

**UNIVERSIDAD PRIVADA SAN CARLOS**  
**FACULTAD DE INGENIERÍAS**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**



**TESIS**

**FLUJO DE DIÓXIDO DE CARBONO DEL SUELO EN EL BOFEDAL DEL  
SECTOR PAMPA UTA, EN EL DISTRITO DE CAPASO - EL COLLAO, 2022**

**PRESENTADA POR:**

**JUSTINA CHECALLA RAMOS**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO AMBIENTAL**

**PUNO - PERÚ**

**2023**



Repositorio Institucional ALCIRA by [Universidad Privada San Carlos](#) is licensed under a [Creative Commons Reconocimiento-NoComercial 4.0 Internacional License](#)



**18.53%** SIMILARITY  
APPROXIMATELY

## Report #16779165

JUSTINA CHECALLA RAMOS FLUJO DE DIXIDO DE CARBONO DEL SUELO EN EL BOFEDAL DEL SECTOR PAMPA UTA, EN EL DISTRITO DE CAPASO - EL COLLAO, 2022 RESUMEN Los bofedales altoandinos se encuentran entre los ecosistemas con alta productividad y se encuentran ampliamente distribuidos en los andes peruanos. Estos ecosistemas proporcionan servicios ecosistmicos a la sociedad humana al actuar como sumideros de carbono. Sin embargo, se necesita investigar an ms para comprender el comportamiento como fuente o sumidero de dixido de carbono (CO2). Este estudio tuvo como objetivo determinar el flujo de CO2 del suelo en el bofedal del sector Pampa Uta, en el distrito de Capaso - El Collao, 2022. Para investigar el efecto de la poca climtica (seco y lluvioso) en las emisiones de gases de efecto invernadero, se midi el flujo de CO2 en cuatro puntos, en bofedal altoandino, Per. El flujo de CO2 se midi con la ayuda de un analizador de gases infrarrojo porttil de dinmica cerrada, EGM-4, conectado a una cmara de respiracin

**UNIVERSIDAD PRIVADA SAN CARLOS**

FACULTAD DE INGENIERÍAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

TESIS

FLUJO DE DIÓXIDO DE CARBONO DEL SUELO EN EL BOFEDAL DEL  
SECTOR PAMPA UTA, EN EL DISTRITO DE CAPASO - EL COLLAO, 2022

PRESENTADA POR:

JUSTINA CHECALLA RAMOS

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO AMBIENTAL

APROBADA POR EL SIGUIENTE JURADO:

PRESIDENTE

:

  
Dr. ANGEL AMADOR MELENDEZ HUISA

PRIMER MIEMBRO

:

  
Mg. JULIO WILFREDO CANO OJEDA

SEGUNDO MIEMBRO

:

  
Mg. YESICA MAGNOLIA MAMANI ARPASI

ASESOR DE TESIS

:

  
Dr. ESTEBAN ISIDRO LEON APAZA

Área : Ciencias Naturales

Disciplina : Meteorología y Ciencias Atmosféricas

Especialidad : Investigaciones en Clima

Puno, 24 de marzo de 2023

## DEDICATORIA

Primeramente, dedico este trabajo de investigación a nuestro redentor Dios Jesucristo por iluminarme en mi camino para cumplir mis propósitos.

También le dedico a mi esposo Eugenio, por apoyarme durante mis estudios, fue uno de los más motivadores hasta culminar mi formación profesional en los claustros de la UPSC.

De igual manera le dedico a mis hijos Taylor y Aron, fueron los pilares para esforzarme hasta culminar esta importante carrera, para contribuir con el medio ambiente y la sociedad.

Finalmente, dedico este trabajo de investigación a mi hermano Edwin Martin Q.P.D.G.

## AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Privada San Carlos, en especial a sus dignos directivos, su plana de docentes y personal administrativo que contribuyeron en mi formación profesional de buenos principios y actitudes.

A mis docentes de la Facultad de Ingenierías y a la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, por haberme inculcado sus conocimientos con ese horizonte del cuidado del medio ambiente, fueron tantas preocupaciones por salvar el planeta tierra y la humanidad.

A mis compañeras y compañeros por ser parte de mi formación profesional, por qué no decir que hemos pasado tantas experiencias, recuerdos practicando el compañerismo, unión, solidaridad, honestidad, puntualidad y esmero.

**ÍNDICE GENERAL**

	<b>Pág.</b>
DEDICATORIA	1
AGRADECIMIENTOS	2
ÍNDICE GENERAL	3
ÍNDICE DE TABLAS	7
ÍNDICE DE FIGURAS	8
ÍNDICE DE ANEXOS	9
RESUMEN	10
ABSTRACT	11
<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>12</b>

**CAPÍTULO I****PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA, ANTECEDENTES Y OBJETIVOS  
DE LA INVESTIGACIÓN**

<b>1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b>	<b>13</b>
1.1.1 Problema general	15
1.1.2 Problemas específicos	15
<b>1.2 ANTECEDENTES</b>	<b>16</b>
1.2.1 A NIVEL INTERNACIONAL	16
1.2.2 A NIVEL NACIONAL	17
1.2.3 A NIVEL LOCAL O REGIONAL	18
<b>1.3 OBJETIVOS DEL ESTUDIO</b>	<b>19</b>
1.3.1 OBJETIVO GENERAL	19
1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	20

## CAPÍTULO II

## MARCO TEÓRICO, CONCEPTUAL E HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

<b>2.1 MARCO TEÓRICO REFERENCIAL</b>	<b>21</b>
2.1.1 Flujo de CO <sub>2</sub> del suelo	21
2.1.2 Dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> ) y su rol en el cambio climático	21
2.1.3 Ecosistema de bofedales	22
2.1.4 Importancia de los humedales altoandinos y de sus servicios ecosistémicos	22
2.1.5 Impacto del cambio climático a los bofedales	22
2.1.6 Amenazas a los bofedales	22
2.1.7 Analizador de gases infrarrojo: EGM-4 (pp-systems, hitchin, uk, pps)	23
2.1.8 Factores influyentes en la dinámica del CO <sub>2</sub> del suelo	23
<b>2.2 MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL</b>	<b>24</b>
2.2.1 Ciclo del carbono	24
2.2.2 Carbono orgánico del suelo (COS)	24
2.2.3 Sumidero de carbono	24
2.2.4 Bofedal	25
<b>2.3. MARCO TEÓRICO NORMATIVO</b>	<b>25</b>
2.3.1 Constitución Política del Perú	25
2.3.2 Ley N° 28611: Ley General del Ambiente	25
2.3.3 DECRETO SUPREMO N° 004-2015-MINAM: Estrategia Nacional de Humedales	26
2.3.4 Decreto Supremo N.° 006-2021-MINAM: Disposiciones generales para la gestión multisectorial y descentralizada de los humedales	26

<b>2.4 HIPÓTESIS</b>	<b>26</b>
2.4.1 HIPÓTESIS GENERAL	26
2.4.2 HIPÓTESIS ESPECÍFICAS	26

### **CAPÍTULO III**

#### **METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN**

<b>3.1 ZONA DE ESTUDIO</b>	<b>28</b>
<b>3.2 TAMAÑO DE MUESTRA</b>	<b>29</b>
3.2.1 Población	29
3.2.2 Muestra	29
<b>3.3 MÉTODOS Y TÉCNICAS</b>	<b>30</b>
3.3.1 Medición de flujo de CO <sub>2</sub>	30
3.3.2 Cálculo de flujo de CO <sub>2</sub>	31
3.3.3 Protocolo para muestreo de suelo de bofedales	32
3.3.4 Carbono orgánico del suelo (COS) y materia orgánica (MO)	34
3.3.5 Materiales y equipos utilizados	35
<b>3.4 IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES</b>	<b>35</b>
<b>3.5 MÉTODO O DISEÑO ESTADÍSTICO</b>	<b>36</b>

### **CAPÍTULO IV**

#### **EXPOSICIÓN Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS**

4.1 Determinar la influencia de la estación climática en el flujo de CO <sub>2</sub> por la respiración total del suelo en época lluviosa y seca.	38
4.1.1 Temperatura del suelo y humedad relativa del aire	38

4.1.2 Flujos de CO <sub>2</sub> del suelo de bofedales altoandinos	39
4.2 Evaluar la diferencia del flujo de CO <sub>2</sub> del suelo en diferentes puntos de muestreo en suelos del bofedal del sector Pampa Uta.	43
4.3 Relacionar el flujo de CO <sub>2</sub> con la temperatura, humedad de los suelos, pH, materia orgánica y altura de agua en el bofedal del sector Pampa Uta.	46
4.4 Determinar la relación entre el flujo de CO <sub>2</sub> del suelo con las variables atmosféricas (temperatura del aire, humedad relativa, presión atmosférica y velocidad del viento) en el bofedal del sector Pampa Uta.	48
<b>CONCLUSIONES</b>	<b>50</b>
<b>RECOMENDACIONES</b>	<b>51</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>52</b>
<b>ANEXOS</b>	<b>57</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
<b>Tabla 01:</b> Operacionalización de variables de investigación	36
<b>Tabla 02:</b> Estadísticos descriptivos de las emisiones de dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> ), temperatura del suelo (Ts) y Humedad relativa del aire en los sitios estudiados. Letras diferentes indican diferencias significativas por la prueba de Tukey (p<0.05).	39
<b>Tabla 03:</b> Temperatura del aire (Tar), Velocidad del viento (Vv), presión atmosférica e iluminación en los sitios estudiados. Letras diferentes indican diferencias significativas por la prueba de Tukey (p<0.05). Los números representan (media ± desviación estándar).	43
<b>Tabla 04:</b> Potencial de hidrógeno (pH), humedad del suelo (Hs), carbono orgánico del suelo (COS), materia orgánica del suelo (MOS), biomasa de raíces (BR) y altura del agua (Altura H <sub>2</sub> O) en los sitios estudiados. Letras diferentes indican diferencias significativas por la prueba de Tukey (p<0.05).	45
<b>Tabla 05:</b> Coeficientes de correlación de Pearson entre las variables CO <sub>2</sub> del suelo, temperatura del suelo (Ts), humedad del suelo (Hs), potencial de hidrógeno (pH), materia orgánica del suelo (MOS) y altura del agua (Altura H <sub>2</sub> O).	47
<b>Tabla 06:</b> Coeficientes de correlación de Pearson entre las variables CO <sub>2</sub> del suelo, Temperatura del aire (Tar), humedad relativa (HR), velocidad del viento (Vv), presión atmosférica e iluminación.	48

## ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
<b>Figura 01:</b> Localización del área de estudio. a) mapa de Perú; b) distrito de Capaso e c) bofedal del sector Pampa Uta	29
<b>Figura 02:</b> Distribución de las cámaras de flujo. a) puntos de estudio, punto 1 (P1), punto 2 (P2), punto 3 (P3) y punto 4 (P4); b) P1 con seis cámaras de gases.	30
<b>Figura 03:</b> Flujo diario de CO <sub>2</sub> durante la época seca en los diferentes puntos de muestreo (P1, P2, P3 y P4).	40
<b>Figura 04:</b> Flujo diario de CO <sub>2</sub> durante la época lluviosa en los diferentes puntos de muestreo (P1, P2, P3 y P4).	40
<b>Figura 05:</b> Flujo de CO <sub>2</sub> ( $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) del suelo en bofedal altoandino. Las barras representan (media $\pm$ desviación estándar). Letras diferentes indican diferencias significativas por la prueba de Tukey ( $p < 0.05$ ).	41
<b>Figura 06:</b> Flujo de CO <sub>2</sub> ( $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) del suelo en bofedal altoandino en los diferentes puntos de muestreo (P1, P2, P3 y P4). Las barras representan (media $\pm$ desviación estándar). Letras mayúsculas diferentes indican diferencias significativas por la prueba de Tukey ( $p < 0.05$ ) para la época seca y letras minúsculas diferentes indican diferencias significativas por la prueba de Tukey ( $p < 0.05$ ) para la época seca.	44
<b>Figura 07:</b> Equipos utilizados para la medición de flujo de CO <sub>2</sub> y variables ambientales	78
<b>Figura 08:</b> Cámara de flujo de gases utilizados para medir la concentración de CO <sub>2</sub>	78

## ÍNDICE DE ANEXOS

	Pág.
<b>Anexo 01:</b> Matriz de consistencia	61
<b>Anexo 02:</b> Extensión de humedales (bofedales) en el Perú	63
<b>Anexo 03:</b> Analizador de Gases Infrarrojos EGM-4 (PP-System -Hitchin, UK)	64
<b>Anexo 04:</b> Ciclo del carbono	64
<b>Anexo 05:</b> Análisis estadísticos	65
<b>Anexo 06:</b> Cálculo de flujo de CO <sub>2</sub>	67
<b>Anexo 07:</b> Concentración de CO <sub>2</sub> (un día de medición en cuatro puntos)	67
<b>Anexo 08:</b> Concentración de CO <sub>2</sub> (un puntos de medición, con 6 cámaras)	68
<b>Anexo 09:</b> Base de datos medido por EGM-4 (un dia en cuatro puntos)	68
<b>Anexo 10:</b> Panel fotográfico	78
<b>Anexo 11:</b> Resultados de análisis de suelo y raíces en laboratorio en época seca	84
<b>Anexo 12:</b> Resultados de análisis de suelo y raíces en laboratorio en época lluviosa	85
<b>Anexo 13:</b> Estructura del plan de muestreo	86
<b>Anexo 14:</b> Etiquetado e identificación de la muestra	86
<b>Anexo 15:</b> Sistema de calibración de equipo EGM-4	87
<b>Anexo 16:</b> Puntos de muestreo para medición de CO <sub>2</sub>	89

## RESUMEN

Los bofedales altoandinos se encuentran entre los ecosistemas con alta productividad y se encuentran ampliamente distribuidos en los andes peruanos. Estos ecosistemas proporcionan servicios ecosistémicos a la sociedad humana al actuar como sumideros de carbono. Sin embargo, se necesita investigar aún más para comprender el comportamiento como fuente o sumidero de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). Este estudio tuvo como objetivo determinar el flujo de CO<sub>2</sub> del suelo en el bofedal del sector Pampa Uta, en el distrito de Capaso - El Collao, 2022. Para investigar el efecto de la época climática (seco y lluvioso) en las emisiones de gases de efecto invernadero, se midió el flujo de CO<sub>2</sub> en cuatro puntos, en bofedal altoandino, Perú. El flujo de CO<sub>2</sub> se midió con la ayuda de un analizador de gases infrarrojo portátil de dinámica cerrada, EGM-4, conectado a una cámara de respiración del suelo, SRC-1, y un sensor de temperatura del suelo. El flujo de CO<sub>2</sub> osciló entre 0.12 y 9.80  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$  con promedio de  $3.97 \pm 1.57 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$  en la época seca. En la época lluviosa, fue entre 1.24 y 21.47  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$  con promedio de  $7.87 \pm 3.06 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$ . En todos los puntos y épocas, el flujo de CO<sub>2</sub> mostró una correlación positiva con la temperatura del suelo ( $r = 0.62$ ;  $p < 0,05$ ), humedad del suelo (Hs) ( $r = 0.55$ ;  $p < 0,05$ ) y altura de agua ( $r = 0.62$ ;  $p < 0,05$ ), humedad relativa del aire (HR) ( $r = 0.42$ ;  $p < 0,05$ ) y iluminación ( $r = 0.53$ ;  $p < 0,05$ ). La materia orgánica del suelo (MOS), velocidad del viento (Vv) y presión atmosférica no mostró una correlación ( $p > 0.05$ ) con los flujos de CO<sub>2</sub> medidos. Los resultados muestran que un posible aumento de la temperatura y una disminución de la humedad del suelo incrementarán la liberación de CO<sub>2</sub> en el suelo de los bofedales altoandinos.

**Palabras clave:** Bofedal altoandino, flujo de CO<sub>2</sub>, humedad del suelo, suelo, temperatura del suelo

**ABSTRACT**

The high Andean wetlands are among the ecosystems with high productivity and are widely distributed in the Peruvian Andes. These ecosystems provide ecosystem services to human society by acting as carbon sinks. However, further research is needed to understand behavior as a source or sink of carbon dioxide (CO<sub>2</sub>). The objective of this study was to determine the flow of CO<sub>2</sub> from the soil in the bofedal of the Pampa Uta sector, in the district of Capaso - El Collao, 2022. To investigate the effect of the climatic season (dry and rainy) on greenhouse gas emissions greenhouse effect, the flow of CO<sub>2</sub> was measured at four points in the high Andean bofedal, Peru. The CO<sub>2</sub> flux was measured with the aid of a closed dynamic portable infrared gas analyzer, EGM-4, connected to a soil respiration chamber, SRC-1, and a soil temperature sensor. The CO<sub>2</sub> flux ranged between 0.12 and 9.80  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  with an average of  $3.97 \pm 1.57 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  in the dry season. In the rainy season, it was between 1.24 and 21.47  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  with an average of  $7.87 \pm 3.06 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ . At all points and times, the CO<sub>2</sub> flux showed a positive correlation with soil temperature ( $r = 0.62$ ;  $p < 0.05$ ), soil moisture (Hs) ( $r = 0.55$ ;  $p < 0.05$ ) and height of water ( $r = 0.62$ ;  $p < 0.05$ ), relative humidity of the air (RH) ( $r = 0.42$ ;  $p < 0.05$ ) and lighting ( $r = 0.53$ ;  $p < 0.05$ ). Soil organic matter (SOM), wind speed (Vv) and atmospheric pressure did not show a correlation ( $p > 0.05$ ) with the measured CO<sub>2</sub> fluxes. The results show that a possible increase in temperature and a decrease in soil moisture will increase the release of CO<sub>2</sub> in the soil of the high Andean bogs.

**Keywords:** high Andean wetland, CO<sub>2</sub> flux, soil moisture, soil, soil temperature

## INTRODUCCIÓN

Los flujos de CO<sub>2</sub> en el suelo contribuyen a las emisiones de gases de efecto invernadero y dependen de la topografía, la calidad del suelo, las características de la vegetación y el uso de la tierra (Lopera, 2019). Así mismo, las variaciones espaciales de las emisiones de CO<sub>2</sub> están estrechamente relacionadas con las variables climáticas entre los períodos seco y lluvioso (Silva et al., 2019), por ello son necesarios estudiar estos parámetros para su mejor comprensión de los flujos de CO<sub>2</sub> suelo - atmósfera. Los ecosistemas terrestres son importantes para comprender el intercambio de CO<sub>2</sub> entre la superficie y la atmósfera (Fonseca et al., 2018). Dentro de ellos, los humedales (bofedales) son esenciales para regular el balance global de carbono a través del secuestro de carbono en el suelo y el flujo de CO<sub>2</sub> (Iram et al., 2021). Actualmente, se conoce que los bofedales son sumidero de GEI (captura y almacenamiento de carbono), pero con los cambios en la temperatura, precipitación por los eventos climáticos extremos y otros factores, además de alteración de la regulación del flujo hídrico, estos bofedales pueden pasar de sumidero a fuente de GEI. Bajo ese contexto es importante realizar investigación en los diferentes bofedales para cuantificar el flujo de CO<sub>2</sub>. A medida que se van degradando, estos ecosistemas van perdiendo todos los servicios que nos prestan como la capacidad de almacenamiento y retención de agua, captura de carbono y la capacidad para alimentar el ganado de la comunidad (Forest Trends, 2020). El cambio climático y la actividad humana están acelerando la pérdida de este ecosistema (Baldoceda et al., 2021). Así mismo, a nivel nacional, los bofedales se encuentran amenazados por el cambio climático afectando el abastecimiento de agua, el sobrepastoreo, el drenaje, la construcción de infraestructuras como carreteras, represas y otras (Baldoceda et al., 2021). La investigación adquiere importancia al considerar que hasta el momento no se ha realizado ninguna investigación sobre flujos de CO<sub>2</sub> en la región de Puno. Además, la zona a estudiar representa ecosistemas comunes en la zona debido a su uso como forraje durante la estación seca. Por lo tanto, este estudio contribuye a la información sobre estos ecosistemas en nuestra región y país referente a los flujos de CO<sub>2</sub>.

## CAPÍTULO I

### PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA, ANTECEDENTES Y OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

#### 1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El cambio climático global es resultado de la variación en el balance energético del sistema terrestre, responsable del aumento de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) en la atmósfera. Cuando estos gases aumentan en concentración en la atmósfera, alteran el equilibrio natural, aumentando el calentamiento del planeta tierra (IPCC, 2014). El dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) es uno de los GEI con mayor potencial para aumentar su concentración en la atmósfera (IPCC, 2014). La importancia del  $\text{CO}_2$  se debe a que es más abundante en la atmósfera (IPCC, 2007). El  $\text{CO}_2$  contribuye aproximadamente en un 66 % al forzamiento radiativo (OMM, 2019).

Algunos estudios predicen que en los humedales los flujos de  $\text{CO}_2$  se ven afectadas por los cambios hidrológicos (IPCC, 2007), muchas veces son poco evaluados cuantitativamente. Esto ocurre porque los datos para los cálculos de flujo de gas son dispersos, espacial y temporalmente variable (Striegl et al., 2012). Actualmente va aumentando el interés en comprender los potenciales de los ecosistemas terrestres en reducir los niveles de  $\text{CO}_2$  frente a la preocupación del cambio climático (Acosta et al., 2018).

Los suelos prestan servicios que son poco valorados y reconocidos como la captura y almacenamiento de carbono, siendo un punto de interés científico por la enorme cantidad que los suelos almacenan (Ayala et al., 2018). Con los eventos climáticos extremos

actuales pueden afectar la estructura, la composición y el funcionamiento de los ecosistemas terrestres, causando cambios de sumidero para fuente de carbono (Frank et al., 2015).

Los flujos de gases de efecto invernadero (GEI) de los suelos son influenciados por la temperatura, contenido de agua y el uso del suelo, así mismo, las perturbaciones en el ecosistema alteran el intercambio de CO<sub>2</sub> entre el suelo y la atmósfera, siendo las magnitudes aún inciertas (Díaz, 2018). Los flujos de CO<sub>2</sub> del suelo es mayor en periodo lluvioso (Ayala et al., 2018).

Los humedales altoandinos son ecosistemas con características físicas, químicas y biológicas únicas que se consideran ecosistemas altamente sensibles debido a su exposición a presiones naturales, como el cambio climático, las sequías, la contaminación natural y el impacto humano (Ramsar, 2005).

El altiplano peruano es considerado una de las zonas más sensibles y perturbadas por la variabilidad climáticas con implicancias diferentes actividades de sectores económicos (Quispe, 2015; Sanabria et al., 2009). En el futuro, la vulnerabilidad y las condiciones de vida en general se verán afectadas por el posible cambio climático, en especial las actividades agrícolas, que son la principal fuente de sustento de la población del Altiplano (Sanabria et al., 2009). Por ello, es importante conocer el papel de los ecosistemas altoandinos con respecto a las concentraciones de CO<sub>2</sub> y su comportamiento como fuente o sumidero.

Actualmente muchos suelos que antiguamente eran sumideros de GEI, ahora con los cambios climáticos están cambiando su comportamiento, convirtiéndose de sumidero a fuente de GEI, por ello es importante realizar mediciones para cuantificar ese comportamiento.

Dentro de este contexto, los suelos pueden contribuir en la reducción o emisión de CO<sub>2</sub>, aún se requiere más estudios para generar informaciones nuevas sobre la interacción entre las diferentes áreas de estudio y el intercambio con la atmósfera. Por ello, es

importante conocer el papel de los ecosistemas altoandinos con respecto a las concentraciones de CO<sub>2</sub> y su comportamiento como fuente o sumidero.

Este trabajo tuvo como objetivo principal determinar el flujo de CO<sub>2</sub> del suelo en el bofedal del sector Pampa Uta, en el distrito de Capaso - El Collao, 2022 durante dos épocas climáticas (lluvioso y seco), bajo la influencia de variables de temperatura del suelo, temperatura del aire, humedad relativa del aire, humedad del suelo, pH y presión atmosférica. Los bofedales del distrito de Capaso vienen sufriendo degradación por diversos factores, por ello es necesario realizar estudios para recomendar el cuidado y manejo de estos ecosistemas altoandinos.

Bajo este contexto pretendemos responder a las siguientes preguntas de investigación:

### **1.1.1 Problema general**

¿Cuánto será el flujo de CO<sub>2</sub> del suelo en el bofedal del sector Pampa Uta, en el distrito de Capaso - El Collao, 2022?

### **1.1.2 Problemas específicos**

¿Cómo influye la estación climática en la época lluviosa y seca en el flujo de CO<sub>2</sub> por la respiración total del suelo?

¿Existirá diferencia de flujo de CO<sub>2</sub> del suelo en los diferentes puntos de muestreo en suelos del bofedal del sector Pampa Uta?

¿Cómo el flujo de CO<sub>2</sub> se relaciona con la temperatura, humedad de los suelos, pH, materia orgánica y altura de agua en el bofedal del sector Pampa Uta?

¿Existe relación entre el flujo de CO<sub>2</sub> del suelo con las variables atmosféricas (temperatura del aire, humedad relativa, presión atmosférica y velocidad del viento) en el bofedal del sector Pampa Uta?

## 1.2 ANTECEDENTES

### 1.2.1 A NIVEL INTERNACIONAL

Lopera (2019) en su artículo titulado “Flujo de CO<sub>2</sub> del suelo bajo diferentes coberturas de la Reserva Forestal Protectora Bosque Oriental de Bogotá”, indica que “El flujo de CO<sub>2</sub> del suelo contribuye con las emisiones de gases de efecto invernadero y varía de acuerdo con la topografía, la calidad de los suelos, las características de la vegetación y los usos del suelo” (Pág. 234).

Ayala et al. (2018) en su artículo titulado “Almacenamiento y flujo de carbono en suelos áridos como servicio ambiental: Un ejemplo en el noroeste de México”, indica que los valores de flujos de CO<sub>2</sub> obtenidos de 22 meses de mediciones mensuales fueron muy variables (-0.058 a 0.828  $\mu\text{mol s}^{-1} \text{m}^{-2}$ ), valores positivos de respiración sólo se registraron tras el paso de lluvias extraordinarias. Valores negativos se asocian a la captura de CO<sub>2</sub> a través de organismos fotosintéticamente activos como las costras biológicas del suelo, las cuales, bajo condiciones específicas de humedad y temperatura, en conjunto con los microorganismos del suelo, presentan evidencias de funcionamiento como fuente y sumidero de carbono.

Abreu (2017) en su tesis titulada “Taxas de fluxo de CO<sub>2</sub> do solo de diferentes clones de *Eucalyptus spp.* sob dois níveis de disponibilidade hídrica e sua relação com a produtividade, no município de Otacílio Costa - SC” realizado en Brasil, estudió el flujo de CO<sub>2</sub> del suelo de diferentes clones de *Eucalyptus spp.* Los resultados obtenidos indicaron que no existe déficit hídrico en la región, y la temperatura tiene una mayor influencia sobre los clones. Las posiciones en las que se midió la respiración obtuvieron resultados diferentes, y los valores aumentaron con la proximidad de los árboles. La respiración del suelo disminuyó gradualmente con un aumento de incremento promedio anual (IMA). Estos resultados sugieren que cuanto mayor es el flujo de CO<sub>2</sub> del suelo, resultante de la actividad de las raíces, menor es la inversión en productividad primaria neta por encima del suelo.

Urrutia (2017) en su estudio titulado “Estimación de flujos de gases de efecto invernadero en suelos de un bosque y una turbera antropogénica en la Comuna de Ancud, Chiloé” en Chile:

Esta investigación ha demostrado que tanto el bosque y la turbera presentan un suelo. Por otro lado, tanto las emisiones de CO<sub>2</sub> como las fijaciones de CH<sub>4</sub>, presentan claro patrón diario en sus flujos de CO<sub>2</sub>, explicado principalmente por la temperatura de las variaciones estacionales, con una mayor actividad en los periodos secos de cada ecosistema, estableciéndose la estrecha relación que tienen los flujos con el contenido de agua en suelo. Esta variable, bastante documentada por la relación que tiene con los flujos, muestra que cambios en el régimen hídrico de estos ecosistemas afectaría directamente a los flujos (Pág. 37).

Díaz (2018), en su tesis titulada “Flujos de CO<sub>2</sub> y CH<sub>4</sub> en suelos de matorrales y bosques esclerófilos en la Reserva Nacional Roblería del Cobre de Loncha, Región Metropolitana” en Chile concluye que “los flujos de CO<sub>2</sub> y CH<sub>4</sub> en los suelos fueron controlados por la temporada y el tipo de vegetación asociada al gradiente de perturbación” (pág. 36).

### 1.2.2 A NIVEL NACIONAL

Lent et al. (2019) en su artículo titulado “Emisiones de gases de efecto invernadero a lo largo de un gradiente de degradación de bosques pantanosos de turba en la Amazonía peruana: efectos sobre la humedad del suelo y las raíces de palma” en el Perú, mostró los efectos de la humedad del suelo y la raíz de la palma, indica que los suelos de sitios degradados produjeron constantemente más CO<sub>2</sub> que los suelos del sitio intacto durante las incubaciones in vitro. La respuesta de la producción de CO<sub>2</sub> a los cambios en el espacio poroso lleno de agua (CEPA) siguió una relación polinomial cúbica con máximos de 60-70% en los tres sitios. El CH<sub>4</sub> se produjo en cantidades limitadas y exclusivamente en condiciones de agua saturada. No hubo una respuesta significativa de las emisiones de óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) a la variación de CEPA.

Planas-Clarke et al. (2020) en su artículo titulado “El efecto de los niveles freáticos y la restauración de zanjas a corto plazo en el ciclo del carbono de las turberas de montaña en la Cordillera Blanca, Perú”, concluye: El estudio se realizó en el Parque Nacional Huascarán, Perú, utilizando métodos de cámara estática. Comparando la referencia a condiciones de alto drenaje, el intercambio de ecosistema neto (TLE) al mediodía fue mayor ( $1.07 \pm 0.06$  vs  $0.76 \pm 0.11$  g CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>), y el punto de compensación de luz para la absorción de CO<sub>2</sub> fue menor. Los flujos de gas fueron relativamente estables en los tratamientos humedecido y de referencia, con pequeñas respuestas positivas de TLE al aumento del nivel freático.

Arteaga (2011) en su tesis titulada “Flujo y stock de carbono de suelos en tres tipos de bosques de la amazonía peruana Jenaro Herrera - Loreto” , en el Perú concluye lo siguiente:

En base a las mediciones realizadas en ocho meses, el flujo promedio de CO<sub>2</sub> (respiración promedia del suelo) en plantación fue de 0,220 g CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup> (19,26 t CO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>) a una temperatura del suelo de 26,52°C y una humedad del suelo de 17,06 %. En terraza alta el flujo promedio de CO<sub>2</sub> fue de 0,167 g CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup> (14,62 t CO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>) a una temperatura del suelo de 25,67°C y una humedad del suelo de 27,63%. Finalmente en Varillal, se obtuvo un flujo promedio de CO<sub>2</sub> de 0,149 g CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup> (13,04 t CO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>) a una temperatura y humedad promedio del suelo de 26,06°C y 25,76%, respectivamente.

### 1.2.3 A NIVEL LOCAL O REGIONAL

Tesis titulada “Estimación de factores de emisión de gases de efecto invernadero en la bahía interior de Puno”, se han estimado las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), en el embarcadero de Quta Patxa y frente de la UNA Puno, obteniéndose una concentración de GEI de 4.52% de CO<sub>2</sub> y 1.97% de CH<sub>4</sub>, en la isla Espinar con emisiones de 12.82% de CO<sub>2</sub> y 25.27% para el CH<sub>4</sub> comportándose como fuente de GEI, pH

promedio de 6.20 no influyendo en las emisiones de CO<sub>2</sub> y CH<sub>4</sub>, sin embargo la temperatura influye en la generación de CO<sub>2</sub> y CH<sub>4</sub> (Mamani, 2017).

Quispe (2015) en su artículo titulada “Efectos del cambio climático en la agricultura de la cuenca Ramis, Puno-Perú” estudió con datos históricos de 46 años de temperaturas y precipitación pluvial, concluye que las temperaturas máximas tienden a incrementar en 0.04°C anualmente, mientras las precipitaciones pluviales tienden a disminuir, generando impactos negativos en los ecosistemas.

Mamani & Mamani (2019) en su tesis titulada “Determinación del secuestro de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) en el suelo mediante sumideros de carbono: Puyas de Raimondi (Puya raimondii Harms), Pajonal con Chillihuales y Bofedal, en el distrito de Putina – Puno, 2018”, indica que los bofedales actúan como sumidero o captación de carbono , seguido de Pajonal con Chillihuales y finalmente Puyas de Raimondi, donde se registró un valor de 501.96 (44%), 442.05 (39%) y 187.68 (17%) tCO<sub>2</sub>/ha respectivamente. Se demuestra que los suelos de la comunidad de Bellavista en el distrito de Putina tienen un gran potencial para el secuestro de carbono y para contribuir a los esfuerzos para mitigar el cambio climático.

### **1.3 OBJETIVOS DEL ESTUDIO**

#### **1.3.1 OBJETIVO GENERAL**

Determinar el flujo de CO<sub>2</sub> del suelo en el bofedal del sector Pampa Uta, en el distrito de Capaso - El Collao, 2022.

#### **1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- O1.** Determinar la influencia de la estación climática en el flujo de CO<sub>2</sub> por la respiración total del suelo en época lluviosa y seca.
- O2.** Evaluar la diferencia del flujo de CO<sub>2</sub> del suelo en diferentes puntos de muestreo en suelos del bofedal del sector Pampa Uta.

**O3.** Relacionar el flujo de CO<sub>2</sub> con la temperatura, humedad de los suelos, pH, materia orgánica y altura de agua en el bofedal del sector Pampa Uta.

**O4.** Determinar la relación entre el flujo de CO<sub>2</sub> del suelo con las variables atmosféricas (temperatura del aire, humedad relativa, presión atmosférica y velocidad del viento) en el bofedal del sector Pampa Uta.

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO, CONCEPTUAL E HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

#### 2.1 MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

##### 2.1.1 Flujo de CO<sub>2</sub> del suelo

El suelo es fuente y sumidero de gases de efecto invernadero, producidos y consumidos principalmente a través de procesos biológicos. La respiración del suelo es un proceso de producción de CO<sub>2</sub> (Díaz, 2018). Las investigaciones en la selva amazónica sugieren la necesidad de preservar los suelos y mencionan que los cambios en la cubierta forestal disminuirían el contenido y las existencias de carbono (Marques et al., 2016).

##### 2.1.2 Dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y su rol en el cambio climático

Este gas imprescindible para la vida, forma parte de un intercambio permanente entre los seres vivos y la atmósfera, permite mantener la temperatura dentro de un rango habitable. Sin embargo, la mano del hombre ha ocasionado un desajuste de este equilibrio, las emisiones de dióxido de carbono por los gases de combustión han permitido acrecentar el efecto invernadero, lo que provoca un incremento del calentamiento global.

Las emisiones de gases de efecto invernadero han seguido aumentando entre el año 2000 y el 2010 a un ritmo y una tasa más rápida que en los últimos 30 años hasta el año 2000 la tendencia de crecimiento era 1.3% por año, mientras que después de ese periodo aumentó la tendencia en un 2.2% al año. Estas emisiones derivan un 35% sector energético, un 24% agricultura bosques y otros usos de tierra, 21% de las industrias, 14% de transportes y un 6% sector de la construcción (IPCC, 2014).

### **2.1.3 Ecosistema de bofedales**

Los bofedales son ecosistemas altamente vulnerables debido a su dependencia del agua, son sensibles al cambio climático y son vulnerables a los cambios por la actividad minera, el pastoreo y el retroceso de los glaciares, por lo que necesita desarrollar programas de manejo y conservación con una base científica y de conocimiento sólida, con el fin de asegurar la continuidad de los servicios que brindan estos ecosistemas (Flores et al., 2014).

### **2.1.4 Importancia de los humedales altoandinos y de sus servicios ecosistémicos**

A pesar del arduo trabajo de conservación de los humedales altoandinos, aún no se tiene registrado el área total que abarcan en el mundo y son pocos los que integran las listas de RAMSAR. El Perú cuenta con un área de aproximadamente 509 381 hectáreas de bofedales o humedales altoandinos (Anexo 2), lo que corresponde al 6.9% del total de humedales del territorio peruano. Estas bofedales abarcan el 2% del territorio altoandino y el 0.4% del territorio peruano, siendo su principal uso el de pastoreo de rebaños domésticos, como vacas, caballos, alpacas, llamas, ovejas, entre otros (Flores et al., 2014).

### **2.1.5 Impacto del cambio climático a los bofedales**

Por otro lado, los bofedales son vulnerables y sensibles a los cambios climáticos (Flores et al., 2014), el cambio climático debe considerarse un factor importante ya que puede provocar cambios en la salinidad, pérdida de la cobertura vegetal, aumento de las emisiones de CO<sub>2</sub> y pérdida de la biodiversidad (Anderson et al., 2012).

### **2.1.6 Amenazas a los bofedales**

La Estrategia de Humedales Altoandinos impulsada por la Convención Ramsar reconoce a los bofedales como ecosistemas estratégicos por sus funciones reguladoras y proveedoras de agua en períodos críticos, su alta biodiversidad de los bofedales lo

convierte en un hábitat de flora y fauna en peligro de extinción, centros endémicos espacios para actividades turísticas y espacios de vida para las comunidades y poblaciones locales (Flores et al., 2014).

A pesar de su importancia, los bofedales son ahora se consideran ecosistemas que han perdido parte de su capacidad para proporcionar bienes y servicios ambientales a través del drenaje, urbanización, agricultura, construcción de represas, sobrepastoreo, construcción de carreteras, contaminación y otras formas de intervención del sistema ecológico (Flores et al., 2014).

#### **2.1.7 Analizador de gases infrarrojo: EGM-4 (pp-systems, hitchin, uk, pps)**

EGM-4 (PP-Systems, Hitchin, UK) anexo (Figura 4) es usado junto con una cámara de respiración de suelo SRC-1 (PP-Systems, Hitchin, UK). La cámara es cilíndrica con unas dimensiones de 15 cm de alto por 10 cm de diámetro. Viene equipado con un ventilador para mezclar el aire. En cámaras cerradas con sistema IRGA el aire circula a lo largo de un circuito entre la cámara y el IRGA externo (PP-Systems, 2010).

#### **2.1.8 Factores influyentes en la dinámica del CO<sub>2</sub> del suelo**

##### **a. Humedad del suelo**

Según Anderson (1982) existen cuatro tipos importantes de humedad y por lo tanto pueden existir cuatro condiciones de intercambio de gas:

- El suelo puede ser seco.
- Bien drenado bien y húmedo, con una gran cantidad de poros del suelo llenos de aire.
- Puede ser inundado.
- O haber sido inundados recientemente por períodos largos, y tiene así pocos poros llenos gas.

##### **b. Temperatura del aire y precipitación**

En relación a la temperatura (Raich y Schlesinger, 1992) aluden que los rangos más bajos de respiración del suelo ocurren en los lugares fríos (Tundra) y secos (Desiertos), y

que los mayores rangos ocurren en los bosques húmedos tropicales donde la temperatura son mayores durante todo el año. Por lo que a gran escala la respiración del suelo está correlacionada significativamente con la temperatura media del aire y la precipitación media anual. Los mismos autores mencionan que la temperatura, sola, permite una buena predicción de la Rs anual en una locación específica, pero la inclusión de la precipitación en una regresión incrementa el poder de predicción.

