

**UNIVERSIDAD PRIVADA SAN CARLOS**

**FACULTAD DE INGENIERÍAS**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**



**TESIS**

**FLUJO DE DIÓXIDO DE CARBONO DEL SUELO EN EL HUMEDAL DE LA  
BAHÍA INTERIOR DE PUNO - 2022**

**PRESENTADA POR:**

**CESAR CCAMA RAMOS**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO AMBIENTAL**

**PUNO - PERÚ**

**2023**





15.38%

SIMILARITY OVERALL

0%

POTENTIALLY AI

SCANNED ON: 22 SEP 2023, 11:33 AM

### Similarity report

Your text is highlighted according to the matched content in the results above.

● IDENTICAL  
2.97%

● CHANGED TEXT  
12.41%

### Most likely AI

Highlighted sentences with the lowest perplexity, most likely generated by AI.

● LIKELY AI  
0%

● HIGHLY LIKELY AI  
0%

## Report #18233397

CESARCCAMA RAMOS FLUJO DE DIÓXIDO DE CARBONO DEL SUELO EN EL HUMEDAL

DE LA BAHÍA INTERIOR DE PUNO - 2022 RESUMEN Los ecosistemas de

humedales (bofedales) tienen un alto potencial en el ciclo global del carbono debido a su alto contenido de materia orgánica (MO) y, por lo tanto, son importantes para los flujos de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). Sin embargo, en el Perú son escasos los estudios centrados en este tema, por lo que en esta investigación tiene como objetivo evaluar los flujos

de dióxido de carbono del suelo en el humedal de la Bahía Interior de Puno. Se seleccionaron tres puntos de muestreo S1 (frente a Salcedo), S2 (cerca de la Isla Espinar) y S3 (frente a la UNA - Puno),

para realizar el monitoreo de flujo de CO<sub>2</sub> se utilizó un analizador de

gases infrarrojo portátil (EGM-4), en época seca y lluviosa. 41 Se utilizaron estadísticas

para determinar las relaciones entre las variables, los puntos de

medición y la respiración del suelo. Los resultados muestran que la respiración

del suelo varió entre épocas secas y lluviosas, así como entre los

diferentes puntos examinados. Para la época seca fue de 0.67 g CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup>

h<sup>-1</sup>, menor para el S3 (frente a la UNA - Puno); en época

lluviosa fue de 0.99 g CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>, mayor para el S3 (frente a

la UNA - Puno). Se descubrió que, dependiendo de la temporada del año,

la temperatura del suelo y el aire, humedad del suelo, conductividad

eléctrica y pH afectan la respiración del suelo. La información ayudará

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

**FLUJO DE DIÓXIDO DE CARBONO DEL SUELO EN EL HUMEDAL DE LA  
BAHÍA INTERIOR DE PUNO - 2022**

**PRESENTADA POR:**

**CESAR CCAMA RAMOS**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO AMBIENTAL**

APROBADA POR EL SIGUIENTE JURADO:

PRESIDENTE

:



Dr. ESTEBAN ISIDRO LEON APAZA

PRIMER MIEMBRO

:



Mg. KATIA ELIZABETH ANDRADE LINAREZ

SEGUNDO MIEMBRO

:



M.Sc. MARLENE CUSI MONTESINOS

ASESOR DE TESIS

:



Mg. JULIO WILFREDO CANO OJEDA

Área: Ingeniería y tecnología

Sub Área: Ingeniería Ambiental

Línea de Investigación: Ciencias Ambientales

Puno, 05 de octubre del 2023

## DEDICATORIA

A DIOS y Virgencita Asunción de Pichacani, por regalarme esta vida junto a magnificas personas y guiarme espiritualmente por el camino del bien. Para salir adelante y cumplir con mí objetivo.

A mis padres Cornelio Cipriano Ccama Quispe y Elicia Asunción Ramos Ordoño, por ser mi apoyo incondicional a lo largo de mi formación profesional. A mis hermanas y hermano, por ser mí apoyo en mi desarrollo profesional.

A mi hermano que en vida fue, Rómulo Ccama Ramos y su esposa Petronila Paredes Choque, por ser un ejemplo de lucha y superación, que siempre me apoyaron anímicamente. Y uno de sus sueños era que cumpla mí objetivo.

A todos aquellas personas que colaboraron y participaron en la realización de esta investigación, mis más sinceros agradecimientos.

## AGRADECIMIENTOS

A DIOS y Virgencita Asunción Pichacani por darme la fuerza necesaria para salir adelante y cumplir con mi objetivo.

A mis padres Cornelio Cipriano Ccama Quispe y Elicia Asunción Ramos Ordoño, apoyo y comprensión recibido de parte de ellos en todo este tiempo.

A la Universidad Privada San Carlos por la oportunidad de realizarme profesionalmente, a los docentes de la Facultad de Ingenierías, por su esmerada labor y por transmitirme sus conocimientos en el transcurso de mi formación profesional.

A mi asesor Mg. Julio Wilfredo Cano Ojeda; por el asesoramiento, su persistencia y su motivación que ha sido fundamental para la formación como investigador.

A mis revisores Dr. Esteban Isidro Leon Apaza, Mg. Katia Elizabeth Andrade Linarez y al M.Sc. Marlene Cusi Montesinos, por sus oportunas observaciones y el tiempo en este documento.

## ÍNDICE GENERAL

	<b>Pág.</b>
DEDICATORIA	1
AGRADECIMIENTOS	2
ÍNDICE GENERAL	3
ÍNDICE DE TABLAS	6
ÍNDICE DE FIGURAS	7
ÍNDICE DE ANEXOS	8
ÍNDICE DE ABREVIATURAS	9
RESUMEN	<b>10</b>
ABSTRACT	<b>11</b>
INTRODUCCIÓN	12

### CAPÍTULO I

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

<b>1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b>	<b>14</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</b>	<b>19</b>
1.3.1 OBJETIVO GENERAL	19
1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	19

### CAPÍTULO II

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

<b>2.1 MARCO TEÓRICO REFERENCIAL</b>	<b>21</b>
--------------------------------------	-----------

2.1.1 CAMBIO CLIMÁTICO, EFECTO INVERNADERO Y CALENTAMIENTO GLOBAL	21
2.1.2 BIODIVERSIDAD DEL SUELO Y CAMBIO CLIMÁTICO	21
2.1.3 SITIO RAMSAR (LAGO TITICACA)	22
2.1.4 IMPORTANCIA DE LOS HUMEDALES ALTOANDINOS Y DE SUS SERVICIOS ECOSISTÉMICOS	22
2.1.5 HUMEDALES DE LA PUNA: PRINCIPALES PROVEEDORES DE SERVICIOS ECOSISTÉMICOS	23
2.1.6 VULNERABILIDAD DE HUMEDALES ALTOANDINOS ANTE PROCESOS DE CAMBIO	23
2.1.7 ALMACÉN DE CARBONO EN HUMEDALES	23
2.1.8 DINÁMICA DE CARBONO EN HUMEDALES	24
<b>2.2 MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL</b>	<b>24</b>
2.2.1 CARBONO ORGÁNICO DEL SUELO (COS)	24
2.2.2 CICLO DEL CARBONO	24
2.2.3 DIÓXIDO DE CARBONO (CO <sub>2</sub> )	24
2.2.4 FLUJO DE CO <sub>2</sub> DEL SUELO	25
2.2.5 HUMEDALES	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:	26
2.3.4 DECRETO SUPREMO N.° 006-2021-MINAM: DISPOSICIONES GENERALES PARA LA GESTIÓN MULTISECTORIAL Y DESCENTRALIZADA DE LOS HUMEDALES	26
<b>2.3 HIPÓTESIS</b>	<b>26</b>
2.3.1 HIPÓTESIS GENERAL	26
2.3.2 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 MÉTODO Y TÉCNICAS</b>	<b>30</b>
3.3.1 UBICACIÓN DE SITIOS DE MUESTREO	30
3.3.2 MEDICIÓN DE FLUJO DE CO <sub>2</sub> DEL SUELO	30
3.3.3 CÁLCULO DE LOS FLUJOS DE DIÓXIDO DE CARBONO	31
3.3.4 MEDICIÓN DE FACTORES BIOCENOSIS Y BIOTOPO	32
<b>3.4 IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES</b>	<b>32</b>
<b>3.5 MÉTODO O DISEÑO ESTADÍSTICO</b>	<b>33</b>

### CAPÍTULO IV

#### EXPOSICIÓN Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

4.1 CUANTIFICAR LOS FLUJOS DE DIÓXIDO DE CARBONO DEL SUELO EN DIFERENTES ZONAS EN HUMEDALES DE LA BAHÍA INTERIOR DE PUNO.	34
4.2 COMPARAR LOS FLUJOS DE DIÓXIDO DE CARBONO DEL SUELO ENTRE ÉPOCA LLUVIOSA Y SECA EN HUMEDALES DE LA BAHÍA INTERIOR DE PUNO.	39
4.3 EVALUAR LA RELACIÓN ENTRE EL FLUJO DE CO <sub>2</sub> DEL SUELO Y LOS FACTORES AMBIENTALES	41
<b>CONCLUSIONES</b>	<b>44</b>
<b>RECOMENDACIONES</b>	<b>45</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>46</b>
<b>ANEXOS</b>	<b>53</b>



## ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
<b>Tabla 01:</b> Sitios de medición y muestreo en la Bahía interior de Puno.	30
<b>Tabla 02:</b> Especificaciones técnicas de analizador de gases infrarrojo portátil EGM-4 (PP Systems, Hitchin, UK)	31
<b>Tabla 03:</b> Temperatura del suelo (Ts), temperatura del aire (Tar), humedad relativa (HR), velocidad del viento (Vv), presión atmosférica (P) e iluminación en época seca y lluviosa. Letras diferentes indican diferencias significativas por la prueba de Tukey ( $p < 0.05$ ).	35
<b>Tabla 04:</b> Altura del agua, pH, humedad del suelo (HS), carbono orgánico del suelo (COS), materia orgánica del suelo (MO_S), conductividad eléctrica (C.E.) y materia seca de la raíz (MS_RAIZ) en época seca y lluviosa. Letras diferentes indican diferencias significativas por la prueba de Tukey ( $p < 0.05$ ).	37
<b>Tabla 05:</b> Flujo de CO <sub>2</sub> diario y por época del suelo de la Bahía Interior del Lago Titicaca. Por la prueba de Tukey, las letras minúsculas muestran diferencias significativas entre épocas, mientras que las letras mayúsculas muestran diferencias significativas entre diferentes métodos de medición de época ( $p < 0.05$ ).	40
<b>Tabla 06:</b> Correlación de Pearson entre las variables analizadas (Índice de significancia, $p$ -value $< 0.05$ ) en época seca y lluviosa. Flujo de CO <sub>2</sub> del suelo; Tar - temperatura del aire; HR - humedad relativa; Vv - velocidad del viento; P - presión atmosférica e iluminación.	41
<b>Tabla 07:</b> Correlación de Pearson entre las variables analizadas (Índice de significancia, $p$ -value $< 0.05$ ) en época seca y lluviosa. FCO <sub>2</sub> - Flujo de CO <sub>2</sub> del suelo; TS - temperatura del suelo; napa freática; HS - humedad del suelo; COS - carbono orgánico del suelo; MO_S - materia orgánica del suelo; C.E. - conductividad eléctrica; pH - potencial de ; MS_RAIZ - materia seca de la raíz.	42

## ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
<b>Figura 01:</b> Localización del área de estudio. a) mapa de Perú; b) departamento de Puno y c) Bahía Interior de Puno.	29
<b>Figura 02:</b> Flujo de CO <sub>2</sub> del suelo de la Bahía Interior del Lago Titicaca en S1 (Frente a Salcedo), S2 (Cercanías de la Isla Espinar) y S3 (Frente a la UNA - Puno), letras diferentes indican diferencias significativas por la prueba de Tukey ( $p < 0.05$ ).	34
<b>Figura 03:</b> Letras diferentes indican diferencias significativas por la prueba de Tukey ( $p < 0.05$ ).	39

## ÍNDICE DE ANEXOS

	<b>Pág.</b>
<b>Anexo 01:</b> Matriz de consistencia	54
<b>Anexo 02:</b> Análisis de varianza de los diferentes zonas de muestreo en época seca y lluviosa	56
<b>Anexo 03:</b> Medición por EGM-4 en un punto de muestreo	57
<b>Anexo 04:</b> Gráfico lineal de concentración de CO <sub>2</sub> medido por EGM-4, en un día de medición	61
<b>Anexo 05:</b> Gráfico lineal de concentración de CO <sub>2</sub> medido por EGM-4, en seis cámaras de medición en un punto.	61
<b>Anexo 06:</b> Cálculo de flujo de CO <sub>2</sub> de suelos de la Bahía Interior del Lago Titicaca	62
<b>Anexo 07:</b> Mapa de sitios RAMSAR del Perú	63
<b>Anexo 08:</b> Componentes y factores de control del flujo de CO <sub>2</sub> del suelo	64
<b>Anexo 09:</b> Analizador de gases infrarrojo (IRGA) (EGM-4, PP Systems, USA) conectado a una cámara de respiración (SRC-1, PP Systems, USA).	65
<b>Anexo 10:</b> Panel fotográfico	66
<b>Anexo 11:</b> Resultado de análisis de suelo y raíces en laboratorio en época seca	77
<b>Anexo 12:</b> Resultado de análisis de suelo y raíces en laboratorio en época lluviosa	78

## ÍNDICE DE ABREVIATURAS

S1	: Frente a Salcedo
S2	: Cercanías de la Isla Espinar
S3	: Frente a la UNA - Puno
CO <sub>2</sub>	: Dióxido de carbono
EGM-4	:Analizador de gases infrarrojo portátil
g CO <sub>2</sub> m <sup>-2</sup> h <sup>-1</sup>	: Gramos de dióxido de carbono por metro cuadrado por hora
Ts	: Temperatura del suelo
Tar	: Temperatura del aire
HR	:humedad relativa
Vv	:Velocidad del viento
P	: presión atmosférica
HS	: humedad del suelo
COS	: Carbono orgánico del suelo
MO_S	: materia orgánica del suelo
C.E.	: conductividad eléctrica
MS_RAIZ	: materia seca de la raíz

## RESUMEN

Los ecosistemas de humedales (bofedales) tienen un alto potencial en el ciclo global del carbono debido a su alto contenido de materia orgánica (MO) y, por lo tanto, son importantes para los flujos de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ). Sin embargo, en el Perú son escasos los estudios centrados en este tema, por lo que en esta investigación tiene como objetivo evaluar los flujos de dióxido de carbono del suelo en el humedal de la Bahía Interior de Puno. Se seleccionaron tres sitios de muestreo S1 (frente a Salcedo), S2 (cerca de la Isla Espinar) y S3 (frente a la UNA - Puno), para realizar el monitoreo de flujo de  $\text{CO}_2$  se utilizó un analizador de gases infrarrojo portátil (EGM-4), en época seca y lluviosa. Se utilizaron estadísticas para determinar las relaciones entre las variables, los sitios de medición y la respiración del suelo. Los resultados muestran que la respiración del suelo varió entre épocas secas y lluviosas, así como entre los diferentes sitios examinados. Para la época seca fue de  $0.67 \text{ g CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ , menor para el S3 (frente a la UNA - Puno); en época lluviosa fue de  $0.99 \text{ g CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ , mayor para el S3 (frente a la UNA - Puno). Se descubrió que, dependiendo de la temporada del año, la temperatura del suelo y el aire, humedad del suelo, conductividad eléctrica y pH afectan la respiración del suelo. La información ayudará a estimar las emisiones provenientes de la respiración del suelo en los humedales altoandinos.

