

UNIVERSIDAD PRIVADA SAN CARLOS

FACULTAD DE INGENIERÍAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL



TESIS

**DINÁMICA DEL FLUJO DE DIÓXIDO DE CARBONO DEL SUELO EN EL
BOFEDAL DE LA MOYA, EN EL DISTRITO DE AYAVIRI - MELGAR, 2022**

PRESENTADA POR:

MARIO FLORES ARONI

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO AMBIENTAL

PUNO – PERÚ

2023



Repositorio Institucional ALCIRA by [Universidad Privada San Carlos](http://www.upsc.edu.pe) is licensed under a [Creative Commons Reconocimiento-NoComercial 4.0 Internacional License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)



16.79%

SIMILARITY OVERALL

0%

POTENTIALLY AI

SCANNED ON: 28 NOV 2023, 11:30 AM

Similarity report

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

● IDENTICAL
4.88%

● CHANGED TEXT
11.91%

Most likely AI

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

● LIKELY AI
0%

● HIGHLY LIKELY AI
0%

Report #18913005

MARIOFLORES ARONI DINÁMICA DEL FLUJO DE DIÓXIDO DE CARBONO DEL SUELO

EN EL BOFEDAL DE LA MOYA, EN EL DISTRITO DE AYAVIRI - MELGAR,

2022 RESUMEN Los suelos de bofedales altoandinos se consideran

reservorios de gases de efecto invernadero (GEI). Aún es necesario

comprender la variabilidad espacial y temporal de estos gases en los

diferentes bofedales altoandinos, especialmente debido a la acumulación de

gran cantidad de materia orgánica en estas áreas. El objetivo fue

determinar la dinámica del flujo de CO₂ del suelo, en el bofedal de

la Moya, en el Distrito de Ayaviri - Melgar, 2022. 1 50 Semidió directamente en

campo con una cámara cerrada dinámica de respiración (SRC-1, pp

Systems, USA) conectadas a un sensor infrarrojo (EGM-4 PP Systems, USA). Losmuestreos

se realizaron en dos épocas climáticas diferentes, secos y lluviosos,

durante cinco días consecutivos en cada época. El flujo de carbono

orgánico (CO) y materia orgánica (MO) también se midió. El FCO₂ varía

espacial y temporalmente. En promedio, los suelos de los bofedales

altoandinos presentan flujos positivos (emisiones de CO₂). El FCO₂ en

la época lluviosa (1.24 g CO₂ m⁻² h⁻¹) fue mayor en comparación con

la época seca (1.15 g CO₂ m⁻² h⁻¹). Las variaciones en las

emisiones de CO₂ en el espacio están estrechamente relacionadas con las

variables climáticas durante las épocas secas y lluviosas. La humedad

del suelo varió significativamente entre las épocas de estudio. Se

Yudy Roxana ALANIA LAQUI

Oficina de Repositorio Institucional

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

TESIS

**DINÁMICA DEL FLUJO DE DIÓXIDO DE CARBONO DEL SUELO EN EL
BOFEDAL DE LA MOYA, EN EL DISTRITO DE AYAVIRI - MELGAR, 2022**

**PRESENTADA POR:
MARIO FLORES ARONI**


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

APROBADA POR EL SIGUIENTE JURADO:

PRESIDENTE

: 
Mg. JULIO WILFREDO CANO OJEDA

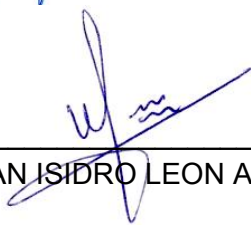
PRIMER MIEMBRO

: 
Mg. KATIA ELIZABETH ANDRADE LINAREZ

SEGUNDO MIEMBRO

: 
M.Sc. MARLENE CUSI MONTESINOS

ASESOR DE TESIS

: 
Dr. ESTEBAN ISIDRO LEON APAZA

Área: Ingeniería y tecnología

Sub área: Ingeniería Ambiental

Línea de investigación: Ciencias Ambientales

Puno, 01 de diciembre del 2023.

DEDICATORIA

Dedicado a mi familia, en especial a mis queridos padres Víctor Flores Cáceres y Eleodora Aroni Parhua, por ser mis mayores apoyos.

A mis hermanos Eusebia, Nancy, Marco y Juan, gracias por todo su cariño y fortaleza, con quienes aprendí a nunca dejar de luchar y perseguir mis metas, dándome siempre una palabra de aliento y confianza.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a la Universidad Privada San Carlos, en particular a la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, por su formación académica de primer nivel.

A mi asesor, el Dr. Esteban Isidro Leon Apaza, por su respaldo y confianza en todas las etapas del desarrollo de este trabajo, y por compartir sus conocimientos y experiencias.

A los miembros del jurado calificador, MG. Julio Wilfredo Cano Ojeda, MG. Katia Elizabeth Andrade Linarez y M.Sc. Marlene Cusi Montesinos, quienes con sus contribuciones fortalecieron el trabajo.

Gracias a mis sobrinos Danny y Ángel por brindarme asistencia en el trabajo de campo.

Agradecemos al Sr. Marcelino Ticona Cruz, Técnico del Laboratorio de Pastos y Forrajes, por brindar asistencia con el análisis de las muestras.

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA	1
AGRADECIMIENTOS	2
ÍNDICE GENERAL	3
ÍNDICE DE TABLAS	6
ÍNDICE DE FIGURAS	7
ÍNDICE DE ANEXOS	9
ÍNDICE DE ABREVIATURAS	10
RESUMEN	11
ABSTRACT	12
INTRODUCCIÓN	13

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA, ANTECEDENTES Y OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	15
1.1.1 PROBLEMA GENERAL	17
1.1.2 PROBLEMAS ESPECÍFICOS	17
1.2. ANTECEDENTES	17
1.2.1 A NIVEL INTERNACIONAL	17
1.2.2 A NIVEL NACIONAL	19
1.2.3 A NIVEL LOCAL O REGIONAL	20
1.3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	22
1.3.1 OBJETIVO GENERAL	22
1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	22

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO, CONCEPTUAL E HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

2.1. MARCO TEÓRICO	23
2.1.1 CAMBIO CLIMÁTICO, EFECTO INVERNADERO Y CALENTAMIENTO GLOBAL	23
2.1.2 PAPEL DEL DIÓXIDO DE CARBONO (CO ₂) EN EL CAMBIO CLIMÁTICO	23
2.1.3 SUMIDERO DE CARBONO	24
2.1.4 BOFEDALES (HUMEDALES)	24
2.1.5 IMPORTANCIA DE LOS HUMEDALES ALTOANDINOS Y DE SUS SERVICIOS ECOSISTÉMICOS	26
2.1.6 ANALIZADOR DE GASES INFRARROJO (EGM-4 PPSYSTEMS)	27
2.2. MARCO CONCEPTUAL	27
2.2.1 DIÓXIