suelo se relacionan con una transición aeróbica-anaeróbica, que conduce a una serie de nuevos procesos metabólicos: desnitrificación, reducción de sulfato, formación de

ácido acético y formación de metano, lo cual es importante considerando que el metano es un gas de efecto invernadero (Gutiñas, 2009, pp.53-54).

- Materia orgánica

De acuerdo con ( Medrano et al., 2012: p.115) los bofedales contienen una cantidad importante de materia orgánica ya que son zonas pantanosas donde la descomposición de la materia orgánica es más lenta, como fue el caso del humedal en estudio, donde se obtuvo un porcentaje promedio de 84,19%.

#### 4.4.2.2. *Carbono orgánico en el suelo (COS)*

(Martínez et al., 2008), menciona que el carbono orgánico (COS) y la materia orgánica (MOS) del suelo están estrechamente relacionado, ya que el COS es un componente importante en la formación de la MOS, porque proporciona coloides de intercambio catiónico de gran capacidad (Martínez et al., 2008: p.68). Por otra parte (Alvis, 2018, p.44), menciona el mayor contenido de carbono se haya en los primeros 5, 20, 40 y 50 cm superiores del suelo, y las capas por debajo de esta corresponden a suelos con bajo contenido de carbono o de carácter mineral. Todo lo mencionado sustenta los valores obtenidos que fueron 10,85% y 7,48% en las profundidades de 0-30 cm y 30-60 cm, respectivamente en el orden mencionado

#### 4.4.2.3. *Biomasa aérea, subterránea y necromasa*

- ❖ Biomasa aérea

Se obtuvo un valor promedio de 13.12 g C, debido a que, en los ecosistemas andinos, las especies formadoras de cojines dominantes tienen una importancia única en comparación con cualquier otro sistema de acumulación de turba porque tienen una producción de carbono primario y orgánico más rápida que otras especies presentes en estos ecosistemas (Alvis, 2018, p.48).

- ❖ Necromasa

Acorde con (Alvis, 2018, p.57), la formación de suelo orgánico es el producto de un delicado equilibrio entre la producción vegetativa y la descomposición en los bofedales, lo que promueve la formación de turba (materia orgánica descompuesta), lo que conduce a la deposición vertical o lateral de materia orgánica (en condiciones anóxicas constantes). La turba es un sumidero de

carbono en estos ecosistemas, por lo que aproximadamente se acumula 2m por cada 100 años (Alvis, 2018, p.57). En el caso de nuestro estudio se obtuvo un valor de 95.74 g C en la necromasa, siendo una cantidad mucho mayor en comparación con los otros dos reservorios.

#### ❖ Biomasa subterránea

En el caso de la biomasa subterránea más conocida como raicillas, se obtuvo un promedio de 14.01 g de carbono (C), según ( Medrano et al., 2012: p.116) “la estructura radicular almacena más carbono que la estructura aérea esto se debe a que en la raíz se almacena los carbohidratos, proteínas, etc., que son productos del proceso fotosintético”.

#### ***4.4.3. Correlación del flujo de carbono***

Según (UAB, 2014, p.8) los valores del coeficiente de correlación oscilan entre 0-1; valores menores a 0,4 indican una correlación baja, valores entre 0,41 y 0,6 indican una correlación moderada y valores mayores a 0,6 tienen una correlación alta. Por esta razón, en nuestro estudio, se tomaron en cuenta todos los valores con un nivel de significancia  $>0.4$ . Presentaron correlaciones negativas entre ellas el del pH con carbono orgánico que mostró un valor de 0,6348 teniendo esta una correlación moderada, las raicillas con necromasa presentó un valor de 0,8675 mostrando un nivel de relación alto y el carbono orgánico con raicillas que mostró una correlación moderada de 0,5237. Por otro lado, las variables que se correlacionaron positivamente fueron el pH con biomasa aérea que tuvo un nivel de correlación alto de 0,79, carbono orgánico con respiración que tuvo un nivel de correlación moderado de 0,5214 y la necromasa con carbono orgánico presentando una correlación moderada con un valor de 0,4549.