### Palabras clave:

Dióxido de carbono, humedal, materia orgánica, bahía interior.

## ABSTRACT

Wetland ecosystems (bofedales) have a high potential in the global carbon cycle due to their high organic matter (OM) content and are therefore important for carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) fluxes. However, in Peru there are few studies focused on this topic, so this research aims to evaluate the fluxes of carbon dioxide from the soil in the wetland of the Interior Bay of Puno. Three sampling points were selected S1 (in front of Salcedo), S2 (near Espinar Island) and S3 (in front of UNA - Puno), to carry out CO<sub>2</sub> flow monitoring a portable infrared gas analyzer (EGM-4) was used), in dry and rainy seasons. Statistics were used to determine relationships between variables, measurement points, and soil respiration. The results show that soil respiration varied between dry and rainy seasons, as well as between the different points examined. For the dry season it was 0.67 g CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>, lower for S3 (in front of UNA - Puno); In the rainy season it was 0.99 g CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>, higher for S3 (in front of UNA - Puno). It was found that, depending on the time of year, soil and air temperature, soil moisture, electrical conductivity and pH affect soil respiration. The information will help estimate emissions from soil respiration in high Andean wetlands.

### Keywords:

Carbon dioxide, wetland, organic matter, inland bay

## INTRODUCCIÓN

Los suelos se consideran sumideros o fuentes potenciales de GEI atmosféricos directamente asociados con el cambio climático global (SÁ et al., 2019). Actualmente, el cambio climático puede cambiar los regímenes de temperatura y precipitación, alterando el equilibrio de estos procesos, lo que hace que los humedales se conviertan en fuentes de carbono (Ramsar, 2018).

Los bofedales altoandinos, también conocidos como humedales, tienen altas reservas de carbono y son sensibles al cambio climático, lo que lo convierte en un excelente registro para la investigación ambiental (Huaman et al., 2020). Los humedales altoandinos son ecosistemas frágiles que brindan servicios ecosistémicos para mantener la biodiversidad y la economía andina, pero ahora se encuentran en riesgo debido a la amenaza global del cambio climático (Pauca-Tanco et al., 2020). Los bofedales altoandinos, que se encuentran en gran cantidad en los andes peruanos, son ecosistemas con alta productividad que brindan servicios ecosistémicos a la sociedad humana al actuar como sumideros de carbono (Checalla, 2023).

Los humedales naturales se encuentran entre los ecosistemas con alta productividad y se encuentran ampliamente distribuidos en el mundo (L. B. da Silva et al., 2017). Determinar los flujos de gases de efecto invernadero en especial de CO<sub>2</sub> de los humedales es de gran interés dada la biogeoquímica que presentan estas áreas. Con este trabajo de investigación pretendemos estimar el papel del suelo como fuente o sumidero de carbono durante época lluviosa y seca.

El estudio aquí propuesto es importante dado que no se han realizado estudios sobre el flujo de CO<sub>2</sub> en la región de Puno. Por lo tanto, este estudio contribuye a la información sobre estos ecosistemas en nuestra región y país en términos de flujo de CO<sub>2</sub>, beneficiando directamente al medio ambiente, ya que podremos conocer cuáles son los factores que influyen en su mayor o menor cantidad de emisión de CO<sub>2</sub> del suelo a la atmósfera, así mismo, contribuiremos para las estimaciones regionales y globales de concentración de CO<sub>2</sub>.

Conociendo la cantidad de emisión de CO<sub>2</sub> podremos plantear programas de mitigación y/o manejo adecuado de suelos de la Bahía Interior de Puno. Teniendo los siguientes capítulos: Cuantificar los flujos de dióxido de carbono del suelo en diferentes zonas en humedales de la Bahía Interior de Puno, comparar los flujos de dióxido de carbono del suelo entre época lluviosa y seca en humedales de la Bahía Interior de Puno y evaluar la relación entre el flujo de CO<sub>2</sub> del suelo y los factores ambientales.

Capítulo I: Está orientado al planteamiento del problema, que describe los antecedentes y objetivos de la investigación.

Capítulo II: Comprende el marco teórico, conceptual e hipótesis de la investigación

Capítulo III: está orientado a la metodología de la investigación, que comprende: tipo y nivel de investigación, diseño y esquema de la investigación, población y muestra, instrumento de recolección de datos, técnicas de recojo, procesamiento y presentación.

Capítulo IV: Se presenta el análisis de resultados.



## **CAPÍTULO I**

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

#### **1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

El altiplano sudamericano es una de las mesetas semiáridas de gran altitud más grandes del mundo. Dentro del Altiplano, las turberas conocidas como “bofedales” o humedales son componentes importantes de la hidrología regional y brindan recursos hídricos clave y servicios ecosistémicos a las comunidades andinas. El calentamiento de las temperaturas, los cambios en el hidroclima y los cambios en los patrones de circulación atmosférica afectan la dinámica y la hidrología de las turberas (Anderson et al., 2021). Además, pueden estar afectando la dinámica de carbono.

El suelo se ha convertido en uno de los recursos más vulnerables al cambio climático, la degradación de la tierra y la pérdida de biodiversidad. El suelo es un importante sumidero de carbono y contiene más carbono que la suma del aire y las plantas terrestres. Sin embargo, el carbono orgánico del suelo (COS) es dinámico y puede ser un sumidero neto o una fuente de gases de efecto invernadero debido a los efectos humanos sobre el suelo (FAO, 2017).

El CO<sub>2</sub> liberado en la superficie del suelo se produce de forma natural a través de la actividad y respiración de los microorganismos, durante la descomposición aeróbica de la materia orgánica y la respiración del sistema radicular de las plantas (Formiga et al., 2017). La salida de CO<sub>2</sub> del suelo tiene una fuerte relación con la humedad del suelo, lo que puede explicar las variaciones estacionales en el flujo de CO<sub>2</sub> en el ecosistema

(Souza et al., 2017). En la actualidad, muchos suelos que antiguamente eran sumideros de GEI, ahora con los efectos del cambio climático están cambiando su comportamiento de almacenar carbono a convirtiéndose en fuente de CO<sub>2</sub>. Es el caso de la Bahía Interior de Puno, no se conoce su comportamiento con respecto a la concentración de CO<sub>2</sub> en sus suelos bajo ese contexto de cambio climático.

Dentro de este contexto, el suelo de la Bahía Interior de Puno puede actuar en la reducción o emisión de CO<sub>2</sub>, por ello se requiere más estudios para generar informaciones nuevas sobre la interacción entre el suelo y 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. La zona de estudio actualmente se encuentra degradada y por ello la dinámica de carbono puede cambiar.

Para el cual se formularon las siguientes preguntas:

### **1.1.1 PROBLEMA GENERAL**

¿Cuál será el comportamiento respecto al flujo de CO<sub>2</sub> del suelo en el humedal de la Bahía Interior de Puno - 2022?

### **1.1.2 PROBLEMAS ESPECÍFICOS**

- ¿Cuánto y cómo influyen las diferentes zonas de estudio en el flujo de dióxido de carbono del suelo en los humedales de la Bahía Interior de Puno?
- ¿Cómo varían los flujos de dióxido de carbono del suelo en época lluviosa y seca en humedales de la Bahía Interior de Puno?
- ¿Cuál es la relación de los flujos de dióxido de carbono del suelo y los factores ambientales?

## 1.2 ANTECEDENTES

### 1.2.1 A NIVEL INTERNACIONAL

Junior et al. (2018) en su artículo realizado para medir los flujos de CO<sub>2</sub> de humedales en Brasil, el valor medio del flujo de dióxido de carbono en suelo húmedo es de  $0,54 \pm 0,30$  g (CO<sub>2</sub>) m<sup>2</sup> h<sup>-1</sup>, donde el suelo actúa como fuente de carbono  $-9,11$  ton ha<sup>-1</sup> durante el ciclo de un año. Los flujos de CO<sub>2</sub> del suelo se correlacionaron significativamente con la humedad y la temperatura del suelo a una profundidad de 5 cm. La concentración de dióxido de carbono en el suelo era de más de 100 partes por millón (ppm). Las reservas de carbono del suelo no se correlacionaron significativamente con las variables de este estudio, lo que sugiere que las variables no medidas pueden influir en la dinámica del carbono del suelo.

Hernández et al. (2018) en una revisión de varios estudios sobre almacenamiento y flujo de carbono en humedales de agua dulce en México, con datos de reservas de carbono en suelo en tres estados del sureste de México, Veracruz, Yucatán y Chiapas, donde los depósitos de carbono más grandes se han identificado en suelos de bosques inundados de  $150$  Mg C ha<sup>-1</sup> a  $650$  Mg C ha<sup>-1</sup>, asimismo, se encontraron datos de Veracruz de  $6$  Mg C ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> a  $9$  Mg C ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> para el flujo de carbono medido como residuos forestales inundables. El flujo de dióxido de carbono varía de  $1244$  mg Cm<sup>-2</sup>d<sup>-1</sup> a  $11$  g Cm<sup>-2</sup>d<sup>-1</sup> en Veracruz y Tabasco, respectivamente, y sus emisiones aumentan 10 veces en humedales convertidos en pastizales.

El artículo cuyo objetivo fue analizar la dinámica de la hojarasca y la salida de CO<sub>2</sub> en un bosque inundado estacionalmente en humedales del Brasil. El rendimiento promedio mensual de hojarasca fue de  $213$  g m<sup>-2</sup> para hojarasca. El promedio anual de flujo es de  $1.11$  g CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>, el valor más bajo se presenta en septiembre, el mes más seco,  $0.691$  g CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>. Hubo una característica de estacionalidad distinta de todas las variables analizadas, ya que la baja humedad del suelo fue un factor limitante para la producción de hojarasca y la inhibición de la producción de CO<sub>2</sub> del suelo (Silva et al., 2017).

Según Lopera (2019) El estudio se llevó a cabo con el fin de calcular la variación en el flujo de CO<sub>2</sub> del suelo en diferentes áreas de la Reserva Forestal de Bogotá. La concentración de CO<sub>2</sub> en el suelo fue alta en las plantaciones de eucalipto, baja en los pastizales abiertos de Páramo, alta en mayo (el mes con más precipitaciones) y baja en septiembre. Hubo una relación positiva entre el flujo de CO<sub>2</sub> y la temperatura del ambiente, la temperatura del suelo y la altitud. Los hallazgos muestran que dos factores determinan el proceso de respiración y el flujo de CO<sub>2</sub> del suelo: la temperatura y el tipo de cobertura vegetal.

Cruz-Sánchez et al. (2022) Para comprender la variabilidad espacial y temporal, estudiaron la respiración del suelo a partir de cambios en las emisiones de dióxido de carbono en un bosque templado del centro de México. Para lograrlo, se utilizó una cámara de flujo continuo LI-COR (LI8100A) para medir la respiración durante los meses de invierno y primavera. Los resultados muestran que la respiración del suelo varía con las estaciones y entre los diferentes niveles de cobertura forestal evaluados. En invierno es de 1.07 a 2.10  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , mayor en bosques de pino y menor en bosques de pino y oyamel; en primavera es de 1,28 a 5,15  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , mayor para bosques de pinos y abetos y menor para bosques de pinos, abetos y abetos. Se ha encontrado que la respiración del suelo se ve afectada por la vegetación, la temperatura y la humedad del suelo, así como por las condiciones climáticas según la estación del año.

### **1.2.2 A NIVEL NACIONAL**

Alvis-Ccoropuna et al. (2021) en su artículo desarrollada con el objetivo de estimar el contenido de carbono almacenado en los humedales altoandinos (bofedales). El área total estimada de 882,54 hectáreas del humedal Chalhuanca contiene aproximadamente 795 415,65 TCO<sub>2</sub> de carbono almacenado. La biomasa aérea tiene el mayor porcentaje de carbono por gramo de muestra (49,11%), seguida por el suelo orgánico (43,05%), la biomasa subterránea (42,53%) y el suelo inorgánico (1,99%). Sin embargo, la cantidad de carbono almacenado varía significativamente entre los reservorios. El suelo es el reservorio más grande con 218.28 TC/ha (90%), mientras que la biomasa subterránea es

el segundo reservorio más pequeño con 19.72 TC/ha ( $p < 0,05$ ). La biomasa aérea es del 8 % y la TC/ha es de 4.77 %.

Su estudio de los efectos del cambio climático en el almacenamiento de carbono en los humedales andinos proporciona evidencia de los cambios en el almacenamiento de carbono y el cambio climático regional, especialmente desde los últimos 2500 años hasta el presente. Durante un período llamado anomalías climáticas medievales desde 1040 a. C. hasta 1300 a. C. debido a la disminución del nivel freático, el clima seco disminuyó la acumulación de carbono, lo que provocó una disminución en la producción de materia orgánica y un pico negativo en la concentración de carbono (Huaman et al., 2020).

Según Planas-Clarke et al. (2020) su investigación se realizó utilizando el método de cámara estática en el Parque Nacional Huascarán, Perú. El intercambio neto del ecosistema 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 en comparación con los criterios para condiciones de flujo alto. El flujo de gas fue relativamente estable en los tratamientos húmedo y de referencia y tuvo una pequeña respuesta positiva del intercambio de ecosistema neto al aumento del nivel freático.

### **1.2.3 A NIVEL LOCAL O REGIONAL**

Checalla (2023), indica que el flujo de CO<sub>2</sub> del suelo en los bofedales altoandinos varía entre las épocas seca y lluviosa, en la época seca, el promedio de emisión es de  $3.97 \pm 1.57$  μmol CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>, mientras que en la época lluviosa el promedio es de  $7.87 \pm 3.06$  μmol CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>, la temperatura, humedad del suelo y altura del agua muestran relaciones positivas con el flujo de CO<sub>2</sub>, mientras que el pH tiene una relación negativa, De manera similar, en los escenarios de aumento de temperatura y disminución de la humedad del suelo, se espera un incremento en las emisiones de CO<sub>2</sub> en los bofedales altoandinos.

Maldonado-Jimenez et al. (2021), en su trabajo realizado en la bahía interior de Puno, con el objetivo de calcular la capacidad de almacenamiento de carbono en las macrófitas,

Schoenoplectus tatora, Myriophyllum elatinoides, Potamogetón strictus y Elodea potamogeton. El porcentaje de materia orgánica por calcinación se multiplicó por un factor de conversión de 1.724 para estimar el contenido de carbono de cada macrófita. El contenido de biomasa, el carbono, el dióxido de carbono, el pH, la temperatura, la profundidad y la transparencia son las variables analizadas en el estudio. Se encontró una conversión de carbono del 55 % para S. tatora, 48 % para E. potamogeton, 47 % para M. elatinoides y 47 % para P. strictus. Los hallazgos demostraron que S. tatora, con un valor máximo de 1.276 g/m<sup>2</sup>, M. elatinoides con 298,8 g/m<sup>2</sup>, E. potamogeton con 313,7 g/m<sup>2</sup> y P. strictus con 84,5 g/m<sup>2</sup>, afectó en gran medida la profundidad y la transparencia. S. tatora almacena más carbono en su biomasa y por metro cuadrado en el área de estudio.

Monitoreo de CO<sub>2</sub> y CH<sub>4</sub> en base a la biodegradabilidad anaeróbica de muestras de lodo 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> (R. Mamani, 2017).

### **1.3 OBJETIVOS**

#### **1.3.1 OBJETIVO GENERAL**

Evaluar los flujos de dióxido de carbono del suelo en el humedal de la Bahía Interior de Puno.

#### **1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

**O1.** Cuantificar los flujos de dióxido de carbono del suelo en diferentes zonas en humedales de la Bahía Interior de Puno.

**O2.** Comparar los flujos de dióxido de carbono del suelo entre época lluviosa y seca en

humedales de la Bahía Interior de Puno.

**O3.** Evaluar la relación entre el flujo de CO<sub>2</sub> del suelo y los factores ambientales

## **CAPÍTULO II**

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

#### **2.1 MARCO TEÓRICO REFERENCIAL**

##### **2.1.1 CAMBIO CLIMÁTICO, EFECTO INVERNADERO Y CALENTAMIENTO GLOBAL**

El cambio climático global es consecuencia del cambio en el balance energético del sistema Tierra, provocado por la emisión de gases que aumentan (IPCC, 2014). Estos gases, cuando se concentran en mayor cantidad en la atmósfera, reducen la capacidad natural de distribuir y devolver la energía solar que llega a la superficie terrestre (IPCC, 2014; IPCC, 2001). Esta acumulación de energía, por tanto, provoca un forzamiento radiativo positivo, que tiende a promover un calentamiento del planeta Tierra (IPCC, 2001). El cambio climático hoy debe ser una de las mayores preocupaciones de toda criatura racional que lo habita y de los gobiernos de todo el mundo que dependen directamente de él como fuente de energía, bienestar social, emocional y económico. La explotación desmedida de los recursos naturales con fines económicos tiene como consecuencia una degradación medioambiental con consecuente cambio climático el cual es una bomba de relojería que ya está activado por la gran revolución industrial del siglo XX y la actualidad (Paricahua, 2021).

##### **2.1.2 BIODIVERSIDAD DEL SUELO Y CAMBIO CLIMÁTICO**

El papel de la biodiversidad del suelo en la lucha contra el cambio climático global no puede subestimarse. Las actividades de la comunidad del suelo pueden contribuir a las emisiones de gases de efecto invernadero y la absorción de carbono atmosférico en el suelo. Como parte de la función natural del suelo y los servicios del ecosistema, un suelo



saludable almacena más carbono que la atmósfera y la vegetación juntas (FAO et al., 2021).

### **2.1.3 SITIO RAMSAR (LAGO TITICACA)**

Ubicado en el lago Titicaca (sector peruano), 460.000 hectáreas de Puno, 15° 50`S y 069° 30W. El lago Titicaca, ubicado en los Andes centrales, compartido por Perú y Bolivia, tiene 3.810 metros sobre el nivel del mar y es el lago navegable de agua dulce más alto del mundo. Los humedales son lagos permanentes de agua dulce, habitados por humedales relacionados y vastas plantas acuáticas Anexo 07. Rica en algas, plantas acuáticas y flotantes, la especie emergente predominante es la "totora" *Schoenoplectus tatora*, que puede crecer hasta 7 metros de altura. A medida que la "totora" se aleja de la orilla, forman una isla que algunos miembros de la comunidad de Uros utilizan para su sustento. El uso principal del lago es para la pesca autosuficiente, pero el área circundante se utiliza para la agricultura (Ramsar, 1997).

### **2.1.4 IMPORTANCIA DE LOS HUMEDALES ALTOANDINOS Y DE SUS SERVICIOS ECOSISTÉMICOS**

A pesar de los esfuerzos considerables para conservar los humedales altoandinos, el área total que cubren en el mundo sigue sin registrarse y muy pocos de ellos aparecen en la lista RAMSAR. Alrededor de 509.381 hectáreas de bofedales o humedales altoandinos se encuentran en Perú, lo que representa el 6,9% del área total de humedales del país. Estas bofedales abarcan el 2% del territorio altoandino y el 0.04% 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). Los humedales de gran altitud de los Andes centrales, conocidos localmente como bofedales, brindan importantes servicios ecosistémicos, en particular el almacenamiento de carbono, la provisión de forraje y la regulación del agua (Monge-Salazar et al., 2022).

### **2.1.5 HUMEDALES DE LA PUNA: PRINCIPALES PROVEEDORES DE SERVICIOS ECOSISTÉMICOS**

Los humedales son una unidad clave en el funcionamiento del ecosistema de Puna, donde el agua es un recurso limitado. Algunos de los principales tipos de humedales que se encuentran en la zona incluyen ríos, lagos, lagunas, salares y pastizales. Estos ecosistemas tienen un alto valor de conservación porque son los principales proveedores de servicios ecosistémicos: representan la mayor proporción de productividad primaria, soportan la mayor parte de biodiversidad y son los principales reguladores hídricos de la región (Izquierdo et al., 2018).

### **2.1.6 VULNERABILIDAD DE HUMEDALES ALTOANDINOS ANTE PROCESOS DE CAMBIO**

Los humedales altoandinos son ecosistemas vulnerables que juegan un papel fundamental en la dinámica hidrológica, cultural, ecológica y socioeconómica de la región andina colombiana, los cuales continúan siendo degradados por causas relacionadas con el cambio climático y las presiones generadas por las actividades humanas. Su conservación ha despertado el interés de múltiples actores que buscan elementos conceptuales, herramientas de evaluación y alternativas de gestión que permitan direccionar de mejor manera los procesos de manejo de estos ecosistemas a través de nuevas visiones y comprensiones en torno a la mitigación y adaptación a los direccionadores de cambio climático (Valencia & Figueroa, 2015).

### **2.1.7 ALMACÉN DE CARBONO EN HUMEDALES**

La mayor parte de las reservas mundiales de carbono en el suelo se encuentran en los humedales. El equilibrio entre la producción primaria (dióxido de carbono absorbido por la fotosíntesis y materia orgánica producida) y la respiración o descomposición (dióxido de carbono o metano producido de materia orgánica). Las condiciones de los humedales detiene la descomposición y, a medida que disminuye la productividad de las plantas, el carbono se acumula (Ramsar, 2018). Se considera que los humedales son de importancia mundial para el almacenamiento de carbono debido al alto rendimiento de las plantas y la

baja degradación de la materia orgánica que se produce en los humedales. La conservación y manejo de los ecosistemas en zonas protegidas ayuda a mantener la biodiversidad y los servicios ambientales en buen estado, lo que contribuye al almacenamiento de carbono (Suárez et al., 2016).

### **2.1.8 DINÁMICA DE CARBONO EN HUMEDALES**

Debido a que sus suelos pueden almacenar cantidades significativas de carbono, los humedales de agua dulce son ecosistemas que juegan un papel importante en el ciclo del carbono. Sin embargo, como resultado de las condiciones de inundación, también es una fuente de gases de efecto invernadero como el dióxido de carbono, el metano y el óxido nitroso (Hernández-Alarcón et al., 2019).

## **2.2 MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL**

### **2.2.1 CARBONO ORGÁNICO DEL SUELO (COS)**

El carbono orgánico del suelo (COS) es una pequeña parte del ciclo global del carbono en el que el carbono circula en el suelo, la vegetación, los océanos y la atmósfera (Anexo 08). Se estima que el depósito de COS almacena 1 500 PgC en el primer metro de suelo. Esto es más carbono que la suma de la atmósfera (alrededor de 800 PgC) y la vegetación terrestre (500 PgC) (FAO, 2017).

### **2.2.2 CICLO DEL CARBONO**

El ciclo del carbono es un proceso biogeoquímico en el que se intercambia carbono entre la atmósfera, la litosfera y la hidrosfera de la Tierra. Se encuentra en la atmósfera en forma de dióxido de carbono, en la hidrosfera en forma de  $H_2CO_3$  y en la litosfera en forma de carbonatados como el petróleo y el carbón, su ciclo inicia cuando las plantas o algas absorben dióxido de carbono en el proceso de fotosíntesis. Se libera por la respiración, descomposición de organismos, erupciones volcánicas, industrias, etc. (Honorio & Baker, 2010).

### **2.2.3 DIÓXIDO DE CARBONO (CO<sub>2</sub>)**

Es un compuesto inorgánico formado por el enlace simétrico de un átomo de carbono y dos átomos de oxígeno, especialmente dispuestos para formar una molécula lineal de tres átomos de la siguiente manera: O = C = O. En condiciones normales es un gas inerte que se produce principalmente como un subproducto de procesos de combustión (Malhi et al., 2009).

### **2.2.4 FLUJO DE CO<sub>2</sub> DEL SUELO**

La respiración del suelo se divide en dos tipos, respiración autótrofa de CO<sub>2</sub>, que es producto de la actividad metabólica y la respiración heterótrofa, donde el CO<sub>2</sub> es producido por animales detritívoros, y niveles tróficos superiores, ya que consumen materia orgánica (Anexo 08) (Malhi et al., 2009).

### **2.2.5 HUMEDALES**

Los humedales, lagos, ríos, pantanos, turberas, manglares y arrecifes de coral son esenciales para el ecosistemas y contribuyen a los medios de vida de las personas. Los humedales son una fuente y purificadora de agua, nos protegen de inundaciones, sequías y otros desastres, proporcionan alimentos y medios de vida a las personas, mantienen una biodiversidad valiosa y almacenan más carbono que cualquier otro ecosistema (Ramsar, 2018).

## **2.3. MARCO TEÓRICO NORMATIVO**

### **2.3.1 CONSTITUCIÓN POLÍTICA DEL PERÚ**

El artículo 68 de la Constitución Política del Perú establece que el Estado tiene la obligación de promover la conservación de la biodiversidad y las áreas naturales protegidas (Gobierno del Perú, 1993).

### **2.3.2 LEY N° 28611: LEY GENERAL DEL AMBIENTE**

La Ley General del Medio Ambiente (2005) En el artículo 99 de la Ley General del Ambiente, el Estado reconoce la importancia de los humedales como hábitat de especies

vegetales y animales, especialmente de aves migratorias, y prioriza la protección de los vulnerables frente a otros usos. ecosistemas que incluyen humedales

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

Ante las amenazas recientes a los humedales del país, se han implementado estrategias para crear una herramienta que permita abordar los nuevos desafíos de la gestión de la biodiversidad en los ecosistemas de humedales en beneficio de los pueblos indígenas, las comunidades locales y el país en su conjunto (MINAM, 2015).

### **2.3.4 DECRETO SUPREMO N.º 006-2021-MINAM: DISPOSICIONES GENERALES PARA LA GESTIÓN MULTISECTORIAL Y DESCENTRALIZADA DE LOS HUMEDALES**

Según MINAM (2021), el D.S. busca los siguientes:

- 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

## **2.3 HIPÓTESIS**

### **2.3.1 HIPÓTESIS GENERAL**

El flujo de dióxido de carbono del suelo en el humedal de la Bahía Interior de Puno, actúa como fuente de CO<sub>2</sub> para la atmósfera.

### **2.3.2 HIPÓTESIS ESPECÍFICAS**

- Los flujos de dióxido de carbono varían espacialmente de acuerdo a las zonas de estudio en humedales de la Bahía Interior de Puno.

- Existe variación de los flujos de dióxido de carbono entre época lluviosa y seca en humedales de la Bahía Interior de Puno.
- La variación espacial de los flujos de dióxido de carbono del suelo es determinada por la variación en la magnitud de factores ambientales en humedales de la Bahía Interior de Puno.

## CAPÍTULO III

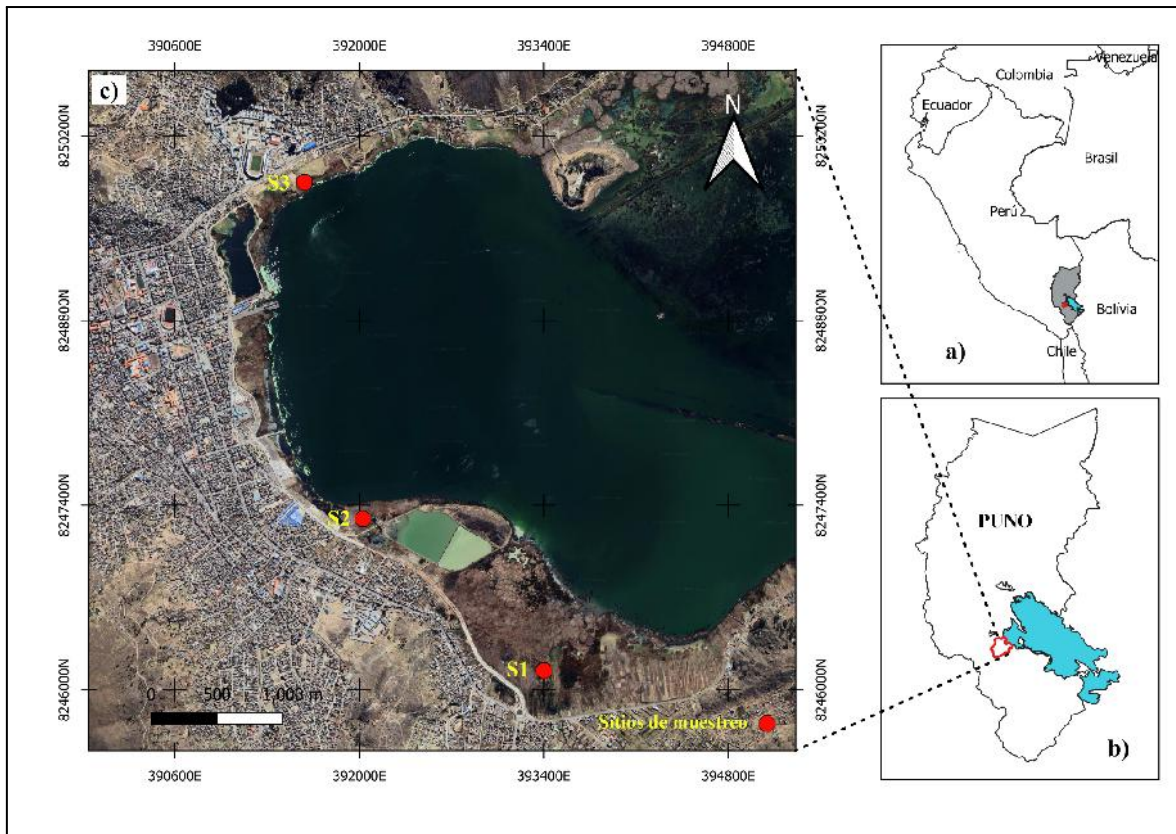
### METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

#### 3.1 ZONA DE ESTUDIO

Según Ramsar (2003) el Lago Titicaca (sector peruano), en los andes centrales, es el lago de agua dulce navegable más alto del mundo, a 3810 m encima del nivel del mar.

La bahía interior de Puno es una parte de la bahía o golfo de Puno que forma parte del Lago Titicaca. Está frente a la ciudad de Puno y tiene una superficie de alrededor de 16 km<sup>2</sup>. Se estudió el suelo que se formó por sedimentación de las aguas de la bahía (Moreno et al., 2017).

El área de estudio, de esta investigación, se encuentra ubicada al largo del litoral lacustre, específicamente en el sector de la Bahía Interior de Puno, Provincia de Puno, Región Puno. con una precipitación anual de 700-1000 mm y una temperatura promedio de 12 a 13 °C (Maldonado-Jimenez et al., 2021).



**Figura 01:** Localización del área de estudio. a) mapa de Perú; b) departamento de Puno y c) Bahía Interior de Puno.

## 3.2 TAMAÑO DE MUESTRA

### 3.2.1 POBLACIÓN

La población está definida por todas los suelos de la orilla de la Bahía interior de Puno, Lago Titicaca, la cual está principalmente formados por sedimentación, que es propia de este ecosistema. Tiene una superficie de alrededor de 16 km<sup>2</sup> (suelo y agua).

### 3.2.2 MUESTRA

Fueron seleccionados 3 sitios de medición los cuales fueron georreferenciados, los sitios fueron seleccionados de manera aleatoria según la guía para muestreo de suelos (MINAM, 2014), siendo áreas representativas. En cada sitio se instalaron 6 anillos de PVC para medición de flujo de CO<sub>2</sub> con el analizador de gases infrarrojo portátil EGM-4. Las mediciones de campo fueron en época seca y lluviosa (cuatro días consecutivos en cada época).



### 3.3 MÉTODO Y TÉCNICAS

**Tipo de investigación:** Descriptivo correlacional

**Diseño de investigación:** No experimental - Longitudinal

**Método:** Deductivo cuantitativo

#### 3.3.1 UBICACIÓN DE SITIOS DE MUESTREO

Fueron seleccionados tres sitios de medición y muestreo dentro del área de la Bahía Interior de Puno, Lago Titicaca (Tabla 1; Figura 1).

**Tabla 01:** Sitios de medición y muestreo en la Bahía interior de Puno.

Sitios de medición y muestreo	Coordenadas geográficas		Zona de medición y muestreo
	X	Y	
S1	393275.8	8246299.5	Frente a Salcedo
S2	391813.5	8247308.3	Cercanías de la Isla Espinar
S3	391849	8249947.1	Frente a la UNA - Puno

#### 3.3.2 MEDICIÓN DE FLUJO DE CO<sub>2</sub> DEL SUELO

En el área de estudio se realizaron mediciones de flujo de CO<sub>2</sub> en suelo en los sitios S1, S2 y S3. Los flujos de CO<sub>2</sub> se midieron en dos épocas climáticas (lluvioso y seco) durante 04 días en cada época, recolectada una vez por día en horario diurno entre las 8:00 am y las 13:00 pm por un sistema dinámico cerrado con analizador de gases infrarrojo portátil EGM-4 (PP Systems, Hitchin, UK), conectado a una cámara de respiración del suelo SRC-1 (PP Systems, Hitchin, UK) (Figura 05; Anexo 09), basado en la absorción de radiación en la banda infrarroja por parte del CO<sub>2</sub> (Tabla 02). Las mediciones se realizaron en el período de estudio correspondiente a octubre de 2022 y enero de 2023.

**Tabla 02:** Especificaciones técnicas de analizador de gases infrarrojo portátil EGM-4 (PP Systems, Hitchin, UK)

Característica	PP-System (PPS)
Precisión	1%
Funcionamiento	Manual
Aproximación	Lineal o cuadrática
Rango de medidas	CO <sub>2</sub> : 0 - 100 000 ppm
Tipo IRGA	Rayo infrarrojo no dispersivo
Longitud de onda IRGA	4.26 um
Movimiento del aire	Ventilador
Instrumentación en la cámara	No
Instrumentación en IRGA BEnch	Barómetro
Rectificación or humedad	No

Fuente: (PP-Systems, 2010).

### 3.3.3 CÁLCULO DE LOS FLUJOS DE DIÓXIDO DE CARBONO

Los flujos de CO<sub>2</sub> (g m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>) se integraron en función del tiempo y se calcularon mediante la siguiente ecuación (Marthews et al., 2014) (Anexo 03 a 05):

$$F_S = \left( \frac{C_n - C_1}{t_n - t_1} \right) \left( \frac{P}{T_a + 273.15} \right) \left( \frac{V_d}{A} \right) \left( \frac{44.01 \times 0.36}{R} \right) g \text{ CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$$

$$F_{sc} = F_S \left( \frac{V_d + V_c}{V_d} \right) g \text{ CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$$

$F_s$  = Flujo de  $\text{CO}_2$  sin corrección ( $\text{g m}^{-2} \text{h}^{-1}$ )

$F_{sc}$  = Flujo de  $\text{CO}_2$  corregido ( $\text{g CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{h}^{-1}$ )

$C_n - C_1$  = Diferencia de flujo de  $\text{CO}_2$ , normalmente entre las últimas 10 lecturas por medición, o entre el primer y el último valor de flujo si la medición tuvo menos de 10 lecturas, en ppmv

$t_n - t_1$  = Diferencia de tiempo, en segundos, sobre la cual se calculó la diferencia en el flujo de  $\text{CO}_2$ .

$P$  = Presión atmosférica en milibares (mb), promediada sobre  $t_n - t_1$  medida por el EGM

$T_a$  = Temperatura del aire ( $^{\circ}\text{C}$ ), convertir a Kelvin (K)

$V_d$  = volumen dentro de la cámara de respiración EGM (Volumen de la cámara SRC-1)

$A$  = Área de suelo sobre la cual se midió el flujo de  $\text{CO}_2$  (cubierta por la cámara ( $\text{m}^2$ ))

$R$  = Constante universal de los gases ( $8.314 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$ )

$V_c$  = volumen de la cámara de respiración sobre la superficie del suelo en el momento de la medición (volumen total de la cámara interna ( $\text{m}^3$ ))

44.01 = Peso molecular de  $\text{CO}_2$  ( $\text{g / mol}$ )

### 3.3.4 MEDICIÓN DE FACTORES BIOCENOSIS Y BIOTOPO

Las mediciones de los factores bióticos (biomasa de raíces y carbono orgánico) y abióticas (temperatura y humedad del suelo) se realizaron en cada punto. Carbono orgánico y humedad del suelo se realizó en el laboratorio de suelos (UNA-Puno), mientras que la temperatura del suelo se midió al momento de medición de flujos de  $\text{CO}_2$  con un termómetro digital. Así mismo, temperatura del aire, humedad relativa, presión atmosférica y velocidad del viento (Anemómetro Multifuncional GM8910).

### 3.4 IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES

Variable independiente: Suelo en el humedal de la Bahía Interior de Puno

Variable dependiente: Flujo de dióxido de carbono

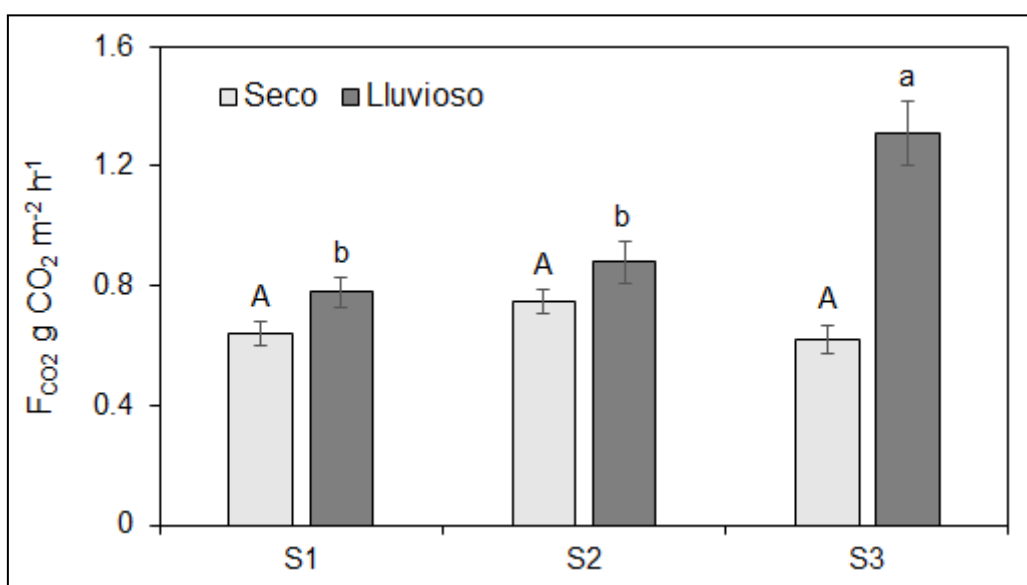
### 3.5 MÉTODO O DISEÑO ESTADÍSTICO

La normalidad de los datos de flujos de CO<sub>2</sub> y las variables bióticas y abióticas se determinaron mediante el método de ajuste de Shapiro-Wilks, pruebas t de Student y ANOVA para diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) de los flujos entre las diferentes zonas de muestreo, periodos estacionales (lluvioso y seco) en el humedal de la Bahía Interior del Lago Titicaca, cuando las distribuciones son normales. Se utilizó la prueba de Kruskal-Wallis para datos no normales. Los análisis estadísticos se calcularon utilizando el software estadístico BioEstat 5.0. Para evaluar la relación entre flujo de CO<sub>2</sub> con factores bióticos y abióticos, estación y zona, fueron evaluadas mediante correlaciones lineales de Pearson utilizando el software estadístico InfoStat 12 (Anexo 02).

## CAPÍTULO IV

### EXPOSICIÓN Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

#### 4.1 CUANTIFICAR LOS FLUJOS DE DIÓXIDO DE CARBONO DEL SUELO EN DIFERENTES ZONAS EN HUMEDALES DE LA BAHÍA INTERIOR DE PUNO.



**Figura 02:** Flujo de CO<sub>2</sub> del suelo de la Bahía Interior del Lago Titicaca en S1 (Frente a Salcedo), S2 (Cercanías de la Isla Espinar) y S3 (Frente a la UNA - Puno), letras diferentes indican diferencias significativas por la prueba de Tukey ( $p < 0.05$ ).

Evaluando el flujo de CO<sub>2</sub> en el sistema suelo-atmósfera en relación a las diferentes zonas de estudio, notamos que existe una ligera diferencia entre las medidas en época seca, sin ser significativa la diferencia entre las tres zonas de estudio. En la época lluviosa, existe diferencia estadística significativa ( $p < 0.05$ ) en S3 (Frente a la UNA - Puno) respecto a S1 (Frente a Salcedo) y S2 (Cercanías de la Isla Espinar) (Figura 02).

En un bofedal ubicado en el distrito de Capaso del departamento de Puno se observó el

mismo comportamiento con este estudio entre los sitios de estudio y las épocas, con poca o mínima diferencia significativa en los sitios de medición de flujo de CO<sub>2</sub> (Checalla, 2023). Asimismo, existe variación estacional y temporal de la respiración del suelo causada por el incremento de las lluvias (Ayala et al., 2018). Del mismo modo, Cruz-Sánchez et al. (2022) indica que la respiración del suelo en bosque templado varía tanto temporal como espacialmente entre las coberturas vegetales.

#### 4.1.1 Condiciones atmosféricas y del suelo

**Tabla 03:** Temperatura del suelo (Ts), temperatura del aire (Tar), humedad relativa (HR), velocidad del viento (Vv), presión atmosférica (P) e iluminación en época seca y lluviosa. Letras diferentes indican diferencias significativas por la prueba de Tukey ( $p < 0.05$ ).

Época	Ts (°C)	Tar (°C)	HR (%)	Vv (m/s)	P (hPa)	Iluminación (Lux)
	Media ± E.E	Media ± E.E	Media ± E.E	Media ± E.E	Media ± E.E	Media ± E.E
06/10/22	19.22 ± 0.37	25.22 ± 1.03	17.77 ± 0.86	1.93 ± 0.25	651.18 ± 1.55	51441.67 ± 3170.33
07/10/22	14.14 ± 0.43	17.23 ± 1.6	28.67 ± 2.00	1.67 ± 0.58	644.47 ± 0.06	7369.17 ± 337.12
08/10/22	8.59 ± 0.39	20.25 ± 0.47	23.98 ± 1.98	1.25 ± 0.3	647.83 ± 0.08	51492 ± 3120
09/10/22	19.33 ± 0.73	21.18 ± 0.98	35.83 ± 0.94	3.15 ± 0.46	641.95 ± 0.22	47151.33 ± 4738.67
<b>Seco</b>	<b>15.32 ± 0.58<sup>b</sup></b>	<b>± 20.97 ± 0.78<sup>b</sup></b>	<b>± 26.56 ± 1.55<sup>b</sup></b>	<b>± 2.00 ± 0.24<sup>a</sup></b>	<b>646.36 ± 0.81<sup>a</sup></b>	<b>39363.54 ± 4155.98<sup>b</sup></b>
04/01/23	18.12 ± 0.33	27.85 ± 1.13	36.25 ± 1.28	1.68 ± 0.11	644.81 ± 0.43	54612 ± 0.00
05/01/23	19.07 ± 0.60	26.45 ± 0.56	34.33 ± 1.28	1.83 ± 0.10	644.66 ± 0.41	54612 ± 0.00
06/01/23	18.42 ± 0.36	26.75 ± 1.39	34.23 ± 2.31	1.75 ± 0.14	646.92 ± 0.65	53112 ± 1500
07/01/23	16.86 ± 0.41	20.80 ± 1.08	42.10 ± 2.22	2.08 ± 0.07	646.73 ± 0.33	43450.33 ± 4895.07
<b>Lluvioso</b>	<b>18.12 ± 0.23<sup>a</sup></b>	<b>± 25.46 ± 0.76<sup>a</sup></b>	<b>± 36.73 ± 1.09<sup>a</sup></b>	<b>± 1.84 ± 0.06<sup>a</sup></b>	<b>645.78 ± 0.31<sup>a</sup></b>	<b>51446.58 ± 1538.68<sup>a</sup></b>

E.E = error estándar de la media

En la época seca la temperatura del suelo ( $T_s$ ) varió de 8.59 a 19.33 y durante la época lluviosa varió de 16.86 a 19.07 °C, con mayor  $T_s$  en la época lluviosa (18.12 °C) y menor en época seca (15.32 °C), siendo estadísticamente significativa entre época ( $p < 0.05$ ). La temperatura del aire ( $T_a$ ), varió de 17.23 a 25.22 °C en la época seca y de 20.80 a 27.85 °C en la época lluviosa, siendo mayor en época lluviosa, mostrando diferencia estadística significativa entre época ( $p < 0.05$ ). La humedad relativa (HR) fue mayor en época lluviosa (36.73 %) y menor en época seca (26.56%), con diferencia estadística significativa entre época ( $p < 0.05$ ). La velocidad del viento ( $V_v$ ) y presión atmosférica ( $P$ ) sin diferencias significativas entre épocas y la iluminación mostró diferencia significativa entre épocas, con mayor intensidad de iluminación en época lluviosa (Tabla 03).

La temperatura del suelo del bofedal Huachipampa durante los periodos de evaluación registró valores dentro del rango de 4.3 a 9 °C, mientras que los valores para Tambo Real entre 8.6 a 11.7 °C (Baldoceña, 2020), esos valores de temperatura son menores al presente estudio.

#### 4.1.2 Propiedades del suelo

**Tabla 04:** Altura del agua, pH, humedad del suelo (HS), carbono orgánico del suelo (COS), materia orgánica del suelo (MO\_S), conductividad eléctrica (C.E.) y materia seca de la raíz (MS\_RAIZ) en época seca y lluviosa. Letras diferentes indican diferencias significativas por la prueba de Tukey ( $p < 0.05$ ).

Sitio	Altura H <sub>2</sub> O (cm)	pH	HS (%)	COS (%)	MO_S (%)	C.E. mS/cm	MS_RAIZ (%)
S1	-26.83	7.6	22.4	2.3	3.98	0.7	39.1
S2	-28.4	7.58	29.8	0.81	1.39	0.69	51.87
S3	-25.45	7.82	23.6	0.81	1.49	0.69	40.9
<b>Seco</b>	<b>-26.89 ± 0.45<sup>a</sup></b>	<b>7.67 ± 0.08<sup>a</sup></b>	<b>25.27 ± 2.29<sup>b</sup></b>	<b>1.31 ± 0.49<sup>a</sup></b>	<b>2.29 ± 0.85<sup>a</sup></b>	<b>0.69 ± 0.01<sup>b</sup></b>	<b>43.96 ± 3.99<sup>a</sup></b>
S1	-10.25	7.67	34.66	2.37	4.08	0.78	15.69
S2	-13.33	7.63	41.85	1.08	1.86	0.78	20.57
S3	-10.2	7.91	36.68	1	1.74	0.85	13.42
<b>Lluvioso</b>	<b>-11.26 ± 0.65<sup>b</sup></b>	<b>7.74 ± 0.09<sup>a</sup></b>	<b>37.73 ± 2.14<sup>a</sup></b>	<b>1.48 ± 0.44<sup>a</sup></b>	<b>2.56 ± 0.76<sup>a</sup></b>	<b>0.80 ± 0.02<sup>a</sup></b>	<b>16.56 ± 2.11<sup>b</sup></b>

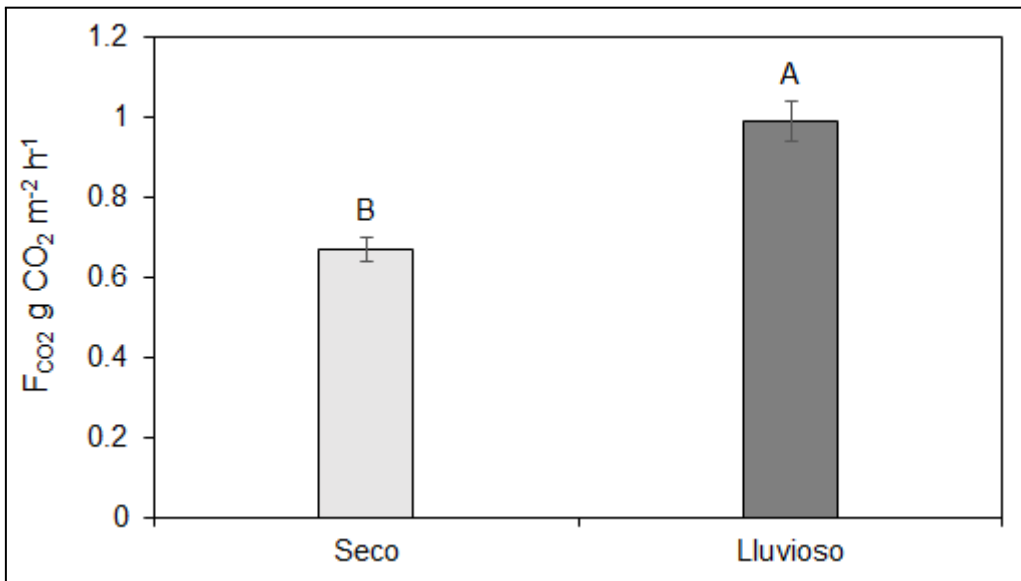
La altura del agua, fue mayor en la época seca  $-26.89 \pm 0.45$  cm y  $-11.26 \pm 0.65$  cm respecto del suelo en época lluviosa, esta diferencia es estadísticamente significativa entre época ( $p < 0.05$ ). El pH del suelo sin variación entre la época seco y lluvioso, la humedad del suelo (HS) mostró variación entre época, siendo en la época seco de 25.27 % y en la época lluvioso 37.73 %, estadísticamente significativa entre época ( $p < 0.05$ ). El contenido



de carbono orgánico del suelo (COS) y materia orgánica del suelo (MO\_S) son variación entre época seca y lluviosa, la conductividad eléctrica (C.E.) fue mayor en época lluviosa 0.80 mS/cm, con diferencia significativa entre época ( $p < 0.05$ ), así mismo, la materia seca de la raíz (MS\_RAIZ), fue mayor en época seco de 43.96 %, estadísticamente significativa entre época ( $p < 0.05$ ) (Tabla 04).

El contenido de materia orgánica del suelo del humedal de la Bahía interior del Lago Titicaca es semejante al de suelos agrícolas de México con valores de 1.74, 2.99 y 3.10 %, asimismo, la conductividad eléctrica es menor en época seca a comparación de la época lluviosa, indicando que el contenido de sales es mayor en época lluviosa (Albíter-Pineda et al., 2020). En humedales de Huachipampa y Tambo Real en Lima, los valores de MO variaron entre 1.07 % a 49.12 %, el pH se encontraron dentro del rango de 5 a 6.9, que corresponde a la clasificación de moderadamente ácido a ligeramente ácido, la humedad del suelo encontrado fue de 18.52 % y 43.35 % (Baldoceada, 2020). En el presente estudio la mayor contenido de materia orgánica coincidió con altos valores de humedad. En otro estudio, en suelos de bofedal en la Región Puno, la MO fue de 5.25% (Mamani & Mamani, 2019).

#### 4.2 COMPARAR LOS FLUJOS DE DIÓXIDO DE CARBONO DEL SUELO ENTRE ÉPOCA LLUVIOSA Y SECA EN HUMEDALES DE LA BAHÍA INTERIOR DE PUNO.



**Figura 03:** Letras diferentes indican diferencias significativas por la prueba de Tukey ( $p < 0.05$ ).

El flujo de CO<sub>2</sub> en el humedal de la Bahía Interior del Lago Titicaca es mayor en época lluviosa respecto a la época seca, siendo estadísticamente significativa ( $p < 0.05$ ) entre época seca y lluviosa, con media de 0.67 y 0.99 g CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup> en época seca y lluviosa, respectivamente (Tabla 05 y Figura 03).

En bofedal del distrito de Capaso el flujo de CO<sub>2</sub> fue mayor en época lluviosa (1.25 g CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>) en comparación a la época seca (0.63 g CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>), estos valores son muy similares al presente estudio en suelo de la Bahía Interior del Lago Titicaca (Checalla, 2023). En bosque tropical en México el flujo de CO<sub>2</sub> del suelo fluctúa en tres temporadas del año fue de 0.63 g CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup> (Arellano-Martín et al., 2022), que es muy parecido al obtenido en época seca del presente estudio. Por otro lado, Becerra (2021) en su investigación realizada en Colombia en tres tipos de cobertura, para explicar los factores que más influyen en estas fluctuaciones. En cuanto al flujo de CO<sub>2</sub> encontró una diferencia significativa entre los flujos de las tres coberturas, y el valor promedio de CO<sub>2</sub> ( $20 \pm 0.40$  mgC/m<sup>2</sup>\*s) en la cuenca hidromórfica. Para los factores que tienen un impacto

significativo en las fluctuaciones de flujo, el tipo de recubrimiento, la temperatura del suelo y el pH describen alrededor del 36,7 % de las variaciones de flujo para el CO<sub>2</sub>.

**Tabla 05:** Flujo de CO<sub>2</sub> diario y por época del suelo de la Bahía Interior del Lago Titicaca. Por la prueba de Tukey, las letras minúsculas muestran diferencias significativas entre épocas, mientras que las letras mayúsculas muestran diferencias significativas entre diferentes métodos de medición de época ( $p < 0.05$ ).

Fecha	06/10/22	07/10/22	08/10/22	09/10/22	Seco
Mín/Máx	0.58/1.38	0.20/0.77	0.29/0.71	0.47/0.90	<b>0.20/1.38</b>
Media ± E.E	0.93 ± 0.04 <sup>A</sup>	0.54 ± 0.03 <sup>C</sup>	0.51 ± 0.03 <sup>C</sup>	0.70 ± 0.04 <sup>B</sup>	<b>0.67 ± 0.03<sup>B</sup></b>
Fecha	04/01/23	05/01/23	06/01/23	07/01/23	Lluvioso
Mín/Máx	0.51/2.37	0.62/2.18	0.50/1.98	0.18/1.15	<b>0.18/2.37</b>
Media ± E.E	1.20 ± 0.12 <sup>A</sup>	1.11 ± 0.11 <sup>A</sup>	0.95 ± 0.09 <sup>AB</sup>	0.71 ± 0.06 <sup>B</sup>	<b>0.99 ± 0.05<sup>a</sup></b>

Min = mínimo; máx = máx; E.E = error estándar de la media.

Al observar el flujo de CO<sub>2</sub> diaria en época seca, existe variación significativa entre los días de medición con mayor flujo el primer día. En la época lluviosa existe una menor variación entre los días de medición de flujo de CO<sub>2</sub>, con mayor flujo el primer día (Tabla 05).

Según Cruz-Sánchez et al. (2022) en suelos de bosque templado en México mostraron una variación de 0.33 y 0.82 g CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup> en invierno y primavera respectivamente, estos valores son concordantes al presente estudio. El carbono almacenado puede liberarse a la atmósfera debido a la disminución de la humedad de la turba y acelerar los procesos de calentamiento global (Harenda et al., 2018). Es importante mantener la humedad del suelo para evitar alteraciones en el flujo de CO<sub>2</sub>.

### 4.3 EVALUAR LA RELACIÓN ENTRE EL FLUJO DE CO<sub>2</sub> DEL SUELO Y LOS FACTORES AMBIENTALES

**Tabla 06:** Correlación de Pearson entre las variables analizadas (Índice de significancia, p-value <0.05) en época seca y lluviosa. Flujo de CO<sub>2</sub> del suelo; Tar - temperatura del aire; HR - humedad relativa; Vv - velocidad del viento; P - presión atmosférica e iluminación.

Variables	Tar	HR	Vv	P	Iluminación
F <sub>CO2</sub>	<b>0.51**</b>	0.07 <sup>NS</sup>	0.00 <sup>NS</sup>	-0.07 <sup>NS</sup>	<b>0.37**</b>
Tar		-0.12 <sup>NS</sup>	0.13 <sup>NS</sup>	0.19*	0.64**
HR			0.05 <sup>NS</sup>	-0.49**	0.02 <sup>NS</sup>
Vv				-0.19*	0.07 <sup>NS</sup>
P					0.14 <sup>NS</sup>

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

El análisis de correlación entre el flujo de CO<sub>2</sub> con la temperatura de aire e iluminación, para las diferentes zonas en época seca y lluviosa mostró diferencia significativa (p<0.05). Indicando la importancia de la Tar y la iluminación en el flujo de CO<sub>2</sub> de los suelos. Sin embargo, no se encontró una correlación entre los flujos de CO<sub>2</sub> y la humedad relativa, la velocidad del viento y la presión atmosférica.

En un bofedal ubicado en el distrito de Capaso del departamento de Puno reportan que existe relación de flujo de CO<sub>2</sub> con la temperatura del aire y iluminación (Checalla, 2023), ese mismo comportamiento fue observado en la presente investigación.

**Tabla 07:** Correlación de Pearson entre las variables analizadas (Índice de significancia, p-value <0.05) en época seca y lluviosa.  $F_{CO_2}$  - Flujo de  $CO_2$  del suelo; TS - temperatura del suelo; napa freática; HS - humedad del suelo; COS - carbono orgánico del suelo; MO\_S - materia orgánica del suelo; C.E. - conductividad eléctrica; pH - potencial de ; MS\_RAIZ - materia seca de la raíz.

Variabl e	Ts	Napa freática	HS	COS	MO_S	C.E.	pH	BS RAÍZ
$F_{CO_2}$	<b>0.49**</b>	-0.37**	<b>0.39**</b>	-0.17 <sup>NS</sup>	-0.17 <sup>NS</sup>	<b>0.54**</b>	<b>0.36**</b>	<b>-0.40**</b>
Ts		-0.33	0.29	0.05	0.05	0.42	0.21	-0.38
Napa freática			-0.8	-0.17	-0.16	-0.92	-0.4	0.97
HS				-0.18	-0.19	0.78	0.09	-0.72
COS					1	0.02	-0.37	-0.26
MO_S						0.01	-0.36	-0.26
C.E.							0.53	-0.92
pH								-0.44

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

La correlación de Pearson nos indica que existe una correlación significativa y positiva (p<0.05) el flujo de  $CO_2$  con la temperatura del suelo (Ts), humedad del suelo (HS), conductividad eléctrica (C.E.) y pH. Así mismo, tuvo una correlación significativa negativa el flujo de  $CO_2$  con la mapa freática y biomasa seca de raíces (BS\_RAIZ) y el carbono orgánico del suelo y materia orgánica del suelo la correlación con el flujo de  $CO_2$  fue no

significativa (Tabla 06).

En un estudio en un bofedal ubicada en el distrito de Capaso la temperatura y humedad del suelo tuvieron correlación significativa y positiva con los flujos de CO<sub>2</sub> (Checalla, 2023), ese resultado es similar a la presente investigación donde la temperatura y humedad del suelo mostraron correlación significativa con los flujos de CO<sub>2</sub> del suelo. Igualmente, en suelos áridos en México los principales factores para mayores tasas de respiración del suelo fueron la humedad y temperatura, incrementan la actividad microbiana del suelo (Ayala et al., 2018; Albíter-Pineda et al., 2020; Cruz-Sánchez et al., 2022). En área verde urbana los que más promovieron las emisiones son la precipitación, humedad relativa del aire y contenido de humedad del suelo (Silva, 2022).

## CONCLUSIONES

**PRIMERA:** El flujo de CO<sub>2</sub> no varía respecto a las tres zonas de estudio, sin embargo, existe diferencia estadística significativa S3 (Frente a la UNA - Puno) respecto a S1 (Frente a Salcedo) y S2 (Cercanías de la Isla Espinar) en la época lluviosa. La temperatura del suelo, aire y humedad relativa fue mayor en época lluviosa, humedad del suelo, carbono orgánico del suelo y conductividad eléctrica fueron mayores en época lluviosa.

**SEGUNDA:** El flujo de CO<sub>2</sub> del suelo del humedal de la Bahía Interior del Lago Titicaca varía entre época y seca, con mayor emisión de CO<sub>2</sub> del suelo a la atmósfera en la época lluviosa, por acción de las lluvias que aumenta la humedad del suelo y la actividad microbiana del suelo.

**TERCERA:** La temperatura del aire e iluminación influyen en el flujo de CO<sub>2</sub> del suelo, así mismo, la temperatura del suelo, humedad del suelo, conductividad eléctrica y pH influyen en la emisión de CO<sub>2</sub> del suelo. Los hallazgos muestran que la combinación de la temperatura y la humedad del suelo, junto con los efectos de la conductividad y el pH del suelo, son los principales factores que afectan el cambio en la tasa de emisión de CO<sub>2</sub> del suelo.

## RECOMENDACIONES

**PRIMERA:** Con el fin de llegar a una mejor comprensión de la dinámica del CO<sub>2</sub> y sus componentes en este entorno, los estudios adicionales deberían explorar los patrones a largo plazo de los diferentes humedales, incluida la tendencia estacional.

**SEGUNDA:** .Es necesario seguir estudiando la dinámica respiratoria de las comunidades vegetales durante mucho tiempo para obtener resultados más estables y precisos.

**TERCERA:** Cabe señalar que los datos obtenidos se reportan primero en los sitios evaluados, por lo que es importante continuar midiendo durante todo el año para caracterizar el comportamiento de suelo de humedales altoandinos. Estos datos son importantes para la toma de decisiones que contribuirá a la mitigación del cambio climático.



## BIBLIOGRAFÍA

- Albíter-Pineda, J. F., Vaca, R., Aguila, P. del, Yáñez-Ocampo, G., Lugo, J., Albíter-Pineda, J. F., Vaca, R., Aguila, P. del, Yáñez-Ocampo, G., & Lugo, J. (2020). Flujo de CO<sub>2</sub> y su relación con propiedades bioquímicas en cultivos hortícolas en invernadero. *Ecosistemas y recursos agropecuarios*, 7(3).  
<https://doi.org/10.19136/era.a7n3.2548>
- Alvis-Ccoropuna, T., Villasante-Benavides, J. F., Pauca-Tanco, G. A., Quispe-Turpo, J. del P., Luque-Fernández, C. R., Alvis-Ccoropuna, T., Villasante-Benavides, J. F., Pauca-Tanco, G. A., Quispe-Turpo, J. del P., & Luque-Fernández, C. R. (2021). Cálculo y valoración del almacenamiento de carbono del humedal altoandino de Chalhuanca, Arequipa (Perú). *Revista de Investigaciones Altoandinas*, 23(3), 139–148. <https://doi.org/10.18271/ria.2021.314>
- Anderson, T. G., Christie, D. A., Chávez, R. O., Olea, M., & Anchukaitis, K. J. (2021). Spatiotemporal Peatland Productivity and Climate Relationships Across the Western South American Altiplano. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*, 126(6), e2020JG005994. <https://doi.org/10.1029/2020JG005994>
- Arellano-Martín, F., Dupuy, J. M., Us-Santamaría, R., & Andrade, J. L. (2022). El flujo de CO<sub>2</sub> del suelo fluctúa en tres temporadas del año en un bosque tropical semideciduo de Yucatán, México. *Terra Latinoamericana*, 40. <https://doi.org/10.28940/terra.v40i0.968>
- 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), 93–104. <https://doi.org/10.28940/terra.v36i2.334>
- Baldoceda, I. A. (2020). *Análisis de la humedad de suelo de los bofedales Huachipampa y Tambo Real, en la Reserva Paisajística Nor Yauyos Cochabamba* [Tesis Pregrado, Universidad Católica Sedes Sapientiae]. <https://repositorio.ucss.edu.pe/handle/20.500.14095/814>

- Becerra, A. F. (2021). *Emisiones de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y metano (CH<sub>4</sub>) suelo-atmósfera en tres coberturas de un paisaje de turberas de la Amazonía Nororiental Colombiana* [Tesis Pregrado, Pontificia Universidad Javeriana]. <http://repositorio.javeriana.edu.co/handle/10554/58982>
- Checalla, J. (2023). *Flujo de dióxido de carbono del suelo en el bofedal del sector Pampa Uta, en el Distrito de Capaso—El Collao, 2022* [Tesis de Pre grado, Universidad Privada San Carlos]. <http://repositorio.upsc.edu.pe/handle/UPSC/508>
- Cruz-Sánchez, Y., López-Teloxa, L. C., Gómez-Díaz, J. D., Monterroso-Rivas, A. I., Cruz-Sánchez, Y., López-Teloxa, L. C., Gómez-Díaz, J. D., & Monterroso-Rivas, A. I. (2022). Respiración de CO<sub>2</sub> desde el suelo en bosques templados del Parque Nacional Iztaccihuatl-Popocatepetl, centro de México. *Bosque (Valdivia)*, 43(2), 125–133. <https://doi.org/10.4067/S0717-92002022000200125>
- FAO. (2017). *Soil organic carbon: The hidden potential*. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). <http://www.fao.org/3/a-i6937e.pdf>
- FAO, ITPS, GSBI, CDB, & CE. (2021). *Estado del conocimiento sobre la biodiversidad del suelo—Situación, desafíos y potencialidades. Resumen para los formuladores de políticas*. FAO. <https://www.fao.org/documents/card/es/c/cb1929es/>
- Flores, E., Tacuna, R., & Clavo, V. (2014). *Marco conceptual y metodológico para estimar el estado de salud de los bofedales* (Nota Técnica 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>
- Formiga, L. D. A. da S., Andrade, A. P. de, Araujo, K. D., Santos, A. M. da S., Silva, D. S. da, & Lima, L. B. (2017). Dióxido de carbono liberado do solo em áreas de caatinga sob pastejo caprino. *Revista Biociências*, 23(2), Artigo 2. <http://revistas.unitau.br/ojs/index.php/biociencias/article/view/2472>
- Gobierno del Perú. (1993). *Constitución Política del Perú*.

<https://www.gob.pe/institucion/presidencia/informes-publicaciones/196158-constitucion-politica-del-peru>

Harenda, K. M., Lamentowicz, M., Samson, M., & Chojnicki, B. H. (2018). The Role of Peatlands and Their Carbon Storage Function in the Context of Climate Change. Em T. Zielinski, I. Sagan, & W. Surosz (Orgs.), *Interdisciplinary Approaches for Sustainable Development Goals* (p. 169–187). Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-71788-3\\_12](https://doi.org/10.1007/978-3-319-71788-3_12)

Hernández, M. E., Moreno-Casasola Barceló, P., Hernández, M. E., & Moreno-Casasola Barceló, P. (2018). Almacenes y flujos de carbono en humedales de agua dulce en México. *Madera y bosques*, 24(SPE). <https://doi.org/10.21829/myb.2018.2401881>

Hernández-Alarcón, M. E., Paz-Pellat, F., & Hernández-Sánchez, A. A. (2019). Base de datos de almacenes y flujos de carbono en humedales de agua dulce de México. *Elementos para Políticas Públicas*, 3(1), Artículo 1. <http://www.elementospolipub.org/ojs/index.php/epp/article/view/8>

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>

Huaman, Y., Moreira-Turcq, P., Espinoza, R., Llanos, R., Apaéstegui, J., Turcq, B., Willems, B., Huaman, Y., Moreira-Turcq, P., Espinoza, R., Llanos, R., Apaéstegui, J., Turcq, B., & Willems, B. (2020). Influencia de los cambios climáticos en la acumulación de carbono en Bofedales Altoandinos durante los últimos 2 500 años. *Ecología Aplicada*, 19(1), 35–41. <https://doi.org/10.21704/rea.v19i1.1444>

IPCC. (2001). *Climate change 2001: The scientific basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the IPCC* (p. 893). Cambridge University Press. [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/WGI\\_TAR\\_full\\_report.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/WGI_TAR_full_report.pdf)

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).

- Izquierdo, A. E., Aragón, M. R., Navarro, C. J., & Casagrande, M. E. (2018). Humedales de la Puna: Principales proveedores de servicios ecosistémicos de la región. Em *La Puna Argentina: Naturaleza y cultura* (1–24). Fundación Miguel Lillo. <https://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/207634>
- Junior, O. B. P., Carvalho, P. V., & Couto, E. G. (2018). Study of CO<sub>2</sub> flux and soil carbon in northern Pantanal, Brazil. *Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais*, 9(5), Artigo 5. <https://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2018.005.0004>
- 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>
- Maldonado-Jimenez, I., Aparicio-Saavedra, M. E., Maldonado-Jimenez, I., & Aparicio-Saavedra, M. E. (2021). Estimación del almacenamiento de carbono en la biomasa de macrófitas en la Bahía interior de Puno, lago Titicaca. *Ecosistemas y recursos agropecuarios*, 8(2). <https://doi.org/10.19136/era.a8n2.2848>
- Malhi, Y., Saatchi, S., Girardin, C., & Aragão, L. E. O. C. (2009). The production, storage, and flow of carbon in Amazonian forests. Em M. Keller, M. Bustamante, J. Gash, & P. Silva Dias (Orgs.), *Geophysical Monograph Series* (Vol. 186, p. 355–372). American Geophysical Union. <https://doi.org/10.1029/2008GM000779>
- 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>
- Marthews, T. R., Riutta, T., Oliveras Menor, Urrutia, R., Moore, S., Metcalfe, D., Malhi, Y., Phillips, O., Huaraca Huasco, W., Ruiz Jaén, M., Girardin, C., Butt, N., & Cain, R. (2014). *Measuring Tropical Forest Carbon Allocation and Cycling: A RAINFOR-GEM Field Manual for Intensive Census Plots (v3.0)*. Global Ecosystems Monitoring network. [https://ora.ox.ac.uk/objects/uuid:f33a0929-4675-43c6-91a3-8cbcd962775/download\\_file?file\\_format=application%2Fpdf&safe\\_filename=rainfor-gemmanual.v3.0.pdf&type\\_of\\_work=Report](https://ora.ox.ac.uk/objects/uuid:f33a0929-4675-43c6-91a3-8cbcd962775/download_file?file_format=application%2Fpdf&safe_filename=rainfor-gemmanual.v3.0.pdf&type_of_work=Report)
- MINAM. (2013). *Mapa de sitios RAMSAR del Perú* [Temático]. Dirección Nacional de Diversidad Biológica. <http://siar.regionloreto.gob.pe/mapas/mapa-sitios-ramsar-peru>
- 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. (2021). *Decreto Supremo N.º 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>
- Monge-Salazar, M. J., Tovar, C., Cuadros-Adriazola, J., Baiker, J. R., Montesinos-Tubée, D. B., Bonnesoeur, V., Antiporta, J., Román-Dañobeytia, F., Fuentealba, B., Ochoa-Tocachi, B. F., & Buytaert, W. (2022). Ecohydrology and ecosystem services of a natural and an artificial bofedal wetland in the central Andes. *Science of The Total Environment*, 838, 155968. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.155968>

- Moreno, E., Argota, G., Alfaro, R., Aparicio, M., Atencio, S., & Goyzueta Camacho, G. (2017). Interactive determination by total metals in waters of inner Puno bay the Lake Titicaca-Peru. *Revista de Investigaciones Altoandinas*, 19(2), 125–134. <https://doi.org/10.18271/ria.2017.271>
- Paricahua, M. (2021). Cambio climático y desarrollo sostenible. *Revista Latinoamericana Ogmios*, 1(1), Artículo 1. <https://idicap.com/ojs/index.php/ogmios/article/view/5>
- Pauca-Tanco, A., Ramos-Mamani, C., Luque-Fernández, C. R., Talavera-Delgado, C., Villasante-Benavides, J. F., Quispe-Turpo, J. P., & Villegas-Paredes, L. (2020, junho 23). Análisis espacio temporal y climático del humedal altoandino de Chalhuanca (Perú) durante el periodo 1986-2016. *Revista de Teledetección*, 55(55), 105–118. <https://riunet.upv.es/handle/10251/147174>
- 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>
- PP-Systems. (2010). *Pp systems EGM-4 Manuals* | *ManualsLib*. <https://www.manualslib.com/products/Pp-Systems-Egm-4-9049787.html>
- Ramsar. (2003). *Annotated List of Wetlands of International Importance* (p. 5) [Ramsar Sites Information Service].
- Ramsar. (2018). *Perspectiva Mundial Sobre Los Humedales: Estado de los Humedales del mundo y de los servicios que prestan a las personas*. Secretaría de la Convención de Ramsar. <https://clmeplus.org/doculibrary/perspectiva-mundial-sobre-los-humedales-estado-de-los-humedales-del-mundo-y-de-los-servicios-que-prestan-a-las-personas-2018/>
- Ramsar. (1997). *Lago Titicaca* | *Servicio de Información sobre Sitios Ramsar*. <https://rsis.ramsar.org/es/ris/881>
- Ryan, M. G., & Law, B. E. (2005). Interpreting, measuring, and modeling soil respiration.

- Biogeochemistry*, 73(1), 3–27. <https://doi.org/10.1007/s10533-004-5167-7>
- Silva, A. V. da. (2022). *Fluxos de CO2 através da interface atmosfera / solo relvado de uma área verde urbana do Norte Interior de Portugal* [MasterThesis, Universidade Tecnológica Federal do Paraná]. <https://bibliotecadigital.ipb.pt/handle/10198/26055>
- Silva, L. B. da, Novais, J. W. Z., Sanches, L., Machado, N. G., Aquino, A. M., & Sallo, F. da S. (2017). Serrapilheira e Efluxo de Co2 do Solo em Floresta Sazonalmente Alagável no Pantanal Brasileiro. *Ensaíos e Ciência C Biológicas Agrárias e da Saúde*, 21(3), Artigo 3. <https://doi.org/10.17921/1415-6938.2017v21n3p178-182>
- Souza, G. N. B. de, Araujo, A. C. de, Vasconcelos, S. S., Leal, L. do S. M., Pinto, C. a. D., & Costa, A. C. L. da. (2017). Influência da umidade do solo sobre a variação do efluxo de CO2 do solo na floresta nacional de Caxiuanã-PA. *X Workshop Brasileiro de Micrometeorologia*, 1–6. <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/handle/doc/1084932>
- Suárez Duque, D., Acurio, C., Chimbolema, S., & Aguirre, X. (2016). Análisis del carbono secuestrado en humedales Altoandinos de dos áreas protegidas del ecuador. *Ecología Aplicada*, 15(2), 171–177. <https://doi.org/10.21704/rea.v15i2.756>
- Valencia, M. P., & Figueroa, A. (2015). Vulnerabilidad de humedales altoandinos ante procesos de cambio: Tendencias del análisis. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 14(26), 29–42. [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_abstract&pid=S1692-33242015000100003&lng=en&nrm=iso&tlng=es](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1692-33242015000100003&lng=en&nrm=iso&tlng=es)

## ANEXOS



Anexo 01: Matriz de consistencia

FLUJO DE DIÓXIDO DE CARBONO DEL SUELO EN EL HUMEDAL DE LA BAHÍA INTERIOR DE PUNO - 2022

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	INDICADORES	INSTRUMENTOS	TÉCNICA DE PROCESAMIENTO DE DATOS
<p><b>GENERAL</b> ¿Cuál será el comportamiento respecto al flujo de CO<sub>2</sub> del suelo en el humedal de la Bahía Interior de Puno, 2022?</p> <p><b>ESPECÍFICOS</b> ¿Cuánto y cómo influyen las diferentes zonas de estudio en el flujo de dióxido de carbono del suelo en los humedales de la Bahía Interior de Puno.</p>	<p><b>GENERAL</b> Evaluar los flujos de dióxido de carbono del suelo en el humedal de la Bahía Interior de Puno.</p> <p><b>ESPECÍFICOS</b> Cuantificar los flujos de dióxido de carbono del suelo en diferentes zonas en humedales de la Bahía Interior de Puno.</p> <p>Comparar los flujos de dióxido de carbono del suelo entre época lluviosa y seca en humedales de la Bahía Interior</p>	<p><b>GENERAL</b> El flujo de dióxido de carbono del suelo en el humedal de la Bahía Interior de Puno, actúa como fuente de CO<sub>2</sub> para la atmósfera.</p> <p><b>ESPECÍFICOS</b> Los flujos de dióxido de carbono varían espacialmente de acuerdo a las zonas de estudio en humedales de la Bahía Interior de Puno.</p> <p>Existe variación de los flujos de dióxido de carbono entre época lluviosa y seca en humedales de la Bahía Interior</p>	<p><b>Independiente:</b> Suelo en el humedal de la Bahía Interior de Puno</p> <p><b>Dependiente:</b> Flujo de dióxido de carbono</p>	<p>Biomasa de raíces y carbono orgánico.</p> <p>Temperatura y humedad del suelo.</p> <p>g/m<sup>2</sup> d</p>	<p><b>Técnica:</b> Medición directa en campo</p> <p><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>Estadísticas:</b> t-student ANOVA</p> <p><b>Representación:</b> Tablas de resultados y gráficos</p> <p><b>Tipo de investigación:</b> Descriptivo correlacional</p> <p><b>Diseño de investigación:</b> No experimental - Longitudinal</p> <p><b>Método:</b> Deductivo cuantitativo</p>



Bahía Interior de Puno? ¿Cuál es la relación de los flujos de dióxido de carbono del suelo y los factores ambientales?	humedales de la Bahía Interior de Puno. Evaluar la relación entre el flujo de CO <sub>2</sub> del suelo y los factores ambientales	de Puno. La variación espacial de los flujos de dióxido de carbono del suelo es determinada por la variación en la magnitud de factores ambientales en humedales de la Bahía Interior de Puno.			
---	---	---	--	--	--

## Anexo 02: Análisis de varianza de los diferentes zonas de muestreo en época seca y lluviosa

### Análisis de la varianza

Época	Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup>	Aj CV
1	Fsc CO2	72	0,08	0,05	32,14

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

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,26	2	0,13	2,82	0,0663
Punto	0,26	2	0,13	2,82	0,0663
Error	3,19	69	0,05		
Total	3,45	71			

**Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=0,14868**

Error: 0,0462 gl: 69

Punto	Medias	n	E.E.	
2	0,75	24	0,04	A
1	0,64	24	0,04	A
3	0,62	24	0,04	A

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

Época	Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup>	Aj CV
2	Fsc CO2	72	0,26	0,24	40,41

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

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	3,84	2	1,92	11,94	<0,0001
Punto	3,84	2	1,92	11,94	<0,0001
Error	11,10	69	0,16		
Total	14,94	71			

**Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=0,27734**

Error: 0,1609 gl: 69

Punto	Medias	n	E.E.	
3	1,31	24	0,08	A
2	0,88	24	0,08	B
1	0,78	24	0,08	B

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

**Anexo 03:** Medición por EGM-4 en un punto de muestreo

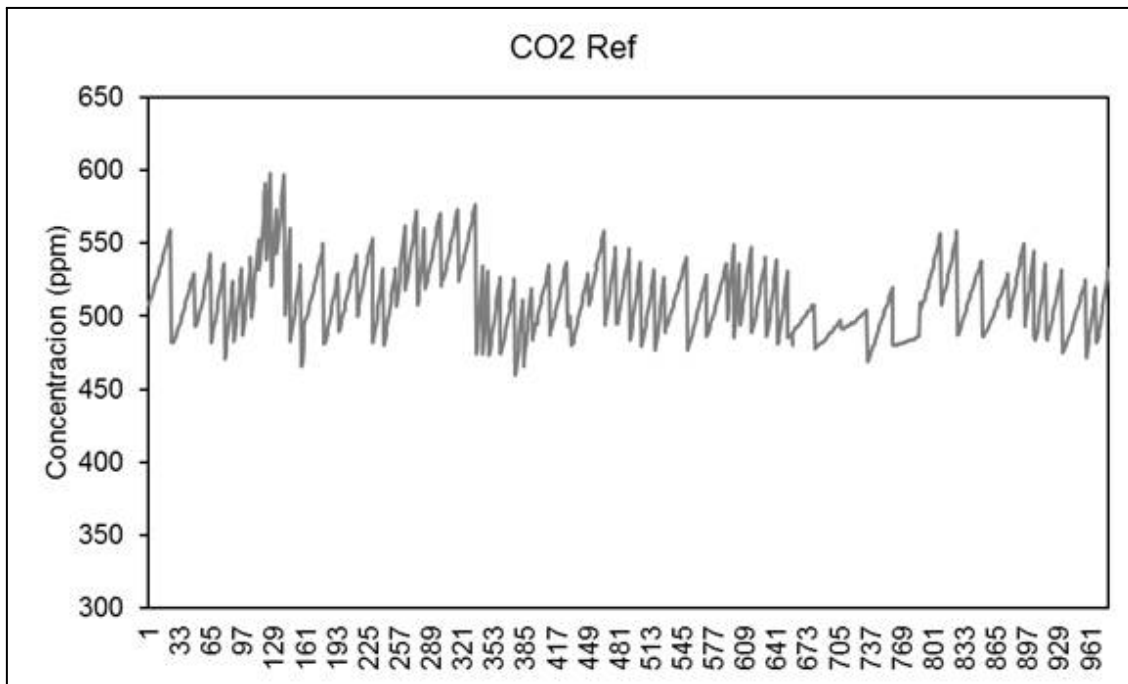
;Plot	RecNo	CO <sub>2</sub> Ref	mbR Temp	Input E	Input F	ATMP
1	1	466	31.9	0	0	646
1	2	468	32	4	0	646
1	3	480	32	9	0	646
1	4	494	32	14	1.26	646
1	1	497	21.1	0	0	648
1	2	499	21.2	4	0	648
1	3	501	21.2	9	0	648
1	4	504	21.2	14	0.32	648
1	5	506	21.2	19	0.33	648
1	6	510	21.2	24	0.34	648
1	7	512	21.2	28	0.35	648
1	8	515	21.2	33	0.35	648
1	9	518	21.2	38	0.35	648
1	10	521	21.3	43	0.36	648
1	11	524	21.4	48	0.37	648
1	12	527	21.3	52	0.37	648
1	13	530	21.3	57	0.37	648
1	14	533	21.3	62	0.37	648
1	15	536	21.4	67	0.38	648
1	16	539	21.4	72	0.38	648
1	17	542	21.4	76	0.38	648
1	18	545	21.4	81	0.38	648
1	19	550	21.5	86	0.39	647
2	1	481	22.8	0	0	648
2	2	482	22.8	4	0	648
2	3	485	22.8	9	0	648

2	4	488	22.8	14	0.33	648
2	5	492	22.8	19	0.36	648
2	6	495	22.8	24	0.39	648
2	7	499	22.8	28	0.41	648
2	8	502	22.8	33	0.42	648
2	9	506	22.8	38	0.43	648
2	10	511	22.9	43	0.45	647
2	11	513	22.9	48	0.45	648
2	12	517	22.9	52	0.46	648
2	13	523	22.9	57	0.47	647
2	14	526	23	62	0.48	647
2	15	529	23	67	0.48	648
3	1	490	23.6	0	0	647
3	2	491	23.6	4	0	648
3	3	496	23.6	9	0	647
3	4	497	23.7	14	0.32	648
3	5	501	23.7	19	0.35	647
3	6	503	23.7	24	0.35	647
3	7	504	23.7	28	0.33	648
3	8	509	23.8	33	0.34	647
3	9	512	23.8	38	0.35	647
3	10	515	23.8	43	0.36	647
3	11	518	23.8	48	0.37	647
3	12	521	23.8	52	0.37	647
3	13	525	23.9	57	0.38	647
3	14	528	23.9	62	0.38	647
3	15	531	23.9	67	0.38	647
3	16	533	23.9	72	0.38	647

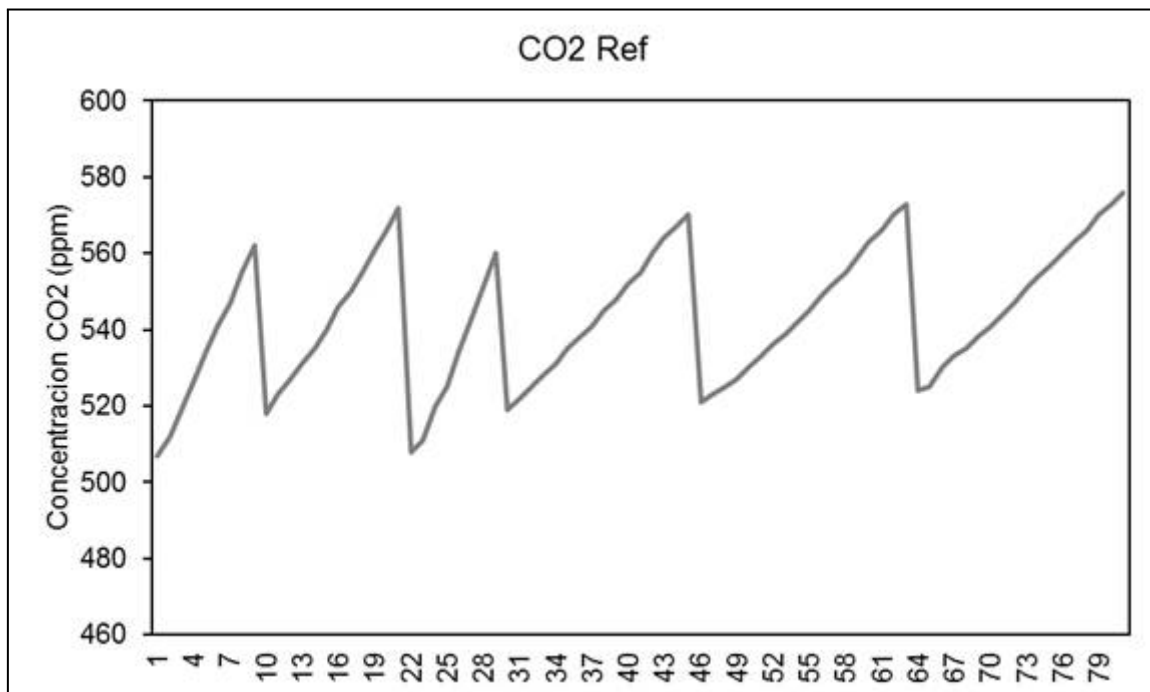
3	17	535	24	76	0.38	648
3	18	537	24	81	0.38	648
3	19	542	24	86	0.38	647
4	1	500	24.3	0	0	647
4	2	503	24.3	4	0	648
4	3	508	24.3	9	0	648
4	4	512	24.3	14	0.54	648
4	5	516	24.4	19	0.53	648
4	6	519	24.4	24	0.52	648
4	7	524	24.4	28	0.53	647
4	8	526	24.4	33	0.5	648
4	9	531	24.4	38	0.5	647
4	10	534	24.4	43	0.5	647
4	11	536	24.4	48	0.49	648
4	12	541	24.4	52	0.49	647
4	13	543	24.4	57	0.48	648
4	14	547	24.4	62	0.48	648
4	15	550	24.4	67	0.47	648
4	16	553	24.5	72	0.47	648
5	1	482	24.7	0	0	648
5	2	486	24.7	4	0	648
5	3	491	24.7	9	0	648
5	4	495	24.8	14	0.59	648
5	5	500	24.8	19	0.6	648
5	6	507	24.7	24	0.64	647
5	7	511	24.8	28	0.64	648
5	8	516	24.8	33	0.65	648
5	9	523	24.8	38	0.66	647

5	10	526	24.8	43	0.66	648
5	11	533	24.9	48	0.68	647
6	1	480	25.2	0	0	648
6	2	484	25.2	4	0	648
6	3	488	25.2	9	0	648
6	4	493	25.2	14	0.56	648
6	5	497	25.2	19	0.56	648
6	6	501	25.2	24	0.57	648
6	7	506	25.3	28	0.57	648
6	8	510	25.3	33	0.58	648
6	9	516	25.3	38	0.59	647
6	10	521	25.3	43	0.6	647
6	11	524	25.4	48	0.6	648
6	12	528	25.4	52	0.59	648
6	13	533	25.4	57	0.59	648

**Anexo 04:** Gráfico lineal de concentración de CO<sub>2</sub> medido por EGM-4, en un día de medición



**Anexo 05:** Gráfico lineal de concentración de CO<sub>2</sub> medido por EGM-4, en seis cámaras de medición en un punto.