## **2.2 MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL**

### **2.2.1 Ciclo del carbono**

El carbono (C) es el cuarto elemento más abundante en el universo después del hidrógeno (H), el helio (He) y el oxígeno (O), y tal como lo conocemos, es el centro de la vida. En la Tierra, el carbono circula en el océano, la atmósfera, la tierra y el interior en un ciclo biogeoquímico importante. Este ciclo se puede dividir en dos tipos. Ciclo "lento" o geológico. Y un ciclo "rápido" o biológico (Anexo 4) (Interativa, 2019).

### **2.2.2 Carbono orgánico del suelo (COS)**

El carbono orgánico del suelo (COS) es una de las principales reservas de carbono, por lo que es importante conocer su dinámica en los ecosistemas terrestres (Rojas-García et al., 2017).

### **2.2.3 Sumidero de carbono**

Esta función del ecosistema, donde los bosques intactos sirven como sumideros de carbono, tiene como objetivo mitigar el cambio climático al reducir las emisiones de gases de efecto invernadero resultantes de evitar la deforestación o la degradación (Grassi et al., 2017). Incluir sumideros de carbono en bosques intactos tendrá un mayor impacto en el proyecto REDD+ en términos de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero. Mantener un área forestal intacta requiere no solo la capacidad de mantener el almacenamiento de carbono, sino también la capacidad de aumentarlo en el futuro (Miñano et al., 2018).

#### **2.2.4 Bofedal**

Ecosistemas hidromórficos andinos con plantas herbáceas de tipo hidrofílico que se encuentran en los Andes en suelos planos, depresiones o ligeramente inclinados. Está constantemente inundado o saturado con agua corriente (drenaje deficiente), con vegetación siempre verde densa de porte almohadillado o en forma de cojín. La fisonomía de la vegetación corresponde a pastizales de 0,1 a 0,5 metros. El suelo orgánico puede ser profundo (turba). Este tipo de ecosistema es considerado un humedal andino (MINAM, 2019b).

Los bofedales u oconales son humedales típicos del altiplano andino, ubicados por encima de los 3.500 metros sobre el nivel del mar. Estas zonas se caracterizan por extensas áreas húmedas, que se inundan parcial o totalmente debido a la materia orgánica del suelo, lo que resulta en un drenaje inadecuado y ayuda a mantener la humedad. Debemos reconocer la importancia de la población andina en la conservación y creación de bofedales. Algunos de ellos se consideran la construcción, ampliación o creación de bofedales (MINAM, 2015).

### **2.3. MARCO TEÓRICO NORMATIVO**

#### **2.3.1 Constitución Política del Perú**

El artículo 68 de la constitución política de Perú establece que el estado tiene la obligación de promover la conservación de la diversidad biológica y las áreas naturales protegidas (Gobierno del Perú, 1993).

#### **2.3.2 Ley N° 28611: Ley General del Ambiente**

El artículo 99 de la Ley N° 28611, Ley General del Ambiente, Estado reconoce la importancia de los humedales como hábitat de especies vegetales y animales, especialmente de aves migratorias, y su protección frente a otros usos en el ejercicio de sus funciones para tomar medidas especiales para la la protección de los vulnerables da prioridad. ecosistemas, incluidos los humedales (Ley General del Ambiente, 2005).

### **2.3.3 DECRETO SUPREMO N° 004-2015-MINAM: Estrategia Nacional de Humedales**

Ante las amenazas recientes que enfrentan los humedales del país, se han implementado estrategias para contar con una herramienta que permita enfrentar los nuevos desafíos de manejo de la biodiversidad en los ecosistemas de humedales en beneficio de los pueblos indígenas, las poblaciones locales y el país en su conjunto (MINAM, 2015).

### **2.3.4 Decreto Supremo N.° 006-2021-MINAM: Disposiciones generales para la gestión multisectorial y descentralizada de los humedales**

Según (MINAM, 2021), la norma busca:

- Armonizar y compatibilizar funciones y competencias entre las entidades para garantizar un intervención consistente en el gestión de los humedales.
- Hacer frente a las principales amenazas que ponen en riesgo atributos esenciales de los humedales: extracción de turba, ocupación ilegal y degradación.
- Fomentar mecanismos financieros para la conservación y recuperación de humedales como activo estratégico.
- Asignar un rol claro y activo a los niveles subnacionales en la gestión y conservación de humedales.

## **2.4 HIPÓTESIS**

### **2.4.1 HIPÓTESIS GENERAL**

El flujo de CO<sub>2</sub> del suelo del bofedal del sector Pampa Uta es alto, en el distrito de Capaso - El Collao, 2022 se comporta como fuente de CO<sub>2</sub> para la atmósfera.

### **2.4.2 HIPÓTESIS ESPECÍFICAS**

- El flujo de CO<sub>2</sub> del suelo del bofedal del sector Pampa Uta es alto es influenciado por la estación climática en época lluviosa y seca.

- Existe diferencia de los flujos de  $\text{CO}_2$  entre los puntos de muestreo en suelos del bofedal del sector pampa Uta.
- La temperatura, humedad de los suelos, pH, materia orgánica y altura de agua influyen en el flujo de  $\text{CO}_2$  en los suelos del bofedal del sector Pampa Uta.
- Existe relación entre el flujo de  $\text{CO}_2$  del suelo con las variables atmosféricas (temperatura del aire, humedad relativa, presión atmosférica y velocidad del viento) en el bofedal del sector Pampa Uta

## CAPÍTULO III

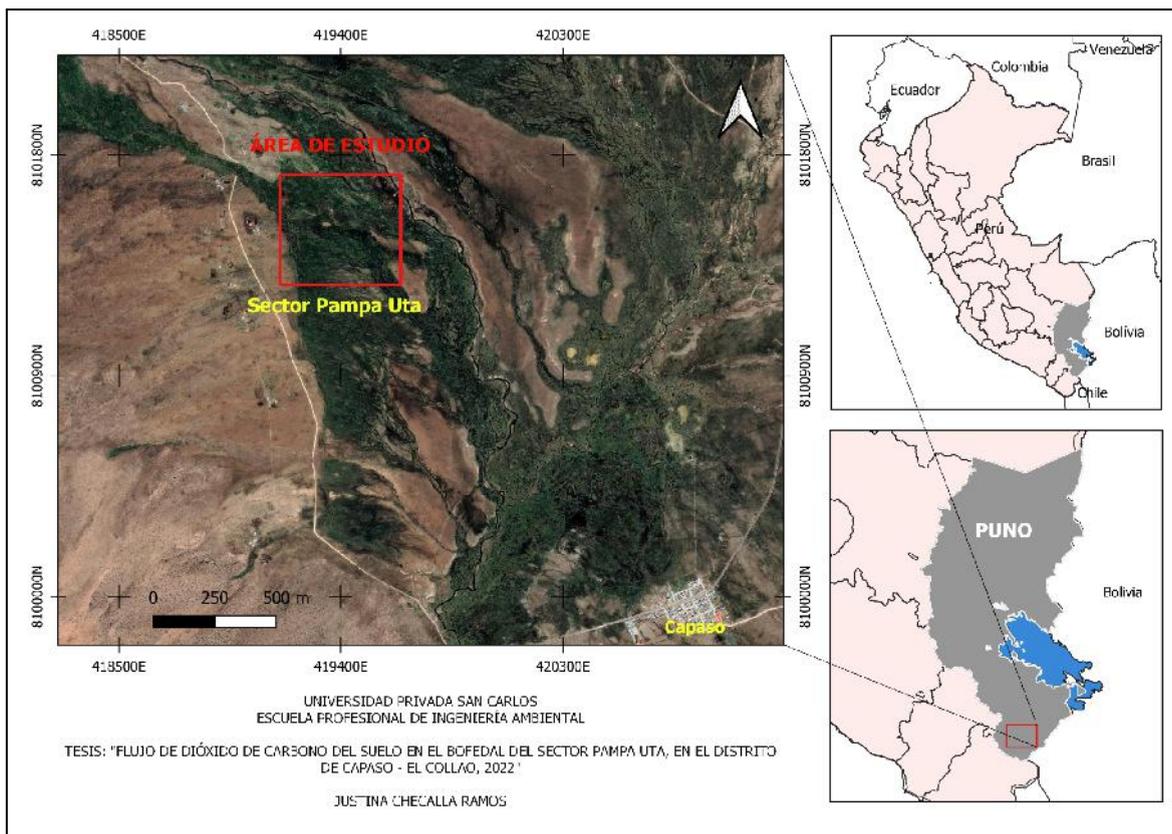
### METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

#### 3.1 ZONA DE ESTUDIO

El estudio se realizó en el bofedal del sector Pampa Uta del distrito de Capaso, Provincia del El Collao - Puno, geográficas con coordenadas UTM 17°10' 08.0 S y 69°45' 32.6" W (Figura 1). Se encuentra ubicado en la frontera sur del Perú, cordillera Flanco Occidental de los Andes, al extremo sureste de la región de Puno, a una altura entre 4400 - 4600 m.s.n.m. Capaso tiene el clima de tundra, frío todo el año (Figura 10 a 13). La temperatura media anual en Capaso es 11° C y la precipitación media anual es 1179 mm, la humedad media es del 71% y el Índice UV es 2.

Las especies dominantes en estos bofedales son: *Plantago tubulosa*, *Oxychloe andina* y *Plantago tubulosa* (León, 2016).

Según Holdridge (1978) el bofedal del sector Pampa uta se encuentra en la zona de vida páramo húmedo-Subalpino Subtropical (ph\_SaS). Estos bofedales se pastorean tradicionalmente con llamas y alpacas (León, 2016).



**Figura 01:** Localización del área de estudio. a) mapa de Perú; b) distrito de Capaso e c) bofedal del sector Pampa Uta

### 3.2 TAMAÑO DE MUESTRA

#### 3.2.1 Población

La población de esta investigación fue conformada por el bofedal del sector Pampa Uta en el distrito de Capaso conformada por 34 ha.

#### 3.2.2 Muestra

Fueron seleccionados cuatro (04) puntos y seis (06) repeticiones por punto de medición los cuales fueron georreferenciados (anexo 16). Dichas mediciones fueron en dos épocas climáticas (lluvioso y seco) 24 mediciones por punto y época, en una área de 1600 m<sup>2</sup> aproximadamente (Anexo 8).

### 3.3 MÉTODOS Y TÉCNICAS

**Enfoque:** Cuantitativo

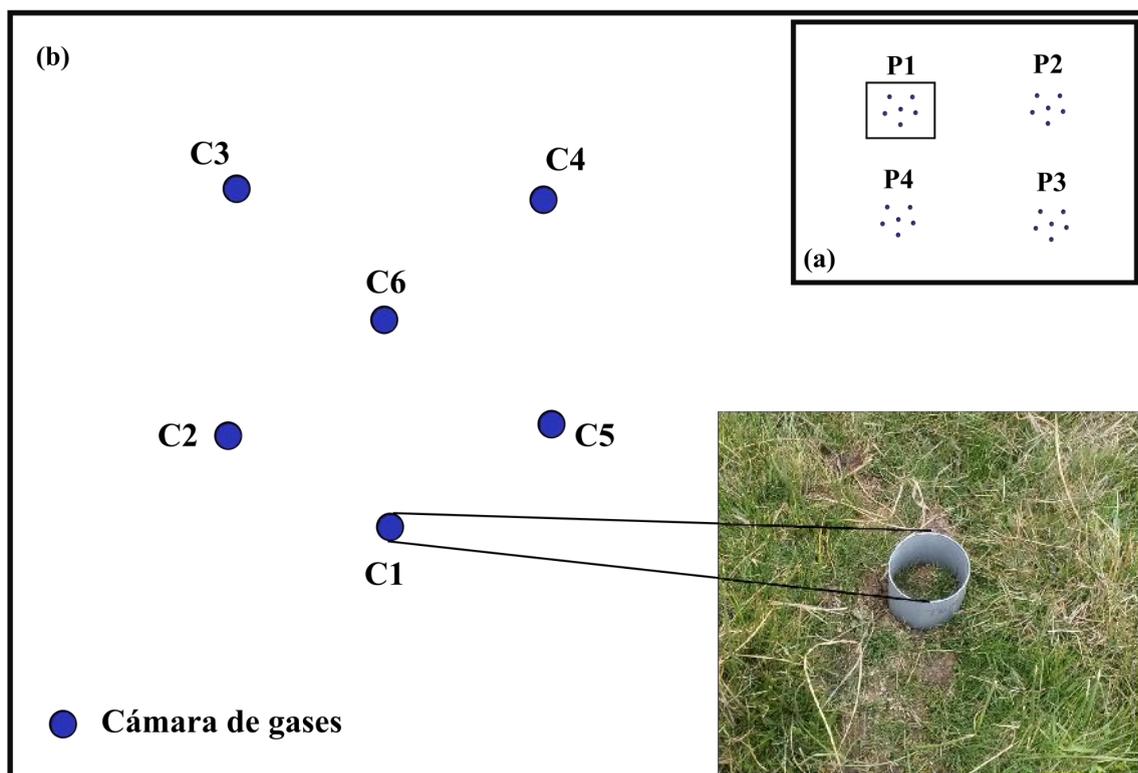
**Tipo de investigación:** No experimental

**Diseño de investigación:** Descriptivo correlacional

**Método:** Deductivo

#### 3.3.1 Medición de flujo de CO<sub>2</sub>

Para la medición del flujo de CO<sub>2</sub> se seleccionaron cuatro puntos aleatoriamente (Figura 2). En cada punto se instalaron de manera aleatoria 6 tubos de PVC de 10 cm de altura y 10 cm de diámetro interno, insertados en el suelo a 2 centímetros de profundidad en el suelo (Figura 2) (Freitas, 2010). Los tubos fueron instalados un día antes de la primera toma de datos.



**Figura 02:** Distribución de las cámaras de flujo. a) puntos de estudio, punto 1 (P1), punto 2 (P2), punto 3 (P3) y punto 4 (P4); b) P1 con seis cámaras de gases.

Los flujos de CO<sub>2</sub> de los suelos fueron medidos con una cámara cerrada dinámica de respiración (SRC-1, PP Systems, USA) conectado a un sensor infrarrojo (IRGA) (EGM-4, PP Systems, USA) (Anexo 3 y Figura 6). Antes de cada medición fue conectado el termómetro y el analizador de gases EGM-4 a la cámara SCR-1 y se procederá a su programación (Figura 18 y 19). Las mediciones tienen una duración de 2 minutos por cámara (Figura 24 y 25). La información que entrega el instrumento indica directamente el flujo que se produce entre el suelo y el volumen que encierra la cámara de respiración (Anexo 9). Las mediciones fueron realizadas en cuatro días por época entre las 8:00 - 12:00 hora local.

### 3.3.2 Cálculo de flujo de CO<sub>2</sub>

La concentración de CO<sub>2</sub> dentro de las cámaras generalmente aumenta linealmente, esta concentración volumétrica se convirtió en un flujo másico usando la ley de los gases ideales (Anexo 6). Las emisiones de CO<sub>2</sub> se calcularon con la siguiente ecuación desarrollada por (Metcalf et al., 2007).

$$F_S = \frac{\Delta C}{\Delta T} * \frac{P}{1000} * \frac{273}{T + 273} * \frac{44.01}{22.41} * \frac{V_d}{A}$$

$$F_{SC} = F_S * \frac{V_d + V_c}{V_d}$$

F<sub>s</sub> = Flujo de CO<sub>2</sub> del suelo sin corrección (g CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>), que multiplicado por el factor de conversión 6.312 se transformó en μmol CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> (Honorio & Baker, 2010). El μmol es la unidad más utilizada para medir el flujo de CO<sub>2</sub> (Pinto-Junior et al., 2009).

F<sub>sc</sub> = Flujo de CO<sub>2</sub> del suelo corregido (g CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>).

ΔC / ΔT = Variación de la concentración de CO<sub>2</sub> en el interior de la cámara (ppm) por unidad de tiempo (seg), 1ppm = 1 μL / L

P = Presión atmosférica (Pa)

T = Temperatura del suelo (°C)

44.01 = Peso molecular de CO<sub>2</sub> (g / mol)

$22.41 =$  Volumen molar de un gas ideal (L/mol)

$V_d =$  Volumen de la cámara SRC-1 ( $m^3$ )

$V_c =$  Volumen total de la cámara interna ( $m^3$ )

$A =$  Área del suelo cubierta por la cámara ( $m^2$ )

Todas las mediciones muestran una relación lineal positiva entre concentración y tiempo, lo que indica una tasa constante de liberación de  $CO_2$  del suelo a la atmósfera (Metcalf et al., 2007).

### 3.3.3 Protocolo para muestreo de suelo de bofedales

Según MINAM (2014) para el plan de muestreo de suelo en general (Anexo 13) se debe considerar los siguiente:

**a. Técnicas de Muestreo:** Se debe considerar los siguientes:

- La profundidad máxima a la que se va a tomar la muestra.
- El tipo de textura del suelo.
- La accesibilidad al punto de muestreo.
- El tamaño de muestra necesaria para los análisis requeridos.

#### **b. Manejo de las Muestras**

Las muestras deben procesarse de acuerdo con ciertas reglas, pero es necesario seguir las reglas establecidas por el laboratorio con respecto a la recolección y almacenamiento de muestras para análisis.

- Etiquetado
- Ficha de muestreo

#### **c. Determinación de los puntos de muestreo**

Un punto de muestreo es la ubicación espacial georreferenciada del lugar donde se va a recolectar las muestras, sean éstas superficiales o en profundidad.

**Muestreo aleatorio simple:** recomendado para áreas homogéneas menores a 5 hectáreas, delimitadas por referencias visibles a lo largo y ancho de toda la extensión del sitio.

Según Mendoza & Espinoza (2017) y Rugnitz et al. (2009) en la Guía técnica para muestreo de suelos indica algunos protocolos de muestreo:

**a. Tipo de muestras (muestra simple):** la muestra se obtuvo removiendo el suelo una sola vez. Se utilizan en trabajos de investigación y extensión, y en suelos homogéneos. Para la nutrición de las plantas, se recomienda tomar una muestra a razón de 1 kg por hectárea de suelo.

**b. Mapa o croquis del sitio de muestreo de suelo:** Es importante delinear o mapear la unidad de producción, indicar la ubicación de los sitios o lotes donde se realizará el muestreo y rotularlos.

**c. Tamaño del área y número de muestras:** El número de muestras depende de la variabilidad del sitio; se recomienda tomar al menos tres muestras por cada tipo de suelo o cultivo a una determinada profundidad.

**d. Utilizando barreno (barrenadas):** Si usa un hoyo, proceda de la siguiente manera:

- Entierre el hoyo girándose, penetra en el suelo como un tornillo hasta 20 cm y extrae la muestra.
- Coloque la muestra de suelo en un cubo de plástico de la profundidad especificada. Debe estar libre de contaminantes como fertilizantes, cal, estiércol, cemento y otros.
- La distancia entre una observación y otra depende del propósito de la muestra, el tamaño del lote y el método de muestreo elegido.

**e. Preparación e identificación de la muestra:** Una vez realizado el muestreo según lo planificado y antes del análisis en el laboratorio, se debe tener cuidado para asegurarse de que esté debidamente preparado y etiquetado para que no se desgaste durante el transporte y contenga información sobre dónde se tomaron las muestras ([Anexo 14](#)).

Para suelos de bofedales (MINAM, 2019a), en la Guía de evaluación del estado del Ecosistema de bofedal muestra los pasos a seguir para muestreo de suelos:

PASO 1: Identificación y delimitación de la zona de interés a evaluar

PASO 2: Cálculo y distribución del número de las unidades muestrales

PASO 3: Medición de indicadores en campo

### **3.3.4 Carbono orgánico del suelo (COS) y materia orgánica (MO)**

#### **a. Muestreo de suelo**

Se realiza una colecta de suelo de bofedales, muestreando suelo a una profundidad de 0-10 cm. Se tomó una muestra para la determinación del contenido de COS y MO para tal fin con una cuchilla, se debe eliminar la vegetación de la superficie y corte hasta el fondo para que la muestra represente los primeros 10 cm de turba (MINAM, 2019a). Se realizaron tres repeticiones en cada punto de medición de flujos de CO<sub>2</sub>. El muestreo de suelos se desarrolló en forma aleatoria según la guía (MINAM, 2014; Rugnitz et al., 2009). Las muestras de suelo fueron recolectadas en bolsas de plástico y mantenidas en hielo en tecnopor para mantener las características del suelo.

#### **b. Análisis de laboratorio**

El análisis de suelo se ha realizado en el Laboratorio de suelos de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional del Altiplano, los métodos empleados para el análisis de suelos fue:

- Carbono orgánico del suelo almacenado (COS) o materia orgánica (MO) en (%) a través de la metodología de (Walkley & Black, 1934) que es por la oxidación con dicromato de potasio.

#### **c. Cálculo de COS**

La concentración de carbono orgánico (CCO) se estimará a partir de la MO analizada en laboratorio por la metodología de (Walkley & Black, 1934). El CCO será obtenido por la relación de MO y el factor 1.724 porque la materia orgánica contiene el 58% de carbono orgánico, tal como se muestra a continuación (Kalra & Maynard, 1991).

$$CCO = MO/1.724$$

Donde:

CCO : Concentración de carbono orgánico en el suelo (%)

MO : Contenido de materia orgánica (%)

1.724 : Factor de conversión

### 3.3.5 Materiales y equipos utilizados

- Libreta de campo
- Bolsa de plástico
- Tecnopor para muestras
- Termómetro
- Anemómetro
- GPS
- Analizador de gases EGM-4 y cámara SCR-1
- Wincha de 5 m.
- Barreno tipo copo
- Análisis de Laboratorio (suelo)

### 3.4 IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES

Variable independiente: Suelo en el bofedal del sector Pampa Uta

Variable dependiente: Flujo de dióxido de carbono.

**Tabla 01:** Operacionalización de variables de investigación

Variables	Dimensiones	Indicadores
<b>Independiente:</b>		
Suelo en el bofedal del sector Pampa Uta	Características físicas y químicas del suelo	Carbono orgánico del suelo Materia orgánica Biomasa de raíces pH
<b>Dependiente:</b>		
Flujo de dióxido de carbono	Medición directa en campo con cámara dinámica cerrada de respiración (SRC-1, PP Systems, USA) conectado a un sensor infrarrojo (IRGA) (EGM-4, PP Systems, USA).	Emisión o captura de CO <sub>2</sub> Presión atmosférica Temperatura de la cámara Concentración de CO <sub>2</sub>

### 3.5 MÉTODO O DISEÑO ESTADÍSTICO

El modelo estadístico se consideró tres factores: sitios de muestreo, época (lluvioso y seco) con seis repeticiones por sitio. Se probó la normalidad de todas las medias utilizando la prueba de Shapiro-Wilks antes del análisis. Cuando no se alcanzó con la normalidad, se requirió realizar transformaciones logarítmicas para que algunos datos estabilice las variaciones de los datos. Cómo se tomaron muestras de los mismos sitios durante los días siguientes, se utilizó un análisis de varianza (ANOVA) de medidas repetidas de dos factores para probar el efecto de los días y horas de muestreo en el flujos de CO<sub>2</sub>. En ANOVA, las medias fueron comparadas mediante la prueba de diferencia significativa de Tukey para indicar las diferencias significativas entre las medias. Las diferencias fueron consideradas significativas al nivel de probabilidad de p

$<0,05$ . Los efectos del sitio de muestreo y los períodos y días fueron probados utilizando ANOVA de dos factores. Se utilizó ANOVA unidireccional para probar el efecto de los sitios sobre el biomasa de las raíces. Las relaciones entre los flujos de  $\text{CO}_2$  medios y las variables ambientales fueron evaluadas mediante correlaciones lineales de Pearson. Los análisis estadísticos fueron realizados con el software estadístico InfoStat versión 2020 (DI RIENZO et al., 2020).

## CAPÍTULO IV

### EXPOSICIÓN Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

**4.1 Determinar la influencia de la estación climática en el flujo de CO<sub>2</sub> por la respiración total del suelo en época lluviosa y seca.**

#### **4.1.1 Temperatura del suelo y humedad relativa del aire**

La temperatura del suelo (Ts) se observó una fuerte variación climática durante el período experimental. En la época seca, la temperatura del suelo a una profundidad de 0.03 m varió de 7.7 a 17.2 °C en los cuatro puntos de muestreo, con temperaturas más bajas el tercer día de muestreo y temperaturas más altas en el cuarto día (Tabla 2) . La temperatura promedio durante la época seca fue de  $12.36 \pm 2.08$  (Tabla 2).

La temperatura del suelo varió de 13 °C (en el tercer día de muestreo) a 19.3 °C (en el cuarto día) durante la época lluviosa. El primer y cuarto día las temperaturas mostraron valores más altos, ya que estos días estuvieron soleados. La temperatura más baja fue el tercer día de muestreo. La temperatura promedio durante la época lluviosa fue de  $17.21 \pm 1.97$  °C (Tabla 2).

Considerando los cuatro puntos, la humedad relativa del aire (HR) osciló entre 16.3 y 29.1% durante la época seca (Tabla 2). En esta época, el tercer día la humedad relativa fue más alta y la menor fue el cuarto día de muestreo en los cuatro puntos de muestreo. La HR promedio en la época seca fue de  $22.87 \pm 3.86\%$  (Tabla 2).

Durante la época lluviosa, la HR osciló entre 31.1 y 53.8%. El tercer día presentó la mayor humedad y la menor fue el primer día de muestreo. La HR promedio en la época lluviosa fue de  $42.86 \pm 8.41\%$  (Tabla 2).

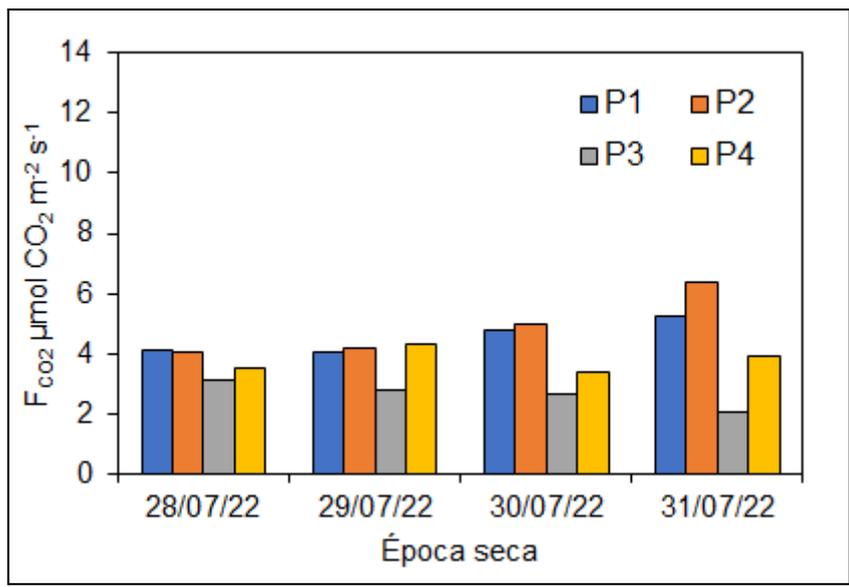
**Tabla 02:** Estadísticos descriptivos de las emisiones de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), temperatura del suelo ( $T_s$ ) y Humedad relativa del aire en los sitios estudiados. Letras diferentes indican diferencias significativas por la prueba de Tukey ( $p < 0.05$ ).

Época	$F_{\text{CO}_2}$ ( $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ )		$T_s$ ( $^{\circ}\text{C}$ )		Humedad relativa (%)	
	Mín/Máx	Media $\pm$ D.E	Mín/Máx	Media $\pm$ D.E	Mín/Máx	Media $\pm$ D.E
28/07/2022	2.86/4.36	$3.69 \pm 0.46$	11.4/14	$12.63 \pm 0.76$	22.4/24.6	$23.93 \pm 1.03$
29/07/2022	1.36/5.12	$3.83 \pm 0.97$	9.8/14.9	$12.36 \pm 1.49$	20.4/26.4	$22.48 \pm 2.78$
30/07/2022	0.88/7.05	$3.94 \pm 1.74$	7.7/13.6	$10.21 \pm 1.72$	20.8/29.1	$26.03 \pm 2.93$
31/07/2022	0.12/9.80	$4.40 \pm 2.39$	10.1/17.2	$14.25 \pm 1.86$	16.3/18.5	$17.48 \pm 0.95$
<b>Seco</b>		<b><math>3.97 \pm 1.57^b</math></b>		<b><math>12.36 \pm 2.08^b</math></b>		<b><math>22.87 \pm 3.86^b</math></b>
09/01/2023	4.06/21.47	$10.16 \pm 3.52$	17/19.2	$18.11 \pm 0.81$	31.1/35.4	$32.88 \pm 1.85$
10/01/2023	1.24/16.64	$8.15 \pm 3.51$	16.4/18.7	$17.89 \pm 0.70$	46.4/50.7	$48.68 \pm 2.24$
11/01/2023	3.06/9.11	$6.02 \pm 1.61$	13.0/15.4	$14.11 \pm 0.80$	44.5/53.8	$51.05 \pm 4.39$
12/01/2023	4.41/9.59	$7.15 \pm 1.35$	17.6/19.3	$18.71 \pm 0.66$	34.7/47.7	$38.85 \pm 6.10$
<b>Lluvioso</b>		<b><math>7.87 \pm 3.06^a</math></b>		<b><math>17.21 \pm 1.97^a</math></b>		<b><math>42.86 \pm 8.41^a</math></b>

Min = mínimo; Máx = máximo; D.E = desviación estándar de la media.

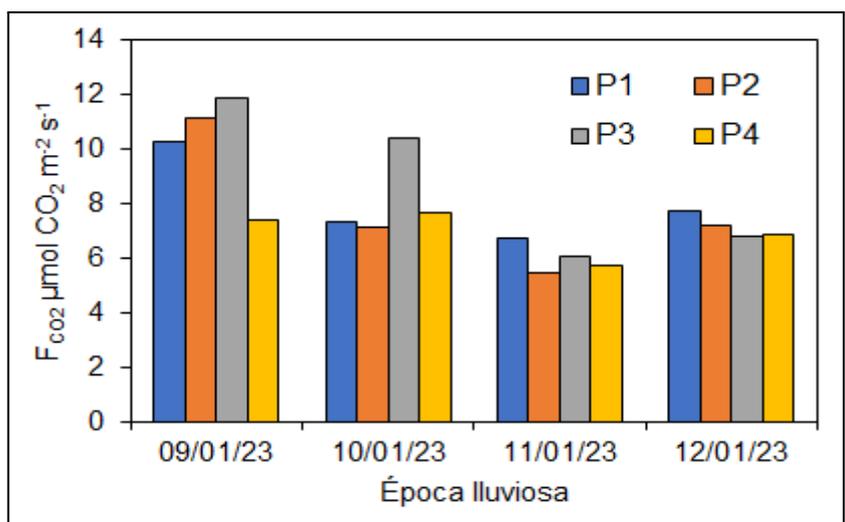
#### 4.1.2 Flujos de $\text{CO}_2$ del suelo de bofedales altoandinos

El flujo de  $\text{CO}_2$  varió de 0.12 a  $9.80 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  en los cuatro puntos de muestreo, con un flujo medio de  $3.97 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  para la época seca (Tabla 2 y Figura 3). El valor medio diario más bajo se observó para el primer día ( $3.69 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) y el más alto el cuarto día ( $4.40 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) (Tabla 2).



**Figura 03:** Flujo diario de CO<sub>2</sub> durante la época seca en los diferentes puntos de muestreo (P1, P2, P3 y P4).

Durante la época lluviosa, el flujo de CO<sub>2</sub> de los cuatro puntos de muestreo osciló entre 1.24 μmol CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> (segundo día) y 21.47 μmol CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> (primer día), con un flujo promedio de 7.87 μmol CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> para la época (Tabla 2). Los valores medios diarios más bajos se observaron para el tercer día (6.02 μmol CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>), mientras que el valor más alto se encontró el primer día (10.16 μmol CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>) (Tabla 2; Figura 4).

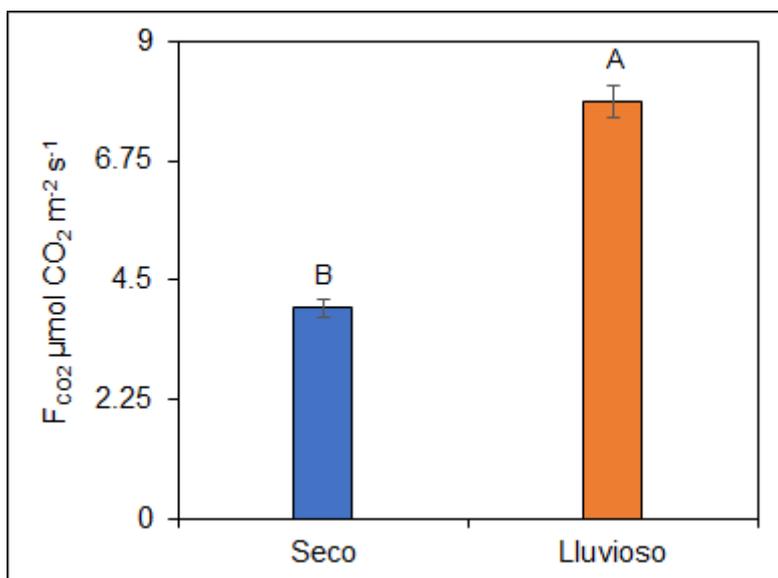


**Figura 04:** Flujo diario de CO<sub>2</sub> durante la época lluviosa en los diferentes puntos de muestreo (P1, P2, P3 y P4).

El flujo de carbono en suelos áridos en México varió de  $-0.058$  a  $0.828 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ , incrementando con el aumento de la humedad del suelo (Ayala et al., 2018). En diferentes usos de suelo en Colombia el flujo de  $\text{CO}_2$  del suelo en la cubierta forestal varió de  $1,03$  a  $7,14 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ , en la cobertura del pastizal del páramo varió de  $0,61$  a  $4,9 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  y en la cobertura de plantación de eucaliptos, varió de  $1,8$  a  $5,15 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  (Lopera, 2019). Los valores obtenidos en bofedales son similares a los reportados en suelos de Colombia. En Chile, los flujos de  $\text{CO}_2$  muestran emisiones forestales de  $1,4$  a  $6,3 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ; y de  $0,3$  a  $1,9 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  en una turbera (Urrutia, 2017). En suelo con Pasto en Brasil, el flujo promedio de  $\text{CO}_2$  fue de  $4,95 \pm 1,59 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  (Pinto-Junior et al., 2009).

En suelos estudiados en Colombia la temperatura del suelo varió de  $8,5$  y  $14,5 \text{ }^\circ\text{C}$  y la humedad relativa de  $57$  y  $92 \%$  (Lopera, 2019).

En la comparación estacional del flujo de  $\text{CO}_2$  del suelo de bofedales altoandinos entre las épocas seca y lluviosa, existe una diferencia altamente significativa ( $p < 0.001$ ), con mayor flujo de  $\text{CO}_2$  en la época lluviosa (Figura 5).



**Figura 05:** Flujo de  $\text{CO}_2$  ( $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) del suelo en bofedal altoandino. Las barras representan (media  $\pm$  desviación estándar). Letras diferentes indican diferencias significativas por la prueba de Tukey ( $p < 0.05$ ).

El flujo de CO<sub>2</sub> del suelo de los bofedales de este estudio es mayor en época lluviosa y menor en época seca. En suelos de Brasil las emisiones medias de CO<sub>2</sub> fueron de 4,13 μmol CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> para la estación lluviosa y de 3,82 μmol CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> para la estación seca (Silva et al., 2019). Las diferencias en los flujos de CO<sub>2</sub> entre los períodos seco y lluvioso pueden estar relacionadas principalmente con las variables climáticas.

En un estudio las emisiones de CO<sub>2</sub> en diferentes sistemas de labranza fueron: Labranza cero (SPD), labranza mínima (CM), bioma Mata Atlántica (Mata) y labranza convencional (PC) fueron 2,30; 2,25; 2,18; y 1,39 μmol CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> (Simon et al., 2019). Estos valores son similares a los flujos de un bofedal altoandino.

En otro estudio, el flujo de CO<sub>2</sub> del suelo en la cubierta forestal, el flujo de CO<sub>2</sub> promedio fue de 3,06 ± 1,5 μmol CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> y varió de 1,03 a 7,14 μmol CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>, en la cobertura del pastizal del páramo, el flujo medio de CO<sub>2</sub> fue de 1,85 ± 1,41 μmol CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> y varió de 0,61 a 4,9 μmol CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> y en la cobertura de plantación de eucaliptos, el flujo promedio de CO<sub>2</sub> en el suelo fue de 3,24 ± 1,5 μmol CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> y varió de 1,8 a 5,15 μmol CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> (Lopera, 2019).

La temperatura del aire (Tar) fue mayor en al época seca en comparación con la época lluviosa, pero sin diferencia significativa, la velocidad del viento (Vv) fue mayor en la época seca que en la época lluviosa, la presión atmosférica (P) fue mayor en la época lluviosa y la iluminación fue mayor en la época lluviosa con diferencia significativa (p<0.05) con respecto a la época seca (Tabla 3).

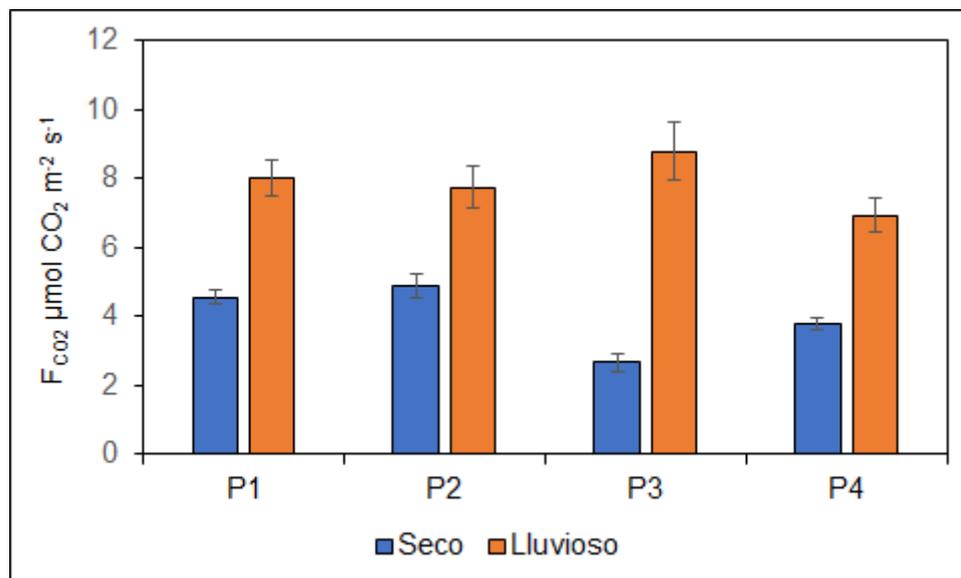
**Tabla 03:** Temperatura del aire (Tar), Velocidad del viento (Vv), presión atmosférica e iluminación en los sitios estudiados. Letras diferentes indican diferencias significativas por la prueba de Tukey ( $p < 0.05$ ). Los números representan (media  $\pm$  desviación estándar).

Época	Tar (°C)	Vv (m/s)	Presión (hPa)	Iluminación (Lux)
	Media $\pm$ D.E	Media $\pm$ D.E	Media $\pm$ D.E	Media $\pm$ D.E
28/07/2022	17.68 $\pm$ 1.04	2.78 $\pm$ 0.94	601.33 $\pm$ 0.91	3814.75 $\pm$ 1028.77
29/07/2022	16.78 $\pm$ 0.71	3.15 $\pm$ 0.99	601.98 $\pm$ 0.37	3622.5 $\pm$ 938.36
30/07/2022	15.87 $\pm$ 3.2	1.5 $\pm$ 0.93	602.68 $\pm$ 0.92	2576.5 $\pm$ 1283
31/07/2022	18.73 $\pm$ 1.05	4.55 $\pm$ 1	601.43 $\pm$ 0.25	4925.25 $\pm$ 601.75
<b>Seco</b>	<b>17.11 <math>\pm</math> 2.18<sup>a</sup></b>	<b>2.83 <math>\pm</math> 1.45<sup>a</sup></b>	<b>601.94 <math>\pm</math> 0.88<sup>a</sup></b>	<b>3606.06 <math>\pm</math> 1297.73<sup>b</sup></b>
09/01/2023	18.83 $\pm$ 0.48	1.33 $\pm$ 0.96	601.48 $\pm$ 0.28	26655.5 $\pm$ 4516.32
10/01/2023	16.05 $\pm$ 0.55	4.48 $\pm$ 1.25	603.1 $\pm$ 1.23	54612 $\pm$ 0.00
11/01/2023	12.63 $\pm$ 0.5	3.83 $\pm$ 1.84	602.88 $\pm$ 0.46	16106.5 $\pm$ 2674.73
12/01/2023	19.38 $\pm$ 0.92	0.95 $\pm$ 0.96	602.58 $\pm$ 0.81	23486 $\pm$ 17031.35
<b>Lluvioso</b>	<b>16.72 <math>\pm</math> 2.82<sup>a</sup></b>	<b>2.64 <math>\pm</math> 1.96<sup>a</sup></b>	<b>602.51 <math>\pm</math> 0.95<sup>a</sup></b>	<b>30215 <math>\pm</math> 17052.28<sup>a</sup></b>

#### 4.2 Evaluar la diferencia del flujo de CO<sub>2</sub> del suelo en diferentes puntos de muestreo en suelos del bofedal del sector Pampa Uta.

Analizando el flujo de CO<sub>2</sub> influenciado por los diferentes puntos de muestreo, en la época seca el mayor flujo medio de CO<sub>2</sub> foi en el punto 2 (P2) de 4.88  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  y el menor valor de 2.65  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  en el punto 3, con diferencia significativa ( $p < 0.001$ ) de los P1, P2, P4 y P3 (Figura 6). Por otro lado, en la época lluviosa el flujo de

CO<sub>2</sub> fue mayor en el P3 y el menor en el P4, sin diferencia significativa entre los diferentes puntos de muestreo en esta época (Figura 6).



**Figura 06:** Flujo de CO<sub>2</sub> (μmol CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>) del suelo en bofedal altoandino en los diferentes puntos de muestreo (P1, P2, P3 y P4). Las barras representan (media ± desviación estándar). Letras mayúsculas diferentes indican diferencias significativas por la prueba de Tukey (p<0.05) para la época seca y letras minúsculas diferentes indican diferencias significativas por la prueba de Tukey (p<0.05) para la época lluviosa.

La emisión de CO<sub>2</sub> del suelo, con rango de variación en la dependencia espacial debido a la época climática, con mayor flujo de CO<sub>2</sub> en época lluviosa (Silva et al., 2019). La humedad y la temperatura del suelo, que tienen una influencia directa en la actividad microbiana, pudiendo explicar el mayor flujo de CO<sub>2</sub> del suelo en época lluviosa en bofedales altoandinos.

En los puntos de muestreo, el pH fue mayor en la época seca, siendo estadísticamente significativo (p<0.05) con respecto a la época lluviosa, la humedad del suelo (Hs) fue estadísticamente significativo (p<0.05) entre época seca y lluviosa, con mayor humedad en la época lluviosa, el carbono orgánico del suelo (COS) y materia orgánica del suelo (MOS) sin diferencias significativas, sin embargo el COS y MOS fue mayor en la época

lluviosa y la altura del agua fue estadísticamente significativo ( $p < 0.05$ ) entre la época seca y lluviosa (Tabla 4).

**Tabla 04:** Potencial de hidrógeno (pH), humedad del suelo (Hs), carbono orgánico del suelo (COS), materia orgánica del suelo (MOS), biomasa de raíces (BR) y altura del agua (Altura H<sub>2</sub>O) en los sitios estudiados. Letras diferentes indican diferencias significativas por la prueba de Tukey ( $p < 0.05$ ).

Punto	pH	Hs	COS	MOS	BR	Altura H <sub>2</sub> O
		%	%	%	%	cm
P1	7	82.45	10.05	17.33	20.91	22.6
P2	6.85	82.11	10.99	18.95	19.32	22.1
P3	6.93	81.87	28.34	48.86	11.43	23.88
P4	6.75	81.35	11.71	20.19	15.28	21.45
<b>Seco</b>	<b>6.88 ± 0.27<sup>a</sup></b>	<b>81.95 ± 0.46<sup>b</sup></b>	<b>15.27 ± 8.74<sup>a</sup></b>	<b>26.33 ± 15.06<sup>a</sup></b>	<b>16.74 ± 4.26</b>	<b>22.51 ± 1.10<sup>a</sup></b>
P1	5.93	84.5	12.16	20.96	18.90	8.18
P2	6.54	84.14	11.98	20.65	18.11	6.38
P3	6.04	82.87	30.54	52.65	14.56	8.58
P4	6.28	83.32	13.84	23.86	16.42	7.33
<b>Lluvi oso</b>	<b>6.19 ± 0.81<sup>b</sup></b>	<b>83.71 ± 0.75<sup>a</sup></b>	<b>17.13 ± 8.98<sup>a</sup></b>	<b>29.53 ± 15.48<sup>a</sup></b>	<b>17.00 ± 1.93</b>	<b>7.61 ± 1.23<sup>b</sup></b>

El contenido de MOS varía desde menos del 1 % en suelos arenosos y desérticos hasta el 4 % en los primeros 15 cm de suelos agrícolas minerales y más del 50 % en suelos orgánicos (Ayala et al., 2018). La MOS en los primeros 10 cm en el bofedal del sector Pampa Uta fue de 28% en promedio en las dos épocas climáticas.

En un bofedal natural en Huarochirí - Lima, la humedad del suelo fue de 48.5 % a 92.29 % (Baldoceada et al., 2021), la HS en el presente estudio está dentro del rango reportado en bofedales de Arequipa.

En bofedales altoandinos ubicado en el distrito de Mazocruz, provincia El Collao, región de Puno entre 4278 y 4316 msnm a una profundidad de 0-20 cm fueron: 2.0, 5.90 y 96.06%, en un bofedal natural en Huarochirí - Lima, reportaron valores entre 1,07 % a 49,12 % de MOS (Baldoceada et al., 2021), en bofedales de Arequipa en profundidad de 0 - 14 cm fue de 39.52% ubicado a 4285 msnm, bofedales estudiados en Ancash en profundidad de 0 - 10 cm fue de 26.5% y de 0 - 15 fue 36% ubicado a 3991 msnm (León, 2016).

El pH en el bofedal del sector Pampa Uta es relativamente ácido con valor promedio de 6.5. En bofedales ubicado en Mazocruz, El Collao el pH es muy ácido (5.11 a 5.16), lo que reduce la actividad microbiana y favorece a los hongos, frenando la tasa de mineralización y permitiendo la acumulación de materia orgánica (León, 2016).

#### **4.3 Relacionar el flujo de CO<sub>2</sub> con la temperatura, humedad de los suelos, pH, materia orgánica y altura de agua en el bofedal del sector Pampa Uta.**

Los valores más altos de flujo de CO<sub>2</sub> se observaron en el primer y cuarto día de muestreo (época seca) y durante el primer y segundo día de muestreo (época lluviosa), coincidiendo con los días en que se presentaron las temperaturas más altas.

Durante el período de evaluación, los flujos de CO<sub>2</sub> mostraron una correlación positiva y significativa ( $P < 0.05$ ) con la temperatura del suelo (Ts), humedad del suelo (Hs) y la altura del agua (Tabla 5). Por otro lado, una correlación negativa significativa con el pH y sin ninguna correlación con la materia orgánica del suelo (MOS) (Tabla 5).

**Tabla 05:** Coeficientes de correlación de Pearson entre las variables flujo de CO<sub>2</sub> del suelo, temperatura del suelo (Ts), humedad del suelo (Hs), potencial de hidrógeno (pH), materia orgánica del suelo (MOS) y altura del agua (Altura H<sub>2</sub>O).

Variables	Ts	Hs	pH	MOS	Altura H <sub>2</sub> O
CO <sub>2</sub>	<b>0.62**</b>	<b>0.55**</b>	-0.48**	0.03 <sup>NS</sup>	<b>0.62**</b>
Ts		0.72**	-0.48**	0.04 <sup>NS</sup>	0.76**
Hs			-0.40**	-0.18*	0.83**
pH				-0.11 <sup>NS</sup>	-0.49**
MOS					0.20**

NS = no significativo; nivel de significancia: \* p<0.05 y \*\* p<0.01

En suelos de la Patagonia, un estudio mostró una correlación positiva ( $r = 0.85$ ) entre la Ts y los flujos de CO<sub>2</sub> (Sá et al., 2019). Otro estudio indica que el flujo de CO<sub>2</sub> del suelo presenta correlaciones significativas positivas con la temperatura del suelo y la temperatura ambiente (Lopera, 2019). El aumento de la temperatura incrementa la producción de gases de efecto invernadero en especial el CO<sub>2</sub> (Mamani, 2017). Según Urrutia (2017) menciona que el contenido de agua en el suelo es el principal predictor de los flujos de CO<sub>2</sub>. La humedad del suelo aumenta la actividad microbiana (Silva et al., 2019). En este estudio, la temperatura y la humedad del suelo también fueron las variables que ejercieron un mayor control sobre el flujo de CO<sub>2</sub> del suelo en las dos épocas climáticas evaluadas, determinando su variación en el tiempo y los puntos de muestreo.

Estudios recientes mencionan que en escenario de aumento de la temperatura podría conducir a un cambio en el equilibrio entre las emisiones y los flujos gases desde el suelo, lo que conduciría a niveles más altos de emisiones de CO<sub>2</sub> (Sá et al., 2019).

Estudio realizado en los andes centrales del Perú, indica que las turberas no drenadas son sumideros de carbono, por otro lado, las turberas altamente drenadas se comportan como fuentes de carbono (Planas-Clarke et al., 2020).

**4.4 Determinar la relación entre el flujo de CO<sub>2</sub> del suelo con las variables atmosféricas (temperatura del aire, humedad relativa, presión atmosférica y velocidad del viento) en el bofedal del sector Pampa Uta.**

La temperatura del aire (Tar), humedad relativa del aire (HR) e iluminación presentó una correlación positiva significativa (P<0.05) en las dos épocas evaluadas con el flujo de CO<sub>2</sub> (Tabla 6). La velocidad del viento (Vv) y presión atmosférica no presentó correlación con los flujos de CO<sub>2</sub> medidos en suelos de bofedales altoandinos.

**Tabla 06:** Coeficientes de correlación de Pearson entre las variables flujo de CO<sub>2</sub> del suelo, Temperatura del aire (Tar), humedad relativa (HR), velocidad del viento (Vv), presión atmosférica e iluminación.

Variables	Tar	HR	Vv	Presión	Iluminación
CO <sub>2</sub>	0.16*	<b>0.42**</b>	-0.09 <sup>NS</sup>	-0.04 <sup>NS</sup>	<b>0.53**</b>
Tar		-0.44**	-0.22**	-0.21**	0.05 <sup>NS</sup>
HR			0.12 <sup>NS</sup>	0.11 <sup>NS</sup>	0.66**
Vv				-0.03 <sup>NS</sup>	0.14 <sup>NS</sup>
Presión					-0.11 <sup>NS</sup>

NS = no significativo; nivel de significancia: \* p<0.05 y \*\* p<0.01

En un estudio en Colombia reportaron correlaciones significativas entre la humedad relativa y la temperatura ambiente (Lopera, 2019), siendo concordante con el presente estudio en suelo de bofedales.

## CONCLUSIONES

**PRIMERA:** La emisión media de CO<sub>2</sub> del suelo en el bofedal altoandino osciló entre 0.12 y 9.80 μmol CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup> con promedio de 3.97 ± 1.57 μmol CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>. en la época seca. En la época lluviosa, fue entre 1.24 y 21.47 μmol CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup> con promedio de 7.87 ± 3.06 μmol CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup>. Los flujos de CO<sub>2</sub> del suelo fueron impulsados por la estacionalidad climática, por lo tanto, se acepta hipótesis nula.

**SEGUNDA:** El flujo de CO<sub>2</sub> del suelo de bofedales, en esta época existe diferencia significativa entre los diferentes puntos de muestreo y en época lluviosa sin diferencias significativas. Con mayor flujo de CO<sub>2</sub> en época lluviosa, por lo tanto, se acepta hipótesis nula para época seca y se rechaza para época lluviosa.

**TERCERA:** La temperatura y humedad del suelo, la altura del agua mostraron relaciones positivas con el flujo de CO<sub>2</sub>, pero una relación negativa con el pH. Indicando que la Ts, Hs y altura de agua son los principales conductores de emisión de CO<sub>2</sub> de suelos de bofedales altoandinos. Así mismo, en escenarios de aumento de temperatura y reducción de humedad del suelo podría ocasionar mayores emisiones de CO<sub>2</sub> en estos ecosistemas altoandinos, por lo tanto, se acepta hipótesis nula.

**CUARTA:** La variable atmosférica ambiental con mayor relación es la humedad relativa del aire e iluminación que influye en el flujo de CO<sub>2</sub>, la velocidad del viento y presión atmosférica no influyen en el flujo de CO<sub>2</sub>, por lo tanto, se acepta la hipótesis nula para las variables HR y iluminación.

## RECOMENDACIONES

**PRIMERA:** A las autoridades de gobierno regional, realizar estudios adicionales para determinar la cantidad de carbono almacenado en las partes aéreas y subterráneas de cada especie de planta, pues existe la influencia de la estación climática en el flujo de  $\text{CO}_2$ , el cual contribuye el carbono al suelo.

**SEGUNDA:** Al gobierno municipal del distrito de Capaso y funcionarios, evaluar otros bofedales altoandinos para determinar el flujo de carbono en estos ecosistemas y determinar la dinámica de  $\text{CO}_2$ .

**TERCERA:** A los investigadores, evaluar otras variables que afectan la respiración del suelo, como la tasa de descomposición, la producción de raíces, las especies, la macro y la microfauna y continuar con el monitoreo en otros bofedales, el cual es fundamental para sacar conclusiones más definitivas sobre la dinámica del carbono.

**CUARTA:** A los pobladores del distrito de Capaso, comprender la importancia de la conservación de este tipo de ecosistemas que presentan variables atmosféricas ambientales con un grados de perturbación que presentan estos ecosistemas y relacionar con los flujos de  $\text{CO}_2$ .

## BIBLIOGRAFÍA

- Abreu, F. S. (2017). *Taxas de fluxo de CO2 do solo de diferentes clones de Eucalyptus spp. Sob dois níveis de disponibilidade hídrica e sua relação com a produtividade, no município de Otacílio Costa—SC* [Tese graduação, Universidade Federal de Santa Catarina]. <https://repositorio.ufsc.br/xmlui/handle/123456789/178595>
- Acosta, R., Roberti, D. R., Rubert, G. C. D., Diaz, M. B., Cely, I., & Moraes, O. (2018). Uma análise da sazonalidade dos fluxos superficiais de energia e carbono em um ecossistema de campos nativos inserido no bioma Pampa. *Ciência e Natura*, 40, 132. <https://doi.org/10.5902/2179460X30722>
- Anderson, E., Marengo, J., Villalba, R., Halloy, S., Young, B., Cordero, D., Gast, F., Jaimes, E., & Ruiz, D. (2012). *Consecuencias del cambio climático en los ecosistemas y servicios ecosistémicos de los Andes Tropicales*. 426, 22.
- Ayala, F., Maya, Y., & Troyo, E. (2018). Almacenamiento y flujo de carbono en suelos áridos como servicio ambiental: Un ejemplo en el noroeste de México. *REVISTA TERRA LATINOAMERICANA*, 36(2), 93. <https://doi.org/10.28940/terra.v36i2.334>
- Baldoceda, Á., Maldonado, M., & Alcántara, F. (2021). Análisis del porcentaje de humedad, materia orgánica y porosidad del suelo de dos tipos de bofedales. *Ciencia & Desarrollo*, 20(2), Art. 2. <https://doi.org/10.33326/26176033.2021.2.1204>
- Díaz, M. A. (2018). *Flujos de CO2 y CH4 en suelos de matorrales y bosques esclerófilos en la Reserva Nacional Roblería del Cobre de Loncha, Región Metropolitana* [Tesis Pregrado, Universidad de Chile]. <http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/152404>
- Flores, E., Tacuna, R., & Clavo, V. (2014). *Marco conceptual y metodológico para estimar el estado de salud de los bofedales* (Nota Técnica N° 9; Notas Técnicas sobre Cambio Climático, p. 16). Laboratorio de Ecología y Utilización de Pastizales, Universidad Nacional Agraria La Molina. <http://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/UNALM/2408/Q02-R459-T.pdf?sequence=1>

- Fonseca, L. C. N. da, Araújo, A. C. de, Manzi, A. O., Carvalho, C. J. R. de, & Oliveira, L. R. de. (2018). Fluxos de CO<sub>2</sub> em Plantio de Palma de Óleo no Leste da Amazônia. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 33(1), 181–192. <https://doi.org/10.1590/0102-7786331003>
- Forest Trends. (2020). Infografía Bofedales. *Forest Trends*. <https://www.forest-trends.org/publications/infografia-bofedales/>
- Frank, D., Reichstein, M., Bahn, M., Thonicke, K., Frank, D., Mahecha, M. D., Smith, P., Velde, M., Vicca, S., Babst, F., Beer, C., Buchmann, N., Canadell, J. G., Ciais, P., Cramer, W., Ibrom, A., Miglietta, F., Poulter, B., Rammig, A., ... Zscheischler, J. (2015). Effects of climate extremes on the terrestrial carbon cycle: Concepts, processes and potential future impacts. *Global Change Biology*, 21(8), 2861–2880. <https://doi.org/10.1111/gcb.12916>
- Freitas, J. F. B. de. (2010). *Estoques e fluxos de carbono em plantações florestais jovens de Acacia mangium e Schizolobium parahyba var. Amazonicum na Amazônia Oriental* [Tesis de Maestria, Universidade Federal do Pará]. <http://repositorio.ufpa.br:8080/jspui/handle/2011/6844>
- Gobierno del Perú. (1993). *Constitución Política del Perú*. <https://www.gob.pe/institucion/presidencia/informes-publicaciones/196158-constitucion-politica-del-peru>
- Grassi, G., House, J., Dentener, F., Federici, S., den Elzen, M., & Penman, J. (2017). The key role of forests in meeting climate targets requires science for credible mitigation. *Nature Climate Change*, 7(3), Art. 3. <https://doi.org/10.1038/nclimate3227>
- Holdridge, L. (1978). *Ecología basada en zonas de vida* (Vol. 34). Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas. <https://repositorio.iica.int/handle/11324/7936>
- Honorio, E. N., & Baker, T. R. (2010). *Manual para el monitoreo del ciclo del carbono en bosques amazónicos*. Instituto de Investigaciones de la Amazonia Peruana. <https://repositorio.iiap.gob.pe/handle/20.500.12921/290>

- Interativa, Q. N. (2019). *Ciclo do Carbono*.  
<http://www.repositorio.ppec.ueg.br:8080/handle/123456789/41>
- IPCC. (2007). *Climate change 2007: The physical science basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (p. 996) [Report]. Cambridge University Press.
- IPCC. (2014). *Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (p. 151).
- Iram, N., Kavehei, E., Maher, D. T., Bunn, S. E., Rezaei Rashti, M., Farahani, B. S., & Adame, M. F. (2021). Soil greenhouse gas fluxes from tropical coastal wetlands and alternative agricultural land uses. *Biogeosciences*, 18(18), 5085–5096.  
<https://doi.org/10.5194/bg-18-5085-2021>
- Kalra, Y. P., & Maynard, D. G. (1991). *Methods manual for forest soil and plant analysis* (Vol. 319E). Information Report NOR-X-319E.  
<http://scf.rncan.gc.ca/publications?id=11845>
- Lent, J., Hergoualc'h, K., Verchot, L., Oenema, O., & van Groenigen, J. W. (2019). Greenhouse gas emissions along a peat swamp forest degradation gradient in the Peruvian Amazon: Soil moisture and palm roots effects. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 24(4), 625–643.  
<https://doi.org/10.1007/s11027-018-9796-x>
- León, A. Y. (2016). *Reserva de carbono en bofedales y su relación con la florística y condición del pastizal* [Tesis de Postgrado, Universidad Agraria La Molina].  
<http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/20.500.12996/2749>
- Ley General del Ambiente. (2005). *Ley N° 28611* [Text]. SINIA | Sistema Nacional de Información Ambiental. <https://sinia.minam.gob.pe/normas/ley-general-ambiente>
- Lopera, M. C. (2019). Flujo de CO<sub>2</sub> del suelo bajo diferentes coberturas de la Reserva Forestal Protectora Bosque Oriental de Bogotá. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 43(167), 234.

<https://doi.org/10.18257/raccefyn.823>

Mamani, D. M., & Mamani, H. O. (2019). *Determinación del secuestro de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) en el suelo mediante sumideros de carbono: Puyas de Raimondi (Puya raimondii Harms), Pajonal con Chillihuales y Bofedal, en el distrito de Putina – Puno, 2018* [Tesis Pregrado, Universidad Peruana Unión]. <https://repositorio.upeu.edu.pe/handle/20.500.12840/2181>

Mamani, R. (2017). *Estimación de factores de emisión de gases de efecto invernadero en la bahía interior de Puno* [Tesis de Postgrado, Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco]. <http://repositorio.unsaac.edu.pe/handle/UNSAAC/2845>

Mendoza, R. B., & Espinoza, A. (2017). *Guía técnica para muestreo de suelos*. <https://repositorio.una.edu.ni/3613/>

Metcalfe, D. B., Meir, P., Aragão, L. E. O. C., Malhi, Y., da Costa, A. C. L., Braga, A., Gonçalves, P. H. L., de Athaydes, J., de Almeida, S. S., & Williams, M. (2007). Factors controlling spatio-temporal variation in carbon dioxide efflux from surface litter, roots, and soil organic matter at four rain forest sites in the eastern Amazon. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*, 112(G4). <https://doi.org/10.1029/2007JG000443>

MINAM. (2010). *Mapa de humedales del Perú* [Map]. Mapa Forestal del Perú. <https://sinia.minam.gob.pe/mapas/mapa-humedales-peru-2010>

MINAM. (2014). *Guía para el muestreo de suelos*. MAVET IMPRESIONES E.I.R.L. <https://www.minam.gob.pe/calidadambiental/wp-content/uploads/sites/22/2013/10/GUIA-PARA-EL-MUESTREO-DE-SUELOS-final.pdf>

MINAM. (2015). *Estrategia Nacional de Humedales*. Dirección General de Diversidad Biológica. <https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2015/01/Anexo-Decreto-Supremo-N-004-2015-MINAM2.pdf>

MINAM. (2019a). *Guía de evaluación del estado del ecosistema de bofedal*. <https://sinia.minam.gob.pe/documentos/guia-evaluacion-estado-ecosistema-bofed>

al

MINAM. (2019b). *Mapa Nacional de Ecosistemas del Perú: Memoria descriptiva*.  
Ministerio del Ambiente.

<https://sinia.minam.gob.pe/mapas/mapa-nacional-ecosistemas-peru>

MINAM. (2021). *Decreto Supremo N.° 006-2021-MINAM: Disposiciones generales para la gestión multisectorial y descentralizada de los humedales*.

<https://www.gob.pe/institucion/minam/normas-legales/1896029-006-2021-minam>

Miñano, E. V., Baker, T. R., Banda-R, K., Coronado, E. H., Monteagudo, A., Phillips, O. L., Torres, D. D. C., Rios, W. F., Flores, G., Huaman, D., Huaman, K. T., Pizango, G. H., Aleman, E. L., Melo, J. B., Pickavance, G. C., Rios, M., Rojas, M., Salinas, N., & Martinez, R. V. (2018). El sumidero de carbono en los bosques primarios amazónicos es una oportunidad para lograr la sostenibilidad de su conservación.

*Folia Amazónica*, 27(1), Art. 1. <https://doi.org/10.24841/fa.v27i1.456>

Pinto-Junior, O. B., Sanches, L., Dalmolin, A. C., & Nogueira, J. S. de. (2009). Eflujo de CO<sub>2</sub> do solo em floresta de transição Amazônia Cerrado e em área de pastagem.

*Acta Amazonica*, 39, 813–821.

<https://doi.org/10.1590/S0044-59672009000400009>

Planas-Clarke, A. M., Chimner, R. A., Hribljan, J. A., Lilleskov, E. A., & Fuentealba, B. (2020). The effect of water table levels and short-term ditch restoration on mountain peatland carbon cycling in the Cordillera Blanca, Peru.

*Wetlands Ecology and Management*, 28(1), 51–69.

<https://doi.org/10.1007/s11273-019-09694-z>

Porlles, M. A. (2011). *Flujo y stock de carbono de suelos en tres tipos de bosques de la amazonía peruana Jenaro Herrera—Loreto* [Tesis Pregrado, Universidad Agraria La Molina]. <http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/UNALM/1655>

PP-Systems. (2010). *Pp systems EGM-4 Manuals | ManualsLib*.

<https://www.manualslib.com/products/Pp-Systems-Egm-4-9049787.html>

Quispe, G. B. (2015). Efectos del cambio climático en la agricultura de la cuenca Ramis,

- Puno-Perú. *Revista Investigaciones Altoandinas*, 17(1), 47–52.  
<https://doi.org/10.18271/ria.2015.77>
- Ramsar. (2005). *Estrategia Regional de Conservación y Uso Sostenible de los Humedales Altoandinos* (Nº 26; Convención Kampala). Ramsar COP9 DOC.  
[http://archive.ramsar.org/pdf/cop9/cop9\\_doc26\\_s.pdf](http://archive.ramsar.org/pdf/cop9/cop9_doc26_s.pdf)
- Rojas-García, F., Santoyo-Gómez, G. H., González-Montiel, E., & Velázquez, A. (2017). *La ciencia del suelo en el ciclo del carbono de México*. 28.
- Rugnitz, M. T., Chacón, M. L., & Porro, R. (2009). *Guía para la Determinación de Carbono en Pequeñas Propiedades Rurales* (1º ed). Centro Mundial Agroflorestal (ICRAF) / Consórcio Iniciativa Amazônica (IA).
- Sá, M. M. F., Schaefer, C. E. G. R., Loureiro, D. C., Simas, F. N. B., Alves, B. J. R., de Sá Mendonça, E., de Figueiredo, E. B., La Scala, N., & Panosso, A. R. (2019). Fluxes of CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, and N<sub>2</sub>O in tundra-covered and Nothofagus forest soils in the Argentinian Patagonia. *Science of The Total Environment*, 659, 401–409.  
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.12.328>
- Sanabria, J., Marengo, J., & Valverde, M. (2009). Escenarios de Cambio Climático con modelos regionales sobre el Altiplano Peruano (Departamento de Puno). *Revista Peruana Geo-Atmosférica RPGA*, 1, 134–149.
- Silva, D. A. P. da, Campos, M. C. C., Mantovanelli, B. C., Santos, L. A. C. dos, Soares, M. D. R., & Cunha, J. M. da. (2019). Variabilidade espacial da emissão de CO<sub>2</sub>, temperatura e umidade do solo em área de pastagem na região Amazônica, Brasil. *Revista de Ciências Agroveterinárias*, 18(1), Art. 1.  
<https://doi.org/10.5965/223811711812019119>
- Simon, C., Vitória, E., Lacerda, E., Avancini, Y., Rodrigues, T., & Simon, C. (2019). Emissão de CO<sub>2</sub>, atributos físicos e carbono orgânico total em diferentes sistemas de preparo do solo. *Nativa*, 7(5), 494–499.  
<https://doi.org/10.31413/nativa.v7i5.6273>
- Striegl, R. G., Dornblaser, M. M., McDonald, C. P., Rover, J. R., & Stets, E. G. (2012).

Carbon dioxide and methane emissions from the Yukon River system. *Global Biogeochemical Cycles*, 26(4), 1–11. <https://doi.org/10.1029/2012GB004306>

Urrutia, P. (2017). *Estimación de flujos de gases de efecto invernadero en suelos de un bosque y una turbera antropogénica en la Comuna de Ancud, Chiloé* [Tesis de Pre grado, Universidad de Chile]. <http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/150961>

Walkley, A., & Black, I. A. (1934). An examination of the degtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science*, 37(1), 29–38.

**ANEXOS**



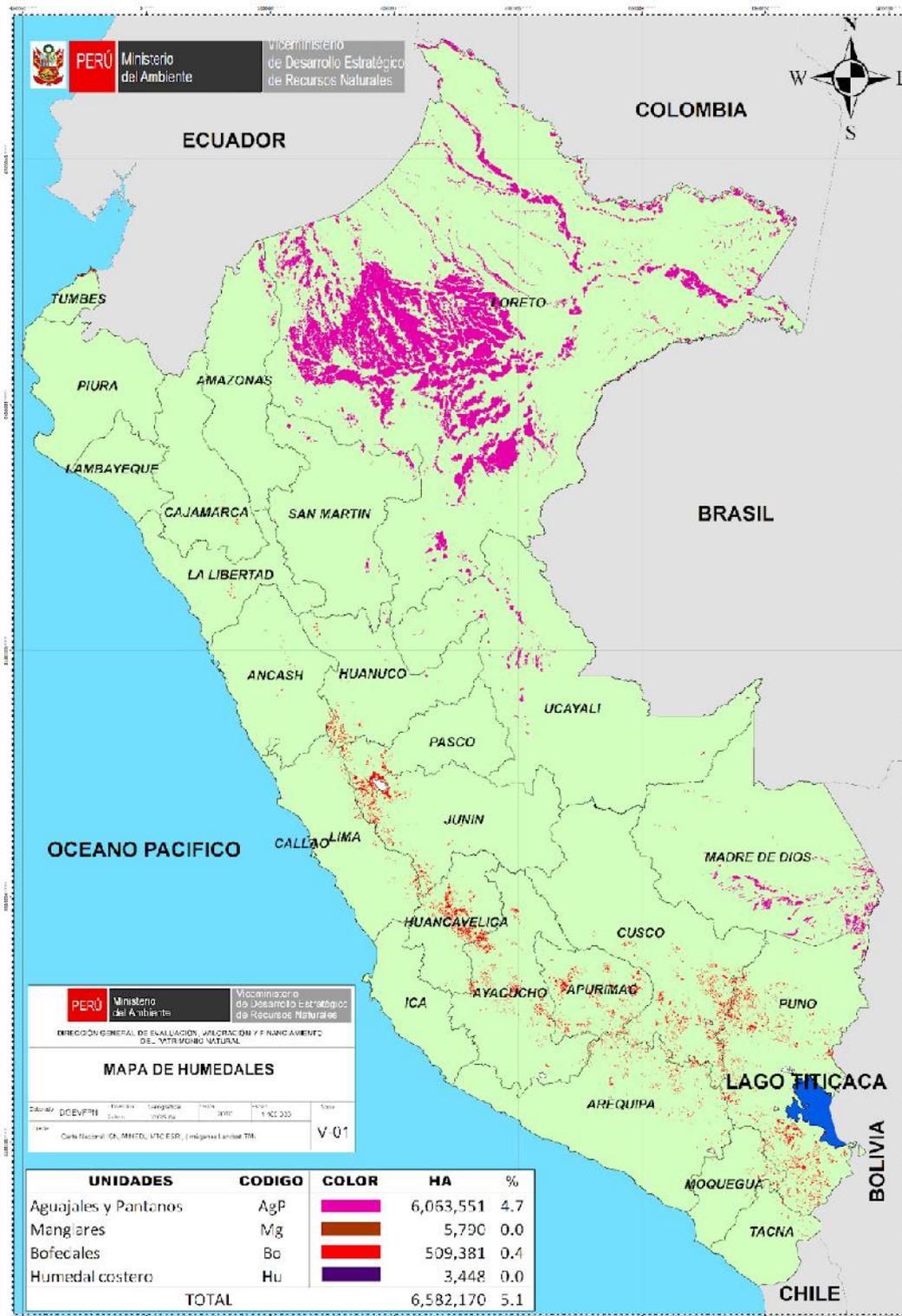
Anexo 01: MATRIZ DE CONSISTENCIA.

FLUJO DE DIÓXIDO DE CARBONO DEL SUELO EN EL BOFEDAL DEL SECTOR PAMPA UTA, EN EL DISTRITO DE CAPASO - EL COLLAO, 2022

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	INDICADORES	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS	METODOLOGÍA
<p><b>GENERAL</b> ¿Cuánto será el flujo de CO<sub>2</sub> del suelo en el bofedal del sector Pampa Uta, en el distrito de Capaso - El Collao, 2022?</p> <p><b>ESPECÍFICOS</b> ¿Cómo influye la estación climática en la época lluviosa y seca en el flujo de CO<sub>2</sub> por la respiración total del suelo?</p> <p>¿Existirá diferencia de flujo de CO<sub>2</sub> del suelo en los diferentes puntos de muestreo en suelos del bofedal</p>	<p><b>GENERAL</b> Determinar el flujo de CO<sub>2</sub> del suelo en el bofedal del sector Pampa Uta, en el distrito de Capaso - El Collao, 2022</p> <p><b>ESPECÍFICOS</b> Determinar la influencia de la estación climática en el flujo de CO<sub>2</sub> por la respiración total del suelo en época lluviosa y seca.</p> <p>Evaluar la diferencia del flujo de CO<sub>2</sub> del suelo en diferentes puntos de muestreo en suelos del bofedal del sector Pampa Uta.</p>	<p><b>GENERAL</b> El flujo de CO<sub>2</sub> del suelo del bofedal del sector Pampa Uta es alto, en el distrito de Capaso - El Collao, 2022 se comporta como fuente de CO<sub>2</sub> para la atmósfera</p> <p><b>ESPECÍFICOS</b> El flujo de CO<sub>2</sub> del suelo del bofedal del sector Pampa Uta es alto es influenciado por la estación climática en época lluviosa y seca.</p> <p>Existe diferencia de los flujos de CO<sub>2</sub> entre los puntos de muestreo en suelos del bofedal del sector pampa Uta.</p>	<p><b>Independiente:</b> Suelo en el bofedal del sector Pampa Uta</p> <p><b>Dependiente:</b> Flujo de CO<sub>2</sub></p>	<p>Estación climática. Diferencia de flujo de CO<sub>2</sub> Temperatura, Humedad de los suelos, pH, materia orgánica y altura de agua. Variables atmosféricas (Temperatura del aire, humedad relativa, presión atmosférica y velocidad del viento).  En g m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>  Captura o emisión de CO<sub>2</sub></p>	<p><b>Técnica:</b> Medición directa en campo.  <b>Instrumento:</b> Cámara dinámica cerrada de respiración (SRC-1, PP Systems, USA) conectado a un sensor infrarrojo (IRGA) (EGM-4, PP Systems, USA).</p>	<p><b>POBLACIÓN:</b> Bofedal del sector Pampa Uta en el distrito de Capaso está conformada por 34 ha.  <b>MUESTRA:</b> cuatro (04) puntos y seis (06) repeticiones por punto de medición  <b>Tipo de investigación:</b> No experimental  <b>Diseño de investigación:</b> Descriptivo correlacional  <b>Método:</b> Deductivo  <b>Materiales:</b> Libreta de campo Bolsa de plástico</p>

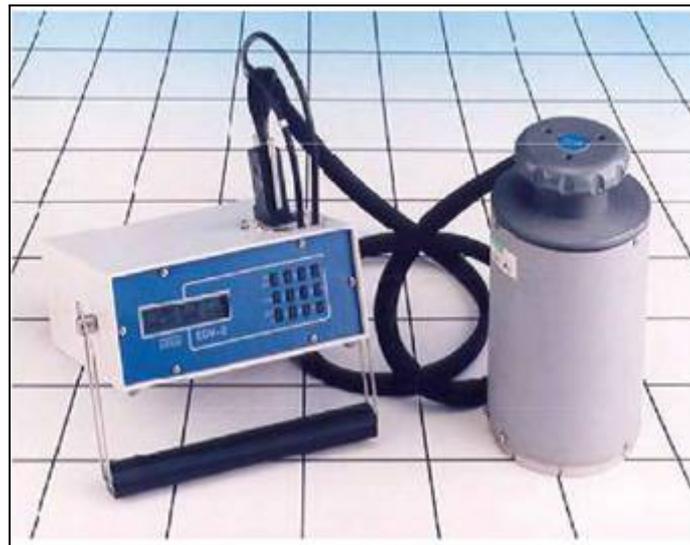
<p>del sector Pampa Uta?</p> <p>¿Cómo el flujo de CO<sub>2</sub> se relaciona con la temperatura, humedad de los suelos, pH, materia orgánica y altura de agua en el bofedal del sector Pampa Uta?</p> <p>¿Existe relación entre el flujo de CO<sub>2</sub> del suelo con la temperatura del aire, humedad relativa, presión atmosférica y velocidad del viento en el bofedal del sector Pampa Uta?</p>	<p>Relacionar el flujo de CO<sub>2</sub> con la temperatura, humedad de los suelos, pH, materia orgánica y altura de agua en el bofedal del sector Pampa Uta.</p> <p>Determinar la relación entre el flujo de CO<sub>2</sub> del suelo con las variables atmosféricas (temperatura del aire, humedad relativa, presión atmosférica y velocidad del viento) en el bofedal del sector Pampa Uta.</p>	<p>La temperatura, humedad de los suelos, pH, materia orgánica y altura de agua influyen en el flujo de CO<sub>2</sub> en los suelos del bofedal del sector Pampa Uta.</p> <p>Existe relación entre el flujo de CO<sub>2</sub> del suelo con las variables atmosféricas (temperatura del aire, humedad relativa, presión atmosférica y velocidad del viento) en el bofedal del sector Pampa Uta</p>				<p>Tecnopor para muestras Termómetro Anemómetro GPS Analizador de gases EGM-4 y cámara SCR-1 Wincha de 5 m. Barreno tipo copo Análisis de Laboratorio (suelo)</p>
---	--	---	--	--	--	---