## CONCLUSIONES

- Se realizó un análisis ANOVA para la determinación de la respiración edáfica, los resultados mostraron valores de p de 0.1985 y 0,6232 del día 1 y 5, respectivamente. Adicionalmente, mediante el método del OxiTop se obtuvo un valor de la respiración promedio de 0.099 mg  $\text{CO}_2/\text{Kg}$  de suelo seco $\times\text{h}^{-1}$ , lo que demuestra que los suelos de los bofedales del Área de Conservación Comunitaria Cunuyacu emiten una baja cantidad de  $\text{CO}_2$ .
- Los depósitos del ecosistema herbazal inundable de páramo del Área de Conservación Comunitaria Cunuyacu presentaron los siguientes valores: necromasa 95,74 g C (77.91%), raicillas 14,01 g C (11.41%) y biomasa aérea 13,12 g C (10.68 %); evidenciando que el mayor contenido de Carbono se encuentra en la necromasa.
- El flujo de carbono durante las etapas de respiración y el almacenamiento de carbono orgánico total (COT), generaron correlaciones tanto positivas como negativas; la correlación positiva fuerte fue el pH y la biomasa aérea con un 79 %; y, la correlación negativa más alta con un valor de 86,75% corresponde a las raicillas junto con la necromasa.
- Por su alta capacidad de almacenamiento de carbono 122.87 g C (Biomasa aérea + Necromasa+ Biomasa subterránea) y bajas emisiones de  $\text{CO}_2$  0.099 mg  $\text{CO}_2/\text{Kg}$  de suelo seco $\times\text{h}^{-1}$ , los suelos de los bofedales del Área de Conservación Comunitaria Cunuyacu pueden considerarse como un importante sumidero de carbono.

## **RECOMENDACIONES**

- Realizar un monitoreo complementario en la época lluviosa.
- Socializar a las comunidades que forman parte del Área de Conservación Comunitaria Cunuyacu sobre el estado actual de los bofedales, su importancia y los beneficios que brindan estos ecosistemas.
- Promover la participación de las poblaciones en la conservación del patrimonio ecológico, asegurando que se mantengan las condiciones fisicoquímicas y biológicas de los bofedales.

## **GLOSARIO**

### ***Actividades Antropogénicas***

Son todas aquellas actividades que relacionan la influencia del hombre sobre la naturaleza. Estas actividades con el paso del tiempo han ido creciendo, como es el caso de la industrialización, quema de combustibles fósiles, alteraciones de la cobertura terrestres, entre otros, que como consecuencia han generado altas tasas de perturbación en el ambiente teniendo como resultado un aumento de la contaminación del agua, aire y suelo, influyendo principalmente en el fenómeno mundial que es el calentamiento global (Moreno et al., 2015, p.55).

### ***Área de conservación***

Es un espacio geográfico delimitado y gestionado mediante medios legales u otros medios, con el fin de conservar a largo plazo la biodiversidad natural, valores culturales y sus bienes y servicios ecosistémicos que brindan un desarrollo sostenible a las comunidades aledañas que dependen de estos para su desarrollo (Columba, 2013, p.16).

### ***Cambio climático***

Se define como un cambio de clima que se le atribuye de manera directa e indirectamente a las actividades antropogénicas, que generan una alteración en la composición de la atmósfera y que se suma a la variabilidad natural del clima observado durante períodos de tiempo comparables (Cordero, 2012, p.229). La actividad que más ha ocasionado el calentamiento global es la quema de combustibles fósiles, especialmente el petróleo y carbón, que emiten dióxido de carbono CO<sub>2</sub> y otros gases generando el denominado efecto invernadero (Cordero, 2012, p.229).

### ***Herbazal inundable montano alto***

Son ecosistemas azonales en los que las condiciones edáficas o microclimáticas locales tienen una mayor influencia en la vegetación que los climas relacionados con el gradiente altitudinal (MINISTERIO DEL AMBIENTE, 2012, pp.56-57). La vegetación azonal de páramo se encuentra cuando hay balance hídrico positivo, es decir, donde las pérdidas por corrientes y evapotranspiración son menores que las ganancias por precipitación o escorrentía (MINISTERIO DEL AMBIENTE, 2012, pp.56-57). La saturación del suelo repercute en la vegetación, generando dos grandes unidades: las ciénagas o turberas y las zonas dominadas por aguas estancadas conocidas como pantanos (MINISTERIO DEL AMBIENTE, 2012, pp.56-57).

En ambos casos, los suelos se caracterizan por condiciones anaeróbicas que impiden la descomposición de la materia orgánica y, en consecuencia, favorecen la formación de suelo con un contenido de carbono orgánico de hasta el 50%. En estos ecosistemas, como en otros tipos de humedales, la producción primaria neta excede a la descomposición y a las pérdidas por carbono orgánico disuelto (MINISTERIO DEL AMBIENTE, 2012, pp.56-57).

### ***Microorganismos***

Los microorganismos son las criaturas más primitivas y numerosas del planeta; colonizan todos los ambientes, incluidos el suelo, el agua y el aire, juegan un papel fundamental en todos los ecosistemas y están constantemente en contacto con plantas, animales y humanos (Montaño et al., 2010: p.15). Los microorganismos son esenciales para el buen funcionamiento de los sistemas biológicos y la preservación de la vida en el planeta, ya que participan en procesos metabólicos, ecológicos y biotecnológicos de los que dependemos para sobrevivir y enfrentar los desafíos futuros (Montaño et al., 2010: p.15).

### ***Páramo***

El páramo se clasifica como un ecosistema húmedo tropical que se extiende desde el límite superior del bosque, está dominado por vegetación herbácea y arbustiva, y presenta paisajes bioclimáticos fríos (por encima de los 3200 m snm) (Pinos et al., 2021, p 159). El páramo no solo es un ecosistema de alta montaña, también es un espacio de producción y trabajo con gran historia, cultura, y política (Pinos et al., 2021, p 159).

## BIBLIOGRAFÍA

**AGOSTINI, M., MONTERUBBIANESI, M., STUDDERT, G. & MAURETTE, S.** "Un método simple y práctico para la determinación de densidad aparente". *Ciencia del Suelo*, vol. 32, n°2 (2014), (Argentina) pp. 171-176. ISSN 03263169.

**ÁLVAREZ, J. & ANZUETO, J.** "Actividad microbiana del suelo bajo diferentes sistemas de producción de maíz en los altos de Chiapas, México". *Agrociencia*, vol. 38, n°1 (2004), (México) pp. 13-22. ISSN: 14053195.

**ALVIS, T., VILLASANTE, J., PAUCA, G., QUISPE, J. & LUQUE, C.** "Cálculo y valoración del almacenamiento de carbono del humedal altoandino de Chalhuanca, Arequipa (Perú)". *Revista de Investigaciones Altoandinas - Journal of High Andean Research*, vol. 32, n°3 (2021), (Perú) pp. 139-148. ISSN 23068582. DOI 10.18271/ria.2021.314.

**ALVIS, Tania.** Almacenamiento de carbono en los humedales altoandinos del centro poblado Chalhuanca, Caylloma – Arequipa (Trabajo de Titulación) Universidad Nacional De San Agustín De Arequipa, Arequipa- Perú. 2018. pp. 35-60.

**ANDRADE, José.** Determinación del estado de conservación de los bofedales de la Reserva de Producción de Fauna Chimborazo (Trabajo de titulación) Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador. 2016. pp. 2-4.

**ASAMBLEA NACIONAL DEL ECUADOR, Código Orgánico Del Ambiente.** Quito- Ecuador, 2017, pp. 45-68.

**AUQUILLA, Mayra.** Evaluación del contenido de carbono en las formaciones vegetales y en el suelo según su uso en tres agroecosistemas (Trabajo de titulación) Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador. 2016. p. 28.

**BAJAÑA, Jimmy.** Efecto de la aplicación de fertilizantes edáficos sobre la producción de arroz (*Oryza sativa* L.), en la zona de Babahoyo (Trabajo de titulación) Universidad Técnica De Babahoyo, Babahoyo, Ecuador. 2020. p. 10.

**BANEGAS, Natalia.** Cuantificación de la captura de carbono de *Chloris Gayana* cv Finecut implantada en un sistema pastoril bovino de la Llanura Deprimida Salina de Tucumán y de la

vegetación nativa que reemplaza (Trabajo de titulación). (Doctoral) Universidad Nacional de Tucumán, Tucumán-Argentina. 2015. pp. 14-22.

**BÁRBARO, L.A., KARLANIAN, M.A. & MATA, D.A.,** *Importancia del pH y la Conductividad Eléctrica en los sustratos para plantas. Instituto de Floricultura CIRN.* Buenos Aires- Argentina, 2005, pp. 1-15.

**BARRALES, E., ETCHEVERS BARRA, J.D., HIDALGO MORENO, C., PAZ PELLAT, F., SAYNES & SANTILLÁN, V.** “Determinación in vitro de la emisión de CO<sub>2</sub> en muestras de mantillo”. *Agrociencia*, vol. 48, no. 7 (2014), (México) pp. 679-690. ISSN 14053195.

**BURBANO, H.** “The soil organic carbon and its role on climate change”. *Revista de Ciencias Agrícolas*, vol. 34, no. 1 (2018), (Colombia) pp. 82-96. ISSN 0120-0135.

**CAJILEMA, E. & PIGUABE.** Estimación de materia orgánica en el suelo y biomasa del páramo de Quimiag (Trabajo de titulación), ESPOCH Riobamba, Ecuador 2018. p. 140.

**CAMPOS, I.** *Saneamiento Ambiental* [en línea]. San José, Costa Rica: EUNED, 2003. [Consulta 17 de noviembre]. Disponible en: <https://books.google.com.co/books?id=lsgrGBGIGeMC&printsec=frontcover&hl=es#v=onepage&q=nutrientes&f=false>.

**CÁRDENAS, M.** Evaluación de la calidad de los suelos de páramo intervenidos y no intervenidos en la comuna monjas bajo, parroquia Juan Montalvo, cantón Cayambe (Trabajo de titulación). Universidad Politécnica Salesiana. Quito, Ecuador. 2015. pp. 63-64.

**CASTRO, C.** Tabla munsell: teoría y práctica. *ResearchGate*, 2018 DOI 10.13140/RG.2.2.10998.65602.

**CASTRO, M.** *Una valoración económica del almacenamiento de agua y carbono en los bofedales de los páramos ecuatorianos.* Quito-Ecuador: EcoCiencia, 2011, pp. 14-44.

**CHAMORRO, A., SALCEDO, D., FLORES, M. & GONNET, J.** *Manual de buenas prácticas en manejo y restauración de bofedales en Junín, Perú.* Cusco-Perú: ECOAN, 2021 pp. 8-10.

**CIANCAGLINI, N.** *Guía para la determinación de textura de suelos por método organoléptico.* San Juan, Argentina: INTA EEA. 2000. pp. 1-10.

**COLUMBA, K.** *Manual para la Gestión Operativa de las Áreas Protegidas de Ecuador*. Quito-Ecuador: Ministerio del Ambiente, 2013 pp. 1-194.

**CONDORI, P.** Universo, población y muestra. *Curso taller*, 2020.

**CONGRESO NACIONAL.** *Ley forestal y de conservación de áreas naturales y vida silvestre*. Quito- Ecuador, 2004 pp. 11-35.

**CONGRESO NACIONAL.** *Ley para la preservación de zonas de reserva y parques nacionales*. Quito-Ecuador, 2009 pp. 1-35.

**CORAL, Eliana.** Almacenamiento de carbono orgánico en suelos del humedal Ramsar Laguna de la Cocha (Trabajo de titulación) (Maestría). Universidad Nacional de Colombia. Medellín-Colombia. 2021. pp. 34-55

**CORDERO, G.** “Climate Change”. *Ciencia y Sociedad*, vol. 37, n°2 (2012), (República Dominicana) pp. 467-475. DOI 10.1016/B978-0-12-373932-2.00344-6.

**CUBERO, D.** *Guía práctica para la caracterización y delimitación de suelos hidromórficos asociados a los ecosistemas de humedal*. San José, Costa Rica: MINAE, SINAC, INTA, Proyecto Humedales, GEF, PNUD, 2017, ISBN 9789977501444, pp.1-36.

**DABADIE, M., PEREZ, C., ARTURI, M., GOYA, J. & SANDOVAL, M.** “Calibración del método de pérdida de peso por ignición para la estimación del carbono orgánico en Inceptisoles del NE de Entre Ríos”. *Revista de la Facultad de Agronomía, La Plata*, vol. 117, n°1 (2018), (Argentina) pp. 157-162.

**DELGADO, Antonio.** Análisis comparativos de la biodiversidad de bofedales de la reserva de producción de fauna Chimborazo en función de la altitud y nivel de intervención antrópica (Trabajo de titulación). ESPOCH. Riobamba- Ecuador. 2018. pp. 1-195.

**DOMÍNGUEZ, E., BAHAMONDE, N. & MUÑOZ, C.** “Efectos de la extracción de turba sobre la composición y estructura de una turbera de Sphagnum explotada y abandonada hace 20 años, Chile”. *Anales del Instituto de la Patagonia*, vol. 40, n°2 (2012), (Chile) pp. 37-45. DOI 10.4067/s0718-686x2012000200003.

**DOMÍNGUEZ SOTO, J.M., ROMÁN GUTIÉRREZ, A.D., PRIETO GARCÍA, F. & ACEVEDO SANDOVAL, O.** “Sistema de Notación Munsell y CIELab como herramienta para evaluación de color en suelos”. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, vol. 3, n°1 (2018), (Chile) pp. 141-155. ISSN 2007-0934. DOI 10.29312/remexca.v3i1.1489.

**FAO.** *Guía para la descripción de suelos*. 4ª ed. Roma: FAO, 2014, pp. 51-93.

**GISBERT, J., IBÁÑEZ, S. & MORENO, H.** “La textura del suelo”. *ResearchGate*, 2014, (España) pp. 2-4.

**GUNTIÑAS, María.** Influencia de la temperatura y de la humedad en la dinámica de la materia orgánica de los suelos de Galicia y su relación con el cambio climático (Trabajo de titulación). (Doctoral). Instituto de Investigaciones Agrobiológicas de Galicia. Santiago de Compostela-España. 2009. pp. 48-79.