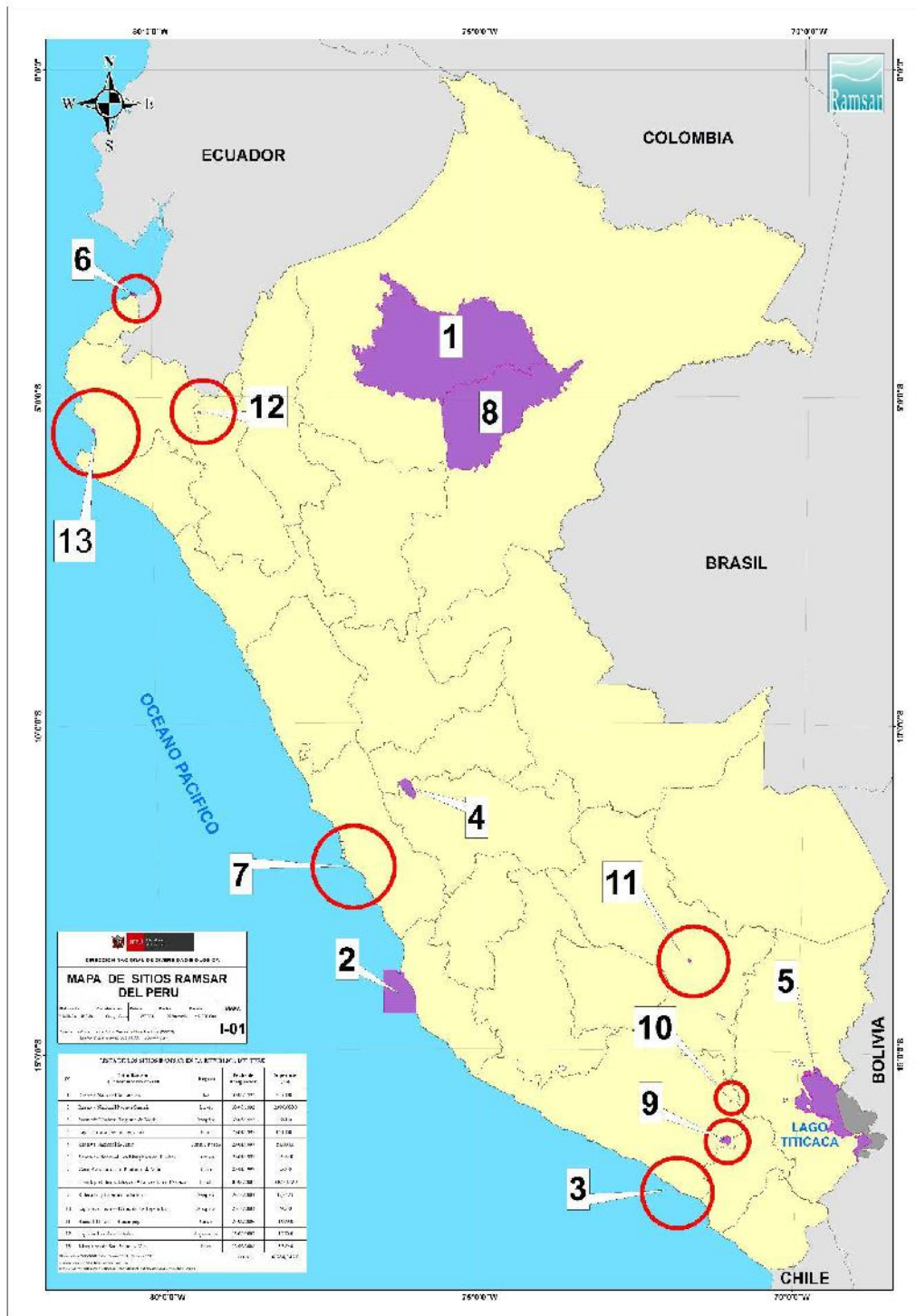


### Anexo 06: Cálculo de flujo de CO<sub>2</sub> de suelos de la Bahía Interior del Lago Titicaca

Cámara	Altura da camara (cm)					Vc (m3)	Vd	Cn - C1 tn - t1	Presión (P) (mb)	Temperatura °C	Temperatura K	P t + 273.15
	1	2	3	4	Média							
C1	7.3	7.8	6.2	7.3	7.2	0.00056156	0.0012287	1.71428571	647.00	27.78	300.93	2.1500
C2	6.9	6.8	7.5	7.8	7.25	0.00056941	0.0012287	1.02083333	647.00	27.42	300.57	2.1526
C3	7	7	6.8	6.6	6.85	0.000538	0.0012287	1.57575758	647.25	27.05	300.20	2.1561
C4	7.7	7	7.5	7.5	7.425	0.00058316	0.0012287	0.72916667	647.00	26.83	299.98	2.1568
C5	6	6.6	7.5	7.3	6.85	0.000538	0.0012287	0.70833333	647.00	27.05	300.20	2.1552
C6	6.5	6.6	6.9	8	7	0.00054978	0.0012287	0.66666667	647.00	27.65	300.80	2.1510

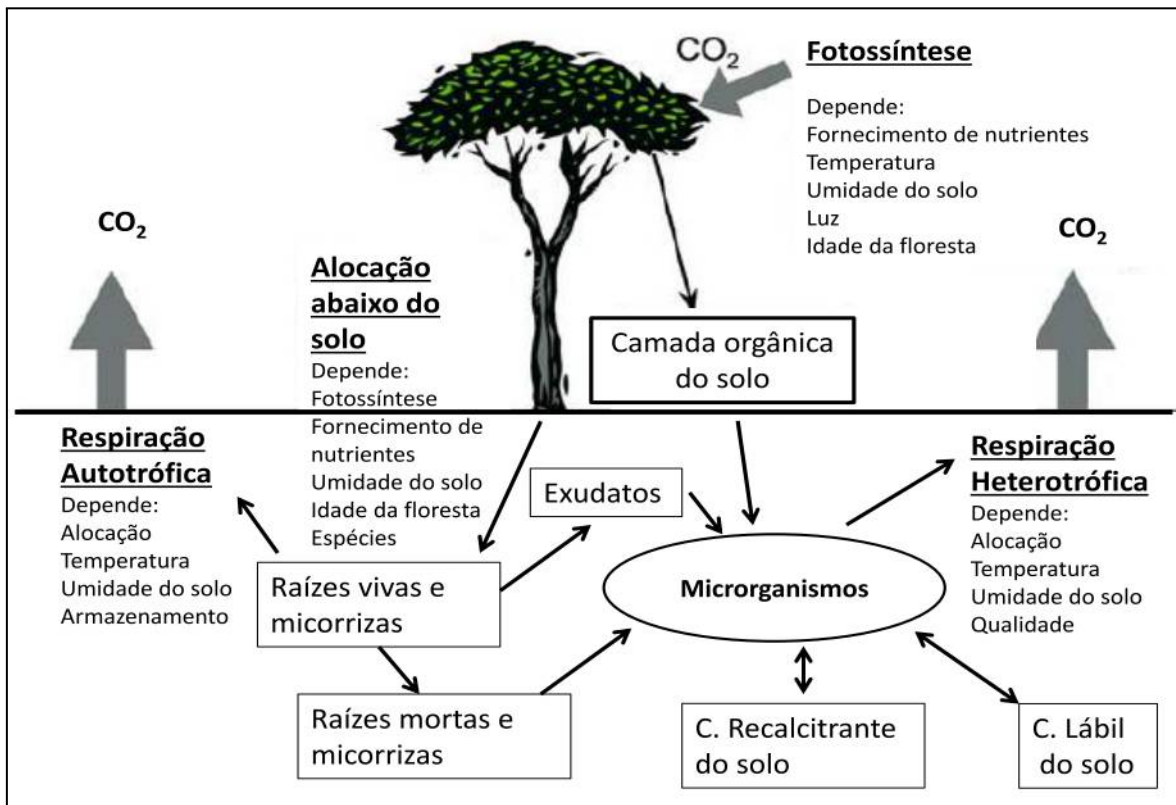
Área suelo cam m <sup>2</sup> (A)	Vd A	Peso molecular CO2 44 g/mol	R	44.01*0.36 R	Fs CO2 g m <sup>-2</sup> h <sup>-1</sup>	Vd + Vc Vd	Fsc CO2 g m <sup>-2</sup> h <sup>-1</sup>	Fsc CO2 umol m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup>	
									0.00785
0.00785	0.15644298	44.01	0.36	8.314	1.90565312	0.6551	1.4634	0.95871007	6.0514
0.00785	0.15644298	44.01	0.36	8.314	1.90565312	1.0129	1.4379	1.45635436	9.1925
0.00785	0.15644298	44.01	0.36	8.314	1.90565312	0.4689	1.4746	0.69138659	4.3640
0.00785	0.15644298	44.01	0.36	8.314	1.90565312	0.4551	1.4379	0.65439652	4.1306
0.00785	0.15644298	44.01	0.36	8.314	1.90565312	0.4275	1.4474	0.61879166	3.9058

### Anexo 07: Mapa de sitios RAMSAR del Perú



Fuente: (MINAM, 2013)

**Anexo 08:** Componentes y factores de control del flujo de CO<sub>2</sub> del suelo



Fuente: (Ryan & Law, 2005).

**Anexo 09:** Analizador de gases infrarrojo (IRGA) (EGM-4, PP Systems, USA) conectado a una cámara de respiración (SRC-1, PP Systems, USA).



Fuente: (PP-Systems, 2010)

## Anexo 10: Panel fotográfico



**Figura 04:** Materiales y equipos utilizados para la medición de flujo de CO<sub>2</sub> y variables ambientales




**Figura 05:** Analizador de gases infrarrojo (IRGA) (EGM-4, PP Systems, USA)



**Figura 06:** Época seca en la Bahía Interior del Lago Titicaca



**Figura 07:** Época lluviosa en la Bahía Interior del Lago Titicaca

Época seca	Época lluviosa
	
<p><b>Figura 08:</b> Equipos utilizados en la investigación en época seca</p>	<p><b>Figura 09:</b> Equipos utilizados en la investigación en época lluviosa</p>
	
<p><b>Figura 10:</b> Cámara de medición de flujo de CO<sub>2</sub></p>	<p><b>Figura 11:</b> Cámara de medición de flujo de CO<sub>2</sub></p>



**Figura 12:** Configuración de equipo en cada medición



**Figura 13:** Programar EGM antes de la medición





**Figura 14:** Liberación de concentración de  $\text{CO}_2$



**Figura 15:** Limpiar  $\text{CO}_2$  acumulado durante medición anterior



**Figura 16:** Colocando la cámara de respiración



**Figura 17:** Cámara de respiración en los PVC insertado en el suelo



**Figura 18:** Medición final



**Figura 19:** Progreso de medición de CO<sub>2</sub>



**Figura 20:** Medición de variables ambientales



**Figura 21:** Medición con anemómetro variables ambientales del aire



**Figura 22:** Medición de flujo de CO<sub>2</sub>



**Figura 23:** CO<sub>2</sub> del suelo



**Figura 24:** Medición de Conductividad eléctrica



**Figura 25:** Medición de pH de suelo



**Figura 26:** Registro de datos ambientales



**Figura 27:** Monitoreo de datos



**Figura 28:** Muestreo de suelos



**Figura 30:** Muestras de suelo para ser analizados

**Figura 29:** Medición para muestrear suelo



**Figura 31:** Suelo muestreado



**Figura 32:** Registro y clasificación de muestras de suelo en el laboratorio



**Figura 33:** Registro de peso demuestras análisis de humedad



**Figura 34:** Pesado de muestras de suelo



**Figura 35:** Secado de muestras de suelo para calcular humedad de muestras

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



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO –  
PUNO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGRONÓMICA**  
**LABORATORIO DE SUELOS Y AGUA**



### RESULTADO DE ANÁLISIS

ASUNTO: ANÁLISIS DE CARBONO ORGÁNICO, MATERIA ORGÁNICA, HUMEDAD, CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA, pH Y HUMEDAD DE RAÍZ

PROCEDENCIA : BAHÍA INTERIOR DE PUNO: FRENTE A SALCEDO, CERCANÍAS DE LA ISLA ESPINAR Y FRENTE A LA UNA PUNO  
INTERESADO : CCAMA RAMOS CESAR  
PRODUCTO : TIERRA Y RAÍZ  
FECHA DE MUESTREO : 09/10/2022 (ÉPOCA SECA)  
FECHA DE ANALISIS : 12/10/2022

#### RESULTADOS: DETERMINACIONES FÍSICO-QUÍMICA

CÓDIGO DE MUESTRAS	S1 (Frente a Salcedo)	S2 (Cercanías de la Isla Espinar)	S3 (Frente a la UNA – Puno)
CARBONO ORGÁNICO %	2.30	0.81	0.86
MATERIA ORGÁNICA %	3.98	1.39	1.49
HUMEDAD DE SUELO %	22.40	29.80	23.60
CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA mS/cm	0.70	0.69	0.69
pH DE SUELO	7.60	7.58	7.82

CÓDIGO DE MUESTRAS	S1 (Frente a Salcedo)	S2 (Cercanías de la Isla Espinar)	S3 (Frente a la UNA – Puno)
HUMEDAD DE RAÍZ %	60.90	48.13	59.10
MATERIA SECA DE RAÍZ %	39.1	51.87	40.9



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



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO –  
PUNO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGRONÓMICA**  
**LABORATORIO DE SUELOS Y AGUA**



### RESULTADO DE ANÁLISIS

ASUNTO: ANÁLISIS DE CARBONO ORGÁNICO, MATERIA ORGÁNICA, HUMEDAD, CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA,  
pH Y HUMEDAD DE RAÍZ

PROCEDENCIA : BAHÍA INTERIOR DE PUNO: FRENTE A SALCEDO, CERCANÍAS DE LA ISLA  
ESPINAR Y FRENTE A LA UNA PUNO  
INTERESADO : CCAMA RAMOS CESAR  
PRODUCTO : TIERRA Y RAÍZ  
FECHA DE MUESTREO : 07/01/2023 (ÉPOCA LLUVIOSA)  
FECHA DE ANALISIS : 09/01/2023

#### RESULTADOS: DETERMINACIONES FÍSICO-QUÍMICA

CÓDIGO DE MUESTRAS	S1 (Frente a Salcedo)	S2 (Cercanías de la Isla Espinar)	S3 (Frente a la UNA – Puno)
CARBONO ORGÁNICO %	2.37	1.08	1.00
MATERIA ORGÁNICA %	4.08	1.86	1.74
HUMEDAD DE SUELO %	34.66	41.85	36.68
CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA mS/cm	0.78	0.78	0.85
pH DE SUELO	7.67	7.63	7.91

CÓDIGO DE MUESTRAS	S1 (Frente a Salcedo)	S2 (Cercanías de la Isla Espinar)	S3 (Frente a la UNA – Puno)
HUMEDAD DE RAÍZ %	84.31	79.43	86.58
MATERIA SECA DE RAÍZ %	15.69	20.57	13.42