Anexo 02: Extensión de humedales (bofedales) en el Perú



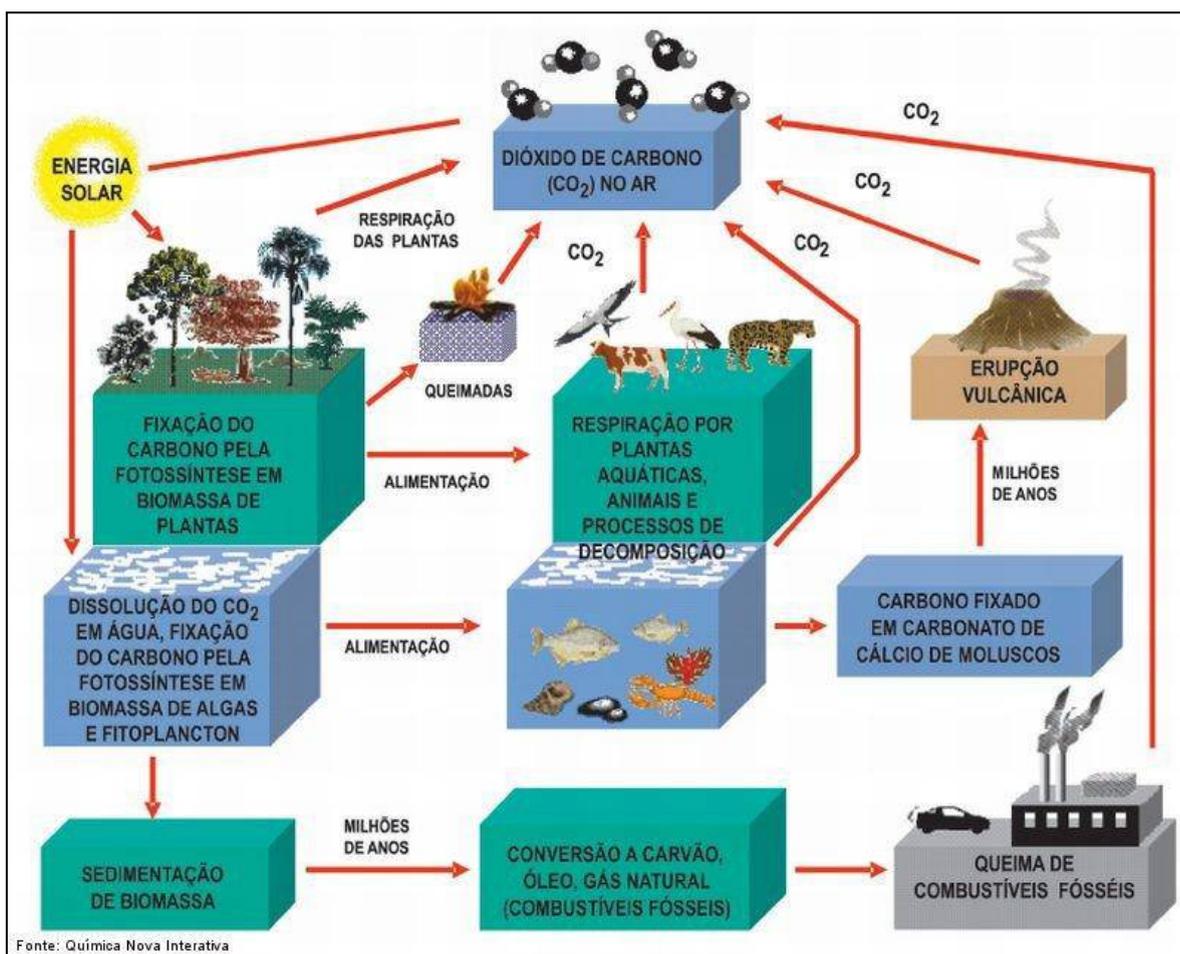
Fuente: (MINAM, 2010)

Anexo 03: Analizador de Gases Infrarrojos EGM-4 (PP-System -Hitchin, UK)



Fuente: [www.ppsystems.com](http://www.ppsystems.com)

Anexo 04: Ciclo del carbono



Fuente: (Interativa, 2019)

**Anexo 05: Análisis estadísticos**

**Análisis de la varianza**

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
FCO2_Just	192	0,39	0,39	41,17

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)**

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	731,92	1	731,92	123,33	<0,0001
Época	731,92	1	731,92	123,33	<0,0001
Error	1127,62	190	5,93		
Total	1859,54	191			

**Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=0,69001**

Error: 5,9348 gl: 190

Época	Medias	n	E.E.	
2	7,87	96	0,25	A
1	3,97	96	0,25	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

**Análisis de la varianza**

Época	Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
1	FCO2_Just	96	0,30	0,28	33,78

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)**

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	70,16	3	23,39	13,04	<0,0001
Punto	70,16	3	23,39	13,04	<0,0001
Error	165,06	92	1,79		
Total	235,21	95			

**Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=1,01174**

Error: 1,7941 gl: 92

Punto	Medias	n	E.E.	
2	4,88	24	0,27	A
1	4,54	24	0,27	A B

4	3,78	24	0,27	B
3	2,65	24	0,27	C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )

Época	Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Ajustado	CV
2	FCO2_Just	96	0,05	0,02	38,62

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)**

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	42,62	3	14,21	1,54	0,2099
Punto	42,62	3	14,21	1,54	0,2099
Error	849,78	92	9,24		
Total	892,40	95			

**Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=2,29566**

Error: 9,2367 gl: 92

Punto	Medias	n	E.E.	
3	8,79	24	0,62	A
1	8,02	24	0,62	A
2	7,74	24	0,62	A
4	6,93	24	0,62	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )

**Coefficientes de correlación**

Correlación de Pearson: Coeficientes\probabilidades

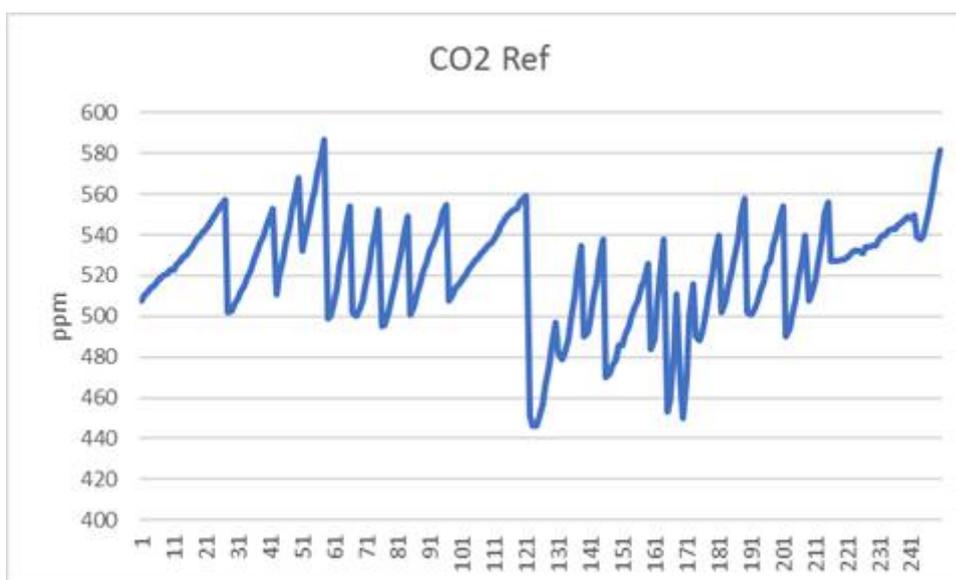
	FCO2_Just	Ts	Hs	pH	MO	Altura H2O
FCO2_Just	1,00	0,00	0,00	2,3E-12	0,64	0,00
Ts	0,62	1,00	0,00	1,6E-12	0,61	0,00
Hs	0,55	0,72	1,00	1,1E-08	0,01	0,00
pH	-0,48	-0,48	-0,40	1,00	0,12	0,00
MO	0,03	0,04	-0,18	-0,11	1,00	4,7E-03
Altura H2O	0,62	0,76	0,83	-0,49	0,20	1,00

**Anexo 06:** Cálculo de flujo de CO<sub>2</sub>

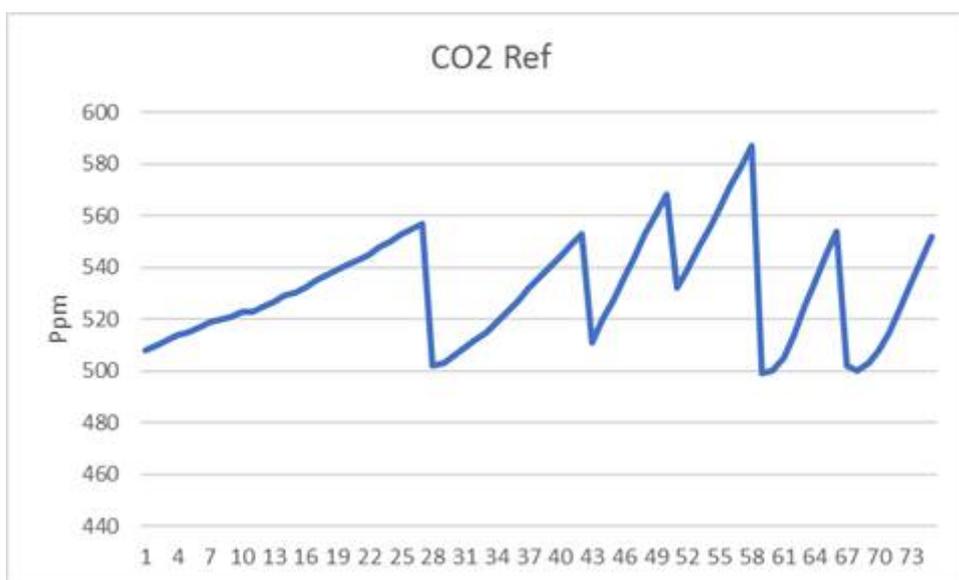
Cámara	Altura da câmara (cm)					Vc (m3)	Vd	Variación CO2 ppm/s	Presión (mb)	Presión/1000 (pa)	Temperatura °C
	1	2	3	4	Média						
C1	7	7.3	7.2	7.6	7.3	0.00057138	0.0012287	2.07142857	604.57	0.605	24.20
C2	7.4	8	7.9	7.6	7.73	0.00060672	0.0012287	1.10416667	604.36	0.604	24.25
C3	7.4	7.5	7.7	7.5	7.53	0.00059101	0.0012287	1.96428571	604.43	0.604	24.30
C4	6.8	6.9	7	6.9	6.9	0.00054192	0.0012287	2.10714286	604.29	0.604	24.40
C5	7	6.9	7.4	7	7.08	0.00055567	0.0012287	2.21428571	604.14	0.604	24.54
C6	7.7	7.3	7.5	7.8	7.58	0.00059494	0.0012287	2.29166667	604.67	0.605	24.60

Tempe (273/t+273)	Peso molecular CO2 44 g/mol	Área cob cam m^2	Vd/A 1000	hora a seg	RUC FCO2 g m^-2 h^-1	Va + Vd Vd	Rc = FCO2 g m^-2 h^-1	Flujo CO2 umol m-2 s-1
0.9186	1.96386	0.00785	0.00015644	3600	1.27232923	1.46502567	1.8640	11.7655
0.9184	1.96386	0.00785	0.00015644	3600	0.6778732	1.49379015	1.0126	6.3915
0.9183	1.96386	0.00785	0.00015644	3600	1.20582827	1.48100594	1.7858	11.2722
0.9180	1.96386	0.00785	0.00015644	3600	1.2927843	1.44105528	1.8630	11.7591
0.9175	1.96386	0.00785	0.00015644	3600	1.35754583	1.45224146	1.9715	12.4440
0.9173	1.96386	0.00785	0.00015644	3600	1.40593511	1.48420199	2.0867	13.1712

**Anexo 07:** Concentración de CO<sub>2</sub> (un día de medición en cuatro puntos)



**Anexo 08:** Concentración de CO<sub>2</sub> (un puntos de medición, con 6 cámaras)



**Anexo 09:** Base de datos medido por EGM-4 (un dia en cuatro puntos)

Plot	RecNo	CO2 Ref	mbR Temp	Input E	Input F	ATMP
1	1	508	20.2	0	0	606
1	2	510	20.2	4	0	606
1	3	512	20.2	9	0	606
1	4	514	20.2	14	0.24	606
1	5	515	20.2	19	0.23	606
1	6	517	20.2	24	0.21	606
1	7	519	20.2	28	0.22	606
1	8	520	20.2	33	0.21	606
1	9	521	20.2	38	0.21	606
1	10	523	20.2	43	0.2	606
1	11	523	20.1	48	0.19	606
1	12	525	20.1	52	0.19	606
1	13	527	20	57	0.19	606
1	14	529	20	62	0.19	606

1	15	530	20	67	0.19	606
1	16	532	20	72	0.19	606
1	17	535	20	76	0.2	606
1	18	537	20	81	0.2	606
1	19	539	20	86	0.2	606
1	20	541	20	91	0.21	606
1	21	543	20	96	0.21	606
1	22	545	20	100	0.21	606
1	23	548	20	105	0.21	606
1	24	550	20	110	0.22	606
1	25	553	19.9	115	0.22	606
1	26	555	19.9	120	0.22	606
1	27	557	19.9	124	0.23	606
2	1	502	20	0	0	606
2	2	503	20	4	0	606
2	3	506	20.1	9	0	606
2	4	509	20.1	14	0.29	606
2	5	512	20.2	19	0.31	606
2	6	515	20.2	24	0.33	606
2	7	519	20.2	28	0.34	606
2	8	523	20.2	33	0.36	606
2	9	527	20.2	38	0.38	606
2	10	532	20.1	43	0.4	606
2	11	536	20.1	48	0.41	606
2	12	540	20.1	52	0.43	606
2	13	544	20.1	57	0.44	606
2	14	549	20.2	62	0.45	606
2	15	553	20.2	67	0.45	606

3	1	511	20.4	0	0	606
3	2	520	20.4	4	0	606
3	3	528	20.4	9	0	606
3	4	536	20.4	14	0.97	606
3	5	544	20.4	19	0.97	606
3	6	553	20.4	24	0.98	606
3	7	561	20.4	28	0.99	606
3	8	568	20.4	33	0.98	606
4	1	532	20.2	0	0	606
4	2	539	20.2	4	0	606
4	3	548	20.1	9	0	606
4	4	555	20.2	14	0.95	606
4	5	563	20.2	19	0.94	606
4	6	571	20.1	24	0.94	606
4	7	579	20.1	28	0.95	606
4	8	587	20.1	33	0.94	606
5	1	499	20.3	0	0	606
5	2	500	20.2	4	0	606
5	3	505	20.3	9	0	606
5	4	514	20.3	14	0.57	606
5	5	525	20.3	19	0.77	606
5	6	534	20.4	24	0.88	606
5	7	545	20.4	28	0.96	606
5	8	554	20.4	33	1.01	606
6	1	502	20.6	0	0	606
6	2	500	20.6	4	0	606
6	3	503	20.6	9	0	606
6	4	508	20.6	14	0.24	606

6	5	515	20.6	19	0.41	606
6	6	524	20.6	24	0.55	606
6	7	534	20.6	28	0.66	606
6	8	543	20.7	33	0.75	606
6	9	552	20.7	38	0.8	606
1	1	495	21.8	0	0	606
1	2	496	21.8	4	0	606
1	3	502	21.8	9	0	606
1	4	508	21.8	14	0.54	606
1	5	516	21.9	19	0.65	606
1	6	523	21.9	24	0.72	606
1	7	532	21.8	28	0.78	606
1	8	540	21.8	33	0.81	606
1	9	549	21.9	38	0.85	606
2	1	501	22	0	0	606
2	2	505	22	4	0	606
2	3	511	22	9	0	606
2	4	517	22	14	0.67	606
2	5	522	22	19	0.67	606
2	6	527	21.9	24	0.65	606
2	7	532	22	28	0.65	606
2	8	536	22	33	0.63	606
2	9	540	21.9	38	0.61	606
2	10	545	21.8	43	0.6	606
2	11	551	21.8	48	0.6	606
2	12	555	21.8	52	0.59	606
3	1	508	21.8	0	0	606
3	2	511	21.8	4	0	606

3	3	514	21.8	9	0	606
3	4	516	21.8	14	0.32	606
3	5	518	21.8	19	0.31	606
3	6	520	21.8	24	0.29	606
3	7	523	21.8	28	0.29	606
3	8	525	21.8	33	0.28	606
3	9	527	21.8	38	0.28	606
3	10	529	21.8	43	0.28	606
3	11	531	21.8	48	0.27	606
3	12	533	21.8	52	0.27	606
3	13	535	21.7	57	0.26	606
3	14	536	21.7	62	0.26	606
3	15	538	21.7	67	0.25	606
3	16	541	21.7	72	0.25	606
3	17	544	21.6	76	0.25	606
3	18	547	21.7	81	0.26	606
3	19	549	21.6	86	0.26	606
3	20	551	21.7	91	0.26	606
3	21	552	21.6	96	0.26	606
3	22	553	21.6	100	0.26	606
3	23	556	21.6	105	0.25	606
3	24	558	21.6	110	0.25	606
3	25	559	21.6	115	0.25	606
4	1	451	21.5	0	0	606
4	2	446	21.5	4	0	606
4	3	446	21.5	9	0	606
4	4	450	21.5	14	-0.04	606
4	5	457	21.5	19	0.18	606

4	6	466	21.4	24	0.38	606
4	7	476	21.3	28	0.53	606
4	8	486	21.3	33	0.66	606
4	9	497	21.3	38	0.76	606
5	1	482	20.8	0	0	606
5	2	479	20.7	4	0	606
5	3	482	20.7	9	0	606
5	4	489	20.7	14	0.28	606
5	5	499	20.6	19	0.53	606
5	6	510	20.6	24	0.71	606
5	7	523	20.6	28	0.87	606
5	8	535	20.6	33	0.98	606
6	1	490	20.3	0	0	606
6	2	492	20.3	4	0	606
6	3	498	20.2	9	0	606
6	4	508	20.2	14	0.7	606
6	5	517	20.2	19	0.83	606
6	6	528	20.1	24	0.93	606
6	7	538	20.1	28	1	606
1	1	470	21.4	0	0	605
1	2	472	21.4	4	0	606
1	3	476	21.4	9	0	605
1	4	479	21.4	14	0.39	605
1	5	486	21.5	19	0.48	605
1	6	486	21.6	24	0.44	606
1	7	491	21.5	28	0.44	605
1	8	495	21.5	33	0.45	606
1	9	500	21.6	38	0.46	606

1	10	505	21.5	43	0.47	606
1	11	508	21.6	48	0.48	606
1	12	515	21.6	52	0.49	605
1	13	518	21.6	57	0.5	605
1	14	526	21.6	62	0.52	606
2	1	484	21.6	0	0	606
2	2	489	21.4	4	0	605
2	3	507	21.3	9	0	606
2	4	525	21.2	14	1.7	606
2	5	538	21.2	19	1.72	606
3	1	453	21	0	0	605
3	2	459	21	4	0	606
3	3	482	21	9	0	606
3	4	511	21	14	2.37	605
4	1	468	20.7	0	0	606
4	2	450	20.6	4	0	606
4	3	471	20.7	9	0	605
4	4	500	20.6	14	1.39	605
4	5	516	20.6	19	1.75	605
5	1	490	20.2	0	0	605
5	2	488	20.2	4	0	606
5	3	492	20.2	9	0	606
5	4	502	20.1	14	0.47	605
5	5	511	20.1	19	0.67	605
5	6	521	20	24	0.79	605
5	7	531	20	28	0.89	605
5	8	540	20	33	0.95	605
6	1	502	19.6	0	0	606