**HERNÁNDEZ, M.** “Suelos de humedales como sumideros de carbono y fuentes de metano”. *Terra Latinoamericana*, vol. 28, n°2 (2010), (México) pp. 139-147.

**INTAGRI.** *La conductividad eléctrica del suelo en el desarrollo de los cultivos*. [blog]. INTAGRI, 2017. [Consulta: 10 junio 2022]. Disponible en: <https://www.intagri.com/articulos/suelos/la-conductividad-electrica-del-suelo-en-el-desarrollo-de-los-cultivos>. 2017

**INTAGRI.** *La salud del suelo*. [blog]. INTAGRI, 2018. [Consulta: 8 junio 2022]. Disponible en: <https://www.intagri.com/articulos/suelos/la-salud-del-suelo>.

**JANZEN, H.** “Carbon cycling in earth systems - A soil science perspective”. *Elsiever*, vol. 104, n°3 (2004) pp. 399-417. ISSN 01678809. DOI 10.1016/j.agee.2004.01.040.

**LEON, Angela.** Reserva de carbono en bofedales y su relación con la florística y condición del pastizal (Trabajo de titulación). (Maestría) Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima- Perú. 2016. pp. 1-67.

**LLOYD, J. & TAYLOR, A.** *On the Temperature Dependence of Soil Respiration* [en línea]. 3ª ed. Reino Unido: Funcional Ecology, 1994. [Consulta: 23 noviembre 2022]. Disponible en: <https://www.jstor.org/stable/2389824?origin=crossref>

**LOZANO, P.** Valoración económica del carbono capturado en el suelo de los bofedales de la Reserva de Producción de Fauna Chimborazo [En línea] (Trabajo de Titulación). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador. 2017. p. 11. [Consulta: 2022-10-18]. Disponible en: <http://dspace.espoch.edu.ec/handle/123456789/6826#:~:text=Sin%20embargo%2C%20el%20suelo%20del,Interna%20de%20Retorno%20del%20128%25>.

**MARÍN, J. & HERNANDEZ, M.,** 2021. *Los humedales, sus funciones y su papel en el almacenamiento del carbono*. [blog] INECOL, 2021. [Consulta: 8 diciembre 2022]. Disponible en: <https://www.inecol.mx/inecol/index.php/es/2013-06-05-10-34-10/17-ciencia-hoy/172-los-humedales-sus-funciones-y-su-papel-en-el-almacenamiento-del-carbono>.

**MARTÍNEZ, E., FUENTES, J. & ACEVEDO, E.** "Carbono orgánico y propiedades del suelo". *Revista de la Ciencia del Suelo y Nutrición Vegetal*, vol. 8, n° 1 (2008), (Chile) pp. 68-96. ISSN 0717635X. DOI 10.4067/s0718-27912008000100006.

**MEDRANO, R., CHUPAN, L. & VILA, M.** "Almacenamiento de carbono en especies predominantes de flora en el lago Chinchaycocha". *Apuntes de Ciencia & Sociedad*, vol. 02, n° 02 (2012), (Perú) pp. 110-117. ISSN 22255141. DOI 10.18259/acs.2012013.

**MINAM.** *Guía de evaluación de evaluación del estado del ecosistema de bofedal* [en línea]. Perú: Ministerio del Ambiente, 2019. [Consulta: 2022-10-20]. Disponible en: <https://sinia.minam.gob.pe/documentos/guia-evaluacion-estado-ecosistema-bofedal>.

**MINISTERIO DEL AMBIENTE DEL ECUADOR.** *Sistema de clasificación de los Ecosistemas del Ecuador Continental*. S.l.: s.n. Quito-Ecuador: MAE, 2012, p.1-32

**MINISTERIO DEL AMBIENTE DEL ECUADOR.** *Evaluación Nacional Forestal- Manual de campo*. S.l.: s.n. Quito-Ecuador: MAE, 2012, pp. 1-88.

**MITSCH, W.J. y GOSSELINK, J.G.** *Wetlands*. Estados Unidos: Emerald Group Publishing Limited , 2016, p.163.

**MONTAÑO, N., SANDOVAL, A., CAMARGO, S. & SÁNCHEZ, J.** " Los microorganismos: pequeños gigantes". *Elementos: Ciencia y cultura* [en línea], vol. 17, n° 77 (2010), México. [Consulta: 20 Octubre 2022] Disponible en: <http://redalyc.uaemex.mx/src/inicio/ArtPdfRed.jsp?iCve=29411989003>.

**MORA, V.** Fijación, emisión y balance de gases de efecto invernadero en pasturas en monocultivo y en sistemas silvopastoriles de fincas lecheras intensivas de las zonas altas de Costa Rica [en línea] (Trabajo de titulación). (Maestría) CATIE, Costa Rica. 2001. p. 92. [Consulta: 2022-10-15]. Disponible en: <https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/2149>

**MORALES, S.** Relación de la respiración edáfica con las propiedades físico-químicas de los suelos de la microcuenca del río Guano, provincia de Chimborazo [en línea] (Trabajo de titulación) (ESPOCH). Riobamba-Ecuador. 2020. p.14 [Consulta: 2022-10-16] Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/14255/1/156T0012.pdf>.

**MORENO, A., MÁRQUEZ, C. & REYES, J.L.** *Actividades Antropogénicas, cambio climático, degradación del suelo, desertificación y enfoque de la agricultura sustentable*. 3ª ed. S. Durango, México: UJED, 2015, p.118.

**MURCIA, M. & OCHOA, M.** "Respiración del suelo en una comunidad sucesional de pastizal del bosque altoandino en la cuenca del río Pamplonita, Colombia". *Ecología* [en línea], 2008, (Colombia) vol. 30, n°. 2, pp. 337-353. [Consulta: 2022-10-26]. Disponible en: [www.unal.edu.co/icn/publicaciones/caldasias.htm](http://www.unal.edu.co/icn/publicaciones/caldasias.htm).

**OCHOA, R.** Comparación de dos métodos para determinar el carbono de la biomasa microbiana en suelos provenientes del Sur del Ecuador (Trabajo de titulación). Universidad Técnica Particular de Loja, Ecuador. 2015. p.53.

**OSORIO, J.** Almacenamiento y tasas de fijación de biomasa y carbono en diferentes niveles altitudinales en sistemas agroforestales de cacao, distrito de José Crespo y Castillo. (Trabajo de titulación). Universidad Nacional Agraria de la Selva, Facultad De Zootecnia, Perú. 2015. p. 96.

**OSORIO, N.W. 2012.** "pH del suelo y disponibilidad de nutrientes". *Manejo Integral del Suelo y Nutrición Vegetal*, vol. 1, n°4 (2012), (Colombia) pp.1-4.

**PALMA, D.** Evaluación de la actividad biológica (respiración y biomasa microbiana) como indicadores de la salud de suelos ubicados en San Joaquín, Estado Carabobo (Trabajo De titulación). Universidad de Carabobo, Facultad Experimental de Ciencia y Tecnología, Venezuela. 2011. p.81.

**PAÑA, B.** Determinación de la respiración edáfica en el páramo de Igualata, provincia de Chimborazo, Ecuador [en línea] (Trabajo de titulación). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador. 2022. pp.1-48. [Consulta: 2022-11-01]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/17614/1/236T0613.pdf>.

**PÉREZ, M., CALDERÓN, R., RIVAS, F. & NÚÑEZ, F.** "Quantification of the CO<sub>2</sub> flow in the soil colonized by *avicennia germinans*, located in the Los Totumos, Miranda state, Venezuela". *La Granja: Revista de ciencias de la vida*, vol. 35, n°1 (2022), (Venezuela) pp. 85-97.

**PIÑEIRO, G.** Biogeoquímica del carbono y nitrógeno en los pastizales pastoreados del Río de la Plata: Un análisis basado en modelos de simulación, sensores remotos y experimentos a campo (Trabajo de titulación). (Doctoral) Universidad de Buenos Aires, Argentina. 2006. pp.1-129.

**PINOS, D., MORALES, O. & DURÁN, M.** "Suelos de páramo: Análisis de percepciones de los servicios ecosistémicos y valoración económica del contenido de carbono en la sierra sureste del Ecuador". *Revista de Ciencias Ambientales*, vol. 55, n° 2 (2021), (Ecuador) pp. 157-179. ISSN 1409-2158. DOI 10.15359/rca.55-2.8.

**PINZÓN, A.** Cuantificación del contenido de carbono orgánico edáfico en ecosistemas nativos e intervenidos, en la parroquia Quimiag, cantón Riobamba provincia de Chimborazo [en línea] (Trabajo de titulación). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador. 2022. pp.1-49. [Consulta: 2022-11-02]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/16126/1/33T00364.pdf>

**PLATEN, H. & WIRTZ, A.** "Application report Respiration activity of soils (basic principles, process characteristics)". *Giessen Friedberg*, (2010), (UK) pp. 1-16.