6	2	507	19.6	4	0	606
6	3	514	19.6	9	0	606
6	4	522	19.6	14	0.8	606
6	5	529	19.6	19	0.83	606
6	6	538	19.5	24	0.87	606
6	7	549	19.5	28	0.93	606
6	8	558	19.5	33	0.97	606
1	1	502	19.9	0	0	606
1	2	501	19.8	4	0	606
1	3	503	19.8	9	0	606
1	4	507	19.8	14	0.23	606
1	5	512	19.8	19	0.32	606
1	6	517	19.9	24	0.38	606
1	7	524	19.9	28	0.46	605
1	8	527	19.9	33	0.49	606
1	9	535	19.9	38	0.53	605
1	10	541	20	43	0.56	606
1	11	547	20	48	0.59	606
1	12	554	20	52	0.61	606
3	1	490	19.6	0	0	606
3	2	494	19.6	4	0	606
3	3	501	19.6	9	0	606
3	4	509	19.6	14	0.76	606
3	5	519	19.6	19	0.88	606
3	6	529	19.6	24	0.95	606
3	7	540	19.5	28	1.02	605
4	1	508	19.6	0	0	606
4	2	511	19.7	4	0	606

4	3	518	19.7	9	0	606
4	4	526	19.7	14	0.73	606
4	5	537	19.8	19	0.87	606
4	6	550	19.8	24	1.01	605
4	7	556	19.8	28	1.03	606
5	1	527	20	0	0	606
5	2	527	20	4	0	606
5	3	527	20	9	0	606
5	4	528	20	14	0.03	606
5	5	528	20.1	19	0.05	606
5	6	529	20.1	24	0.05	606
5	7	530	20.1	28	0.07	606
5	8	532	20.2	33	0.09	606
5	9	532	20.2	38	0.09	606
5	10	532	20.2	43	0.08	606
5	11	531	20.2	48	0.07	606
5	12	534	20.3	52	0.08	605
5	13	534	20.3	57	0.08	606
5	14	535	20.4	62	0.08	606
5	15	535	20.4	67	0.08	606
5	16	537	20.4	72	0.09	606
5	17	540	20.4	76	0.09	605
5	18	540	20.5	81	0.1	606
5	19	542	20.5	86	0.1	606
5	20	543	20.5	91	0.11	606
5	21	543	20.6	96	0.11	606
5	22	545	20.6	100	0.11	606
5	23	546	20.6	105	0.11	606

5	24	547	20.6	110	0.11	606
5	25	549	20.7	115	0.12	605
5	26	548	20.8	120	0.12	606
5	27	550	20.8	124	0.12	605
6	1	539	21.1	0	0	606
6	2	538	21.2	4	0	606
6	3	540	21.2	9	0	606
6	4	548	21.3	14	0.36	605
6	5	554	21.3	19	0.49	606
6	6	564	21.2	24	0.63	606
6	7	573	21.3	28	0.73	606
6	8	582	21.4	33	0.8	606

**Anexo 10:** Panel fotográfico**Figura 07:** Equipos utilizados para la medición de flujo de  $\text{CO}_2$  y variables ambientales**Figura 08:** Cámara de flujo de gases utilizados para medir la concentración de  $\text{CO}_2$

Época seca	Época lluviosa
	
<p><b>Figura 8.</b> Distrito de Capaso</p>	<p><b>Figura 9.</b> Distrito de Capaso</p>
	
<p><b>Figura 10.</b> Bofedal en época seca</p>	<p><b>Figura 11.</b> Bofedal en época lluviosa</p>
	
<p><b>Figura 12.</b> Ecosistema de bofedal altoandino</p>	<p><b>Figura 13.</b> Ecosistema de bofedal altoandino</p>

	
<p><b>Figura 14.</b> Medición y registro de temperatura y pH</p>	<p><b>Figura 15.</b> Medición y registro con anemómetro</p>
	
<p><b>Figura 16.</b> Medición de altura de cámara</p>	<p><b>Figura 17.</b> Medición de altura de cámara</p>
	
<p><b>Figura 18.</b> Uso de equipo EGM-4</p>	<p><b>Figura 19.</b> Configuración de EGM-4</p>
	
<p><b>Figura 20.</b> Limpiando la concentración de CO<sub>2</sub> acumulado en la medición anterior</p>	<p><b>Figura 21.</b> Limpiando la concentración de CO<sub>2</sub> acumulado en la medición anterior</p>



**Figura 22.** Se coloca en cada cámara para comenzar a medir la concentración



**Figura 23.** Se coloca en cada cámara para comenzar a medir la concentración



**Figura 24.** Medición de la concentración de CO<sub>2</sub> durante 2 min



**Figura 25.** Medición de la concentración de CO<sub>2</sub> durante 2 min



**Figura 26.** Extracción de muestras de suelo y raíz



**Figura 27.** Medición de altura de muestra de raíz

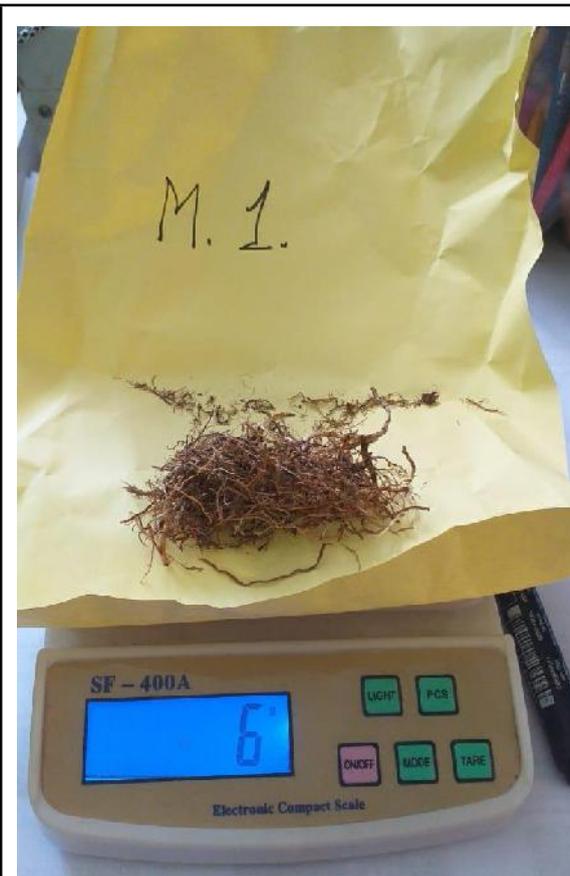


**Figura 28.** Embolsado y etiquetado de muestras

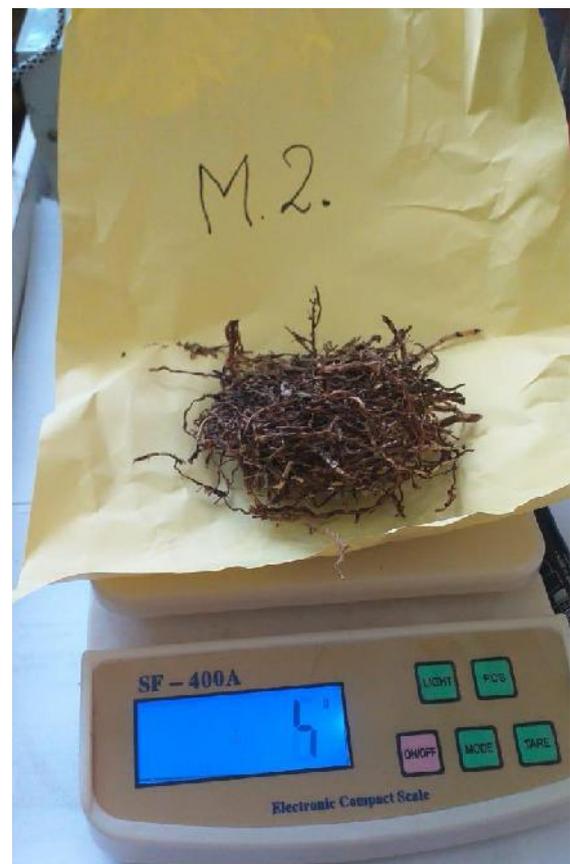
**Figura 29.** Embolado de muestras



**Figura 30.** Lavado y separación de raíces para conocer la biomasa seca



**Figura 31.** Pesado de muestra de raíces de P1



**Figura 32.** Pesado de muestra de raíces de P2



**Figura 33.** Pesado de muestra de raíces de P3



**Figura 34.** Pesado de muestra de raíces de P4



**Figura 35.** Análisis de muestras en Laboratorio de pastos y forrajes de la UNA - Puno



**Figura 36.** Análisis de muestras en Laboratorio de pastos y forrajes de la UNA - Puno

Anexo 11: Resultado de análisis de suelo y raíces en laboratorio en época seca



**LABORATORIO AMBIENTAL DE**  
**AGUA SUELOS Y MECÁNICA DE SUELOS**

**ANÁLISIS**  
Físico - Químico - Microbiológico  
Agua, suelo, alimentos  
Medio ambiente  
Mecánica de suelos y otros.



---

**RESULTADO DE ANÁLISIS**

---

**ASUNTO: ANALISIS DE CARBONO ORGANICO, HUMEDAD Y MATERIA SECA DE RAIZ**

---

**PROCEDENCIA** : PAMPAUTA – DIST. CAPASO – PROV. EL COLLAO - ILAVE  
**INTERESADO** : JUSTINA CHECALLA RAMOS  
**MOTIVO** : ANALISIS DE CARBONO ORGANICO, HUMEDAD Y MATERIA SECA  
**FECHA DE MUESTREO** : 03/08/2022 (por el interesado)  
**FECHA DE ANALISIS** : 03/08/2022

---

**DETERMINACIONES FISICO - QUIMICAS:**

---

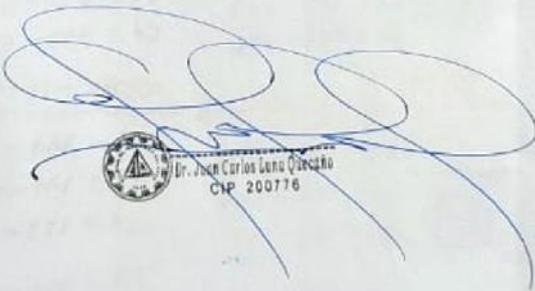
CODIGO DE MUESTRAS	M.S.01	M.S.02	M.S.03	M.S.04
CARBONO ORGANICO %	10.05	10.99	28.34	11.71
HUMEDAD %	82.45	82.11	81.87	81.35
MATERIA SECA %	17.55	17.89	18.13	18.65

CODIGO DE MUESTRAS	M.R.01	M.R.02	M.R.03	M.R.04
HUMEDAD DE RAIZ %	79.09	80.68	88.57	84.72
MATERIA SECA DE RAIZ %	20.91	19.32	11.43	15.28

H= Humedad  
MS= Materia seca  
CO= Carbono Orgánico





Dr. Juan Carlos Lano Quezada  
CIP 200776

**Anexo 12:** Resultado de análisis de suelo y raíces en laboratorio en época lluviosa



**LABORATORIO AMBIENTAL DE**  
**AGUA SUELOS Y MECÁNICA DE SUELOS**

**ANÁLISIS**  
Físico - Químico - Microbiológico  
Agua, suelo, alimentos  
Medio ambiente  
Mecánica de suelos y otros.



---

**RESULTADO DE ANÁLISIS**

---

**ASUNTO: ANALISIS DE CARBONO ORGANICO Y HUMEDAD**

---

PROCEDENCIA : PAMPAUTA – DIST. CAPASO – PROV. EL COLLAO - ILAVE  
 INTERESADO : JUSTINA CHECALLA RAMOS  
 MOTIVO : ANALISIS DE CARBONO ORGANICO  
 FECHA DE MUESTREO : 12/01/2023 (por el interesado)  
 FECHA DE ANALISIS : 13/01/2023

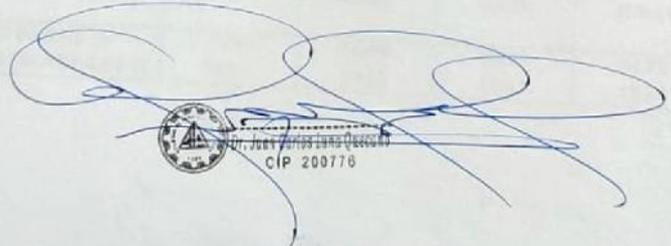
---

**DETERMINACIONES FISICO - QUIMICAS:**

---

CODIGO DE MUESTRAS	M.S.01	M.S.02	M.S.03	M.S.04
CARBONO ORGANICO %	12.16	11.98	30.54	13.84
HUMEDAD %	84.50	84.14	82.87	83.32
MATERIA SECA %	15.50	15.86	17.13	16.68

H= Humedad  
MS= Materia seca  
CO= Carbono Orgánico




CIP 200770

**Anexo 13: Estructura del plan de muestreo**

<p><b>1. DATOS GENERALES</b></p> <p>1.1. Objetivo del muestreo: Definir de manera precisa las metas que se desean cumplir.                  1.2. Vías de acceso al sitio: Explicitar el acceso geo-referenciado al sitio de interés.                  1.3. Resumen de estudios previos: Identificar información relevante de acciones previas realizadas en el sitio de estudio.                  1.4. Localización geográfica del sitio (UTM WGS 84): Para su respectivo mapeo.                  1.5. Delimitación de las áreas de interés de muestreo: En base a la información disponible sobre las actividades adelantadas o los procesos en curso.</p>
<p><b>2. PLANEACIÓN Y PROCEDIMIENTO DEL MUESTREO</b></p> <p>2.1. Tipo de muestreo.                  2.2. Localización, distribución y número de puntos de muestreo.                  2.3. Profundidad de muestreo.                  2.4. Tipos de muestras (muestras simples o compuestas, de profundidad o superficiales).                  2.5. Estimación del Número total de muestras.                  2.6. Parámetros de campo.                  2.7. Equipo de muestreo de suelo.                  2.8. Medidas para asegurar la calidad del muestreo.                  2.9. Preservación de las muestras.                  2.10. Tipo de recipientes y volumen de las muestras.                  2.11. Plan de salud y seguridad del operario.                  2.12. Plan de cadena de custodia.</p>
<p><b>3. ANEXOS</b></p> <p>3.1. Planos de ubicación<sup>1</sup>.                  3.2. Plano vial de carreteras, caminos o calles para llegar al sitio y edificaciones<sup>2</sup>.                  3.3. Imagen aérea o satelital del sitio de alta resolución (de 15 cm a 60 cm) orto-rectificadas.                  3.4. Plano de la zona de estudio e identificación de los puntos de muestreo geo-referenciado en coordenadas UTM.                  3.5. Copia de la acreditación y de la aprobación del laboratorio vigente, con el listado de signatarios autorizados.</p>

Fuente: (MINAM, 2014)

**Anexo 14: Etiquetado e identificación de la muestra**

Código de la muestra: \_\_\_\_\_

Nombre del propietario: \_\_\_\_\_

Nombre la Finca: \_\_\_\_\_

Uso del suelo: \_\_\_\_\_

Fecha del muestreo: \_\_\_\_\_

Profundidad de muestreo: \_\_\_\_\_

Ubicación de la muestra en la parcela o paisaje: \_\_\_\_\_

Anexo 15: Sistema de calibración de equipo EGM-4

**System Calibration**

- This product is shipped as a factory calibrated system. System calibration is not required upon receipt from our factory.
- Familiarization with the documentation and calibration procedures is required prior to future recalibration. See section **3CAL** on page 34 of this manual.
- All calibration related questions may be directed directly to PP Systems at:

Telephone: +1 978.834.0505  
 Fax: +1 978.834.0545

Email: [support@ppsystems.com](mailto:support@ppsystems.com)

**Connecting Calibration Gas To The EGM-4**

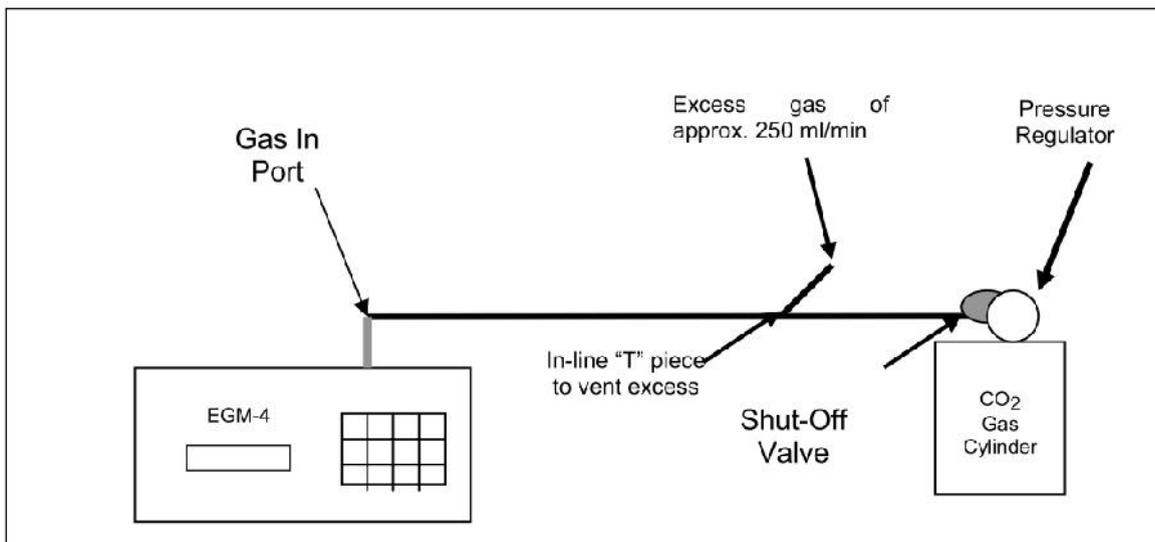
During calibration, the signal from the CO<sub>2</sub> detector is referenced against a gas of known CO<sub>2</sub> concentration. The EGM-4 calibration procedure uses two reference points:

1. Zero CO<sub>2</sub> (generated from air that has been scrubbed through soda lime).
2. Span Gas (a user-defined CO<sub>2</sub> concentration, normally a cylinder of certified CO<sub>2</sub> composition).

It is therefore vital that both of these references are accurate. For greater accuracy, cylinder mixtures should be accurate to +/- 1% and traceable to NIST standards. The zero gas will only be accurate if the soda lime in the absorber column is fresh.

Assuming that a calibration gas mixture is used to calibrate the EGM-4, follow these instructions:

1. To avoid excess pressure in the sample cell and possible damage to the Analyzer, you must connect the sample line with a "T" piece between the calibration gas mixture and the "Gas In" port on the EGM-4 as follows:



2. The pressure regulator should be set to a very low pressure and there should be a slight flow excess gas venting from the open "T" Piece (approx. 250 ml/min). We recommend using a flow rate from the gas cylinder of approximately 200-400 ml/min.
3. Press key N and enter the CO<sub>2</sub> concentration of the calibration gas that you are using. This value must match the certified CO<sub>2</sub> concentration of the calibration cylinder and be similar or higher than the anticipated measurement range of the instrument (*i.e.* it is best to calibrate the instrument with a reference gas containing 350 - 450 ppm CO<sub>2</sub> when measuring around 350 ppm CO<sub>2</sub>).
4. The EGM-4 will then perform a ZERO. At completion of successful ZERO, a similar message to the following will be displayed.

CO2 CONC = 1050  
KEY0 WHEN STEADY

5. At this point, all you are looking for is that the CO<sub>2</sub> concentration is steady. **Note, the displayed value may not be the value you entered in step 1 above.** When this value is steady (*i.e.* not changing by more than 1 ppm after 30 seconds), press the 0 key. Control is passed to the VOUT Set Menu to provide the opportunity to change the scale factor if desired. If no change is desired, press key Y.
6. Calibration is complete. The new calibration and linearization constants are stored in non-volatile memory.

Fuente: Manual del operador de EGM-4 (PP-Systems, 2010).

Anexo 16: Puntos de muestreo para medición de CO<sub>2</sub>