**ROMERO, E., SALCEDO, L. & MILLAN, C.** "Efectos de cuatro tipos de vegetación sobre la respiración del suelo en la Universidad de Sucre". *ACOFI*, (2019), (Colombia) pp. 1-11

**SÁNCHEZ, M.** "La medida de la respiración de suelo como herramienta docente en edafología". *Revista Iberoamericana para la Investigación y el Desarrollo Educativo*, vol. 2, n°3 (2015), (España) pp. 26. DOI 10.23913/ride.v2i3.31.

**SECAIRA, S.** Modelo de compensación para la conservación de los bofedales en la Reserva de Producción de Fauna Chimborazo, basado en el carbono orgánico almacenado en suelo y

vegetación [en línea] (Trabajo de titulación). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador. 2018. pp.1-60. [Consulta: 2022-11-01]. Disponible en: <http://dspace.espoch.edu.ec/bitstream/123456789/9361/1/23T0687.pdf>

**SEQUEIROS, D. y CAZORLA, J.** "Servicio ambiental de captura de carbono de los bofedales del Centro Poblado Alto Perú, Tacna". *Ingeniería Investiga*, vol. 2, n°2 (2020), pp. 357-375. DOI 10.47796/ing.v2i2.411.

**SERVIQUIMIA.** *Sistema de medición de DBO OxiTop® -i IS 6/12* [blog]. Alemania, 2020. [Consulta: 2022-10-26]. Disponible en: [https://serviquimia.com/sites/default/files/lt\\_4\\_2020\\_wtw\\_serviquimia\\_es.pdf](https://serviquimia.com/sites/default/files/lt_4_2020_wtw_serviquimia_es.pdf)

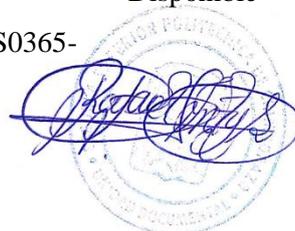
**SUÁREZ, D., ACURIO, C., CHIMBOLEMA, S. & AGUIRRE, X.** "Analysis of carbon sequestration in two andean wetland protected areas Ecuador". *Ecología Aplicada* [en línea], vol. 15, n° 2, 2016, (Ecuador) p. 171. [Consulta: 20 noviembre 2022]. Disponible en: <http://revistas.lamolina.edu.pe/index.php/eau/article/view/756>.

**THOMPSON, L. & TROEH, F.** *Soils and Fertility* [en línea]. New York: McGraw-Hil, 2002. [Consulta: 01 noviembre 2022]. Disponible en: <https://books.google.com.pe/books?id=AegjDhEIVAQC&printsec=frontcover#v=snippet&q=liberación de nutrientes &f=false>

**TORRI, S.I., CABRERA, M.N. & ALBERTI, C.** "Respiración potencial durante la bioestimulación de un suelo contaminado con hidrocarburos aromáticos policíclicos". *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, vol. 34, n°1 (2018), (Argentina) pp. 127-136. ISSN 01884999. DOI 10.20937/RICA.2018.34.01.11.

**UAB.** "Coeficiente de correlación intraclase". *Universidad Autónoma de Barcelona* (2014), (España) pp. 1-8.

**ZAGAL, E., RODRÍGUEZ, N., VIDAL, I. & QUEZADA, L.** "Actividad microbiana en un suelo de origen volcánico bajo distinto manejo agronómico". *Agricultura Técnica* [en línea], vol. 62, n°2 (2002), (Chile), pp. 297-309. [Consulta: 02 noviembre 2022]. DOI <http://dx.doi.org/10.4067/S0365-28072002000200012>. Disponible en: [http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0365-28072002000200012&lng=en&nrm=iso&tlng=en](http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0365-28072002000200012&lng=en&nrm=iso&tlng=en).



## ANEXOS

### ANEXO A: RECOLECCIÓN DE MUESTRAS



Recolección de muestras para determinación de materia orgánica a profundidad de 0-30 y 30-60 cm



Homogenización de muestras para determinación de materia orgánica a profundidad de 0-30 y 30-60 cm,



Empleo de cilindros de diámetro conocido para analizar la densidad del suelo.



Muestras etiquetadas y almacenada en bolsas Ziploc.



Extracción de monolitos con la ayuda de una hoyadora.



Embalaje con papel film para la conservación de los monolitos.



Recolección de muestras para análisis de respiración edáfica



Culminación de muestreos.

**ANEXO B: DETERMINACIÓN DE RESPIRACIÓN EDÁFICA**



Preparación de la solución de NaOH 1 N.



Pesajes de los 300 g de la muestra compuesta.



Colocación de la muestra compuesta en los recipientes.



Medición de los 30 mL de NaOH 1 N.

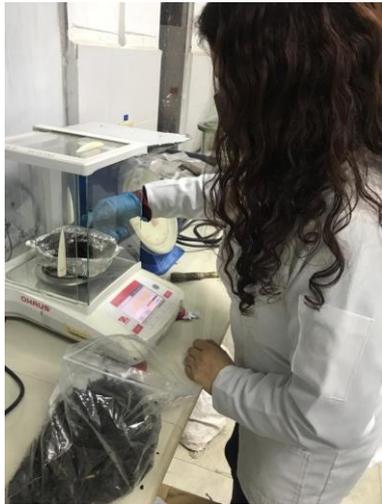


Sellado de los recipientes.

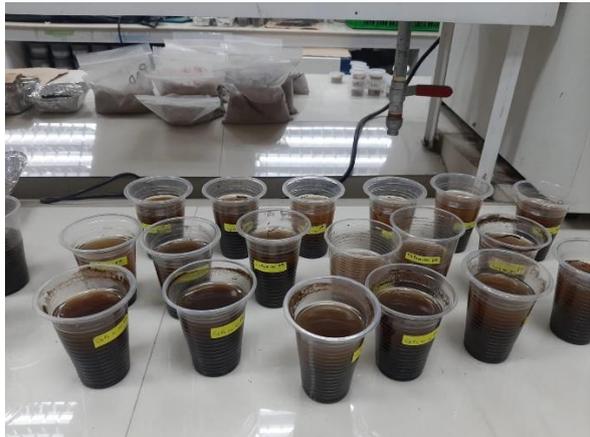


Oxitops programados para medir la respiración durante 5 días.

**ANEXO C: DETERMINACIÓN DE PH Y CONDUCTIVIDAD EN EL LABORATORIO**



Pesaje de 20 g de muestra.



Muestras con 80 ml de agua destilada



Agitación de las muestras.



Medición de los parámetros de conductividad y pH.

**ANEXO D: DETERMINACIÓN DE COLOR**



Colocación de las muestras sobre papel periódico.



Trituración de las muestras.



Tamizado de muestras.



Determinación del color de la muestra.

**ANEXO E: MATERIA ORGÁNICA**



Colocación de la muestra sobre papel periódico.



Triturado de las muestras.



Tamizado de muestras.



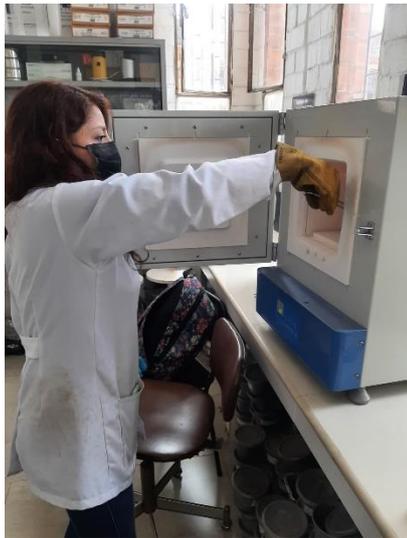
Colocación de los crisoles en la mufla.



Colocación de los crisoles en la estufa.



Medición de los 5 g de muestra.



Colocación de las muestras en la mufla.



Pesaje de muestras.

**ANEXO F: DETERMINACIÓN DE MONOLITOS**



Medición de monolitos.



Corte de monolitos.



Pesado de tarrinas.



Pesaje de los monolitos.



Lavado de raicillas.



Secado de las muestras.

**ANEXO G: DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD**



Pesaje de tarrinas.



Pesaje de muestras.



Medición de los cilindros.



Colocación de las muestras en la estufa.



Pesaje de muestras.



Pesaje de la muestra seca.



esPOCH

Dirección de Bibliotecas y  
Recursos del Aprendizaje

UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS Y ANÁLISIS BIBLIOGRÁFICO Y  
DOCUMENTAL

REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA

Fecha de entrega: 09 / 03 / 2023

<b>INFORMACIÓN DEL AUTOR/A (S)</b>
<b>Nombres – Apellidos:</b> Wendy Anabel Curisaca Malán Jessica Anabel Narváez Castillo
<b>INFORMACIÓN INSTITUCIONAL</b>
<b>Facultad:</b> Ciencias
<b>Carrera:</b> Ingeniería en Biotecnología Ambiental
<b>Título a optar:</b> Ingeniera en Biotecnología Ambiental
<b>f. Analista de Biblioteca responsable:</b> Ing, Rafael Inty Salto Hidalgo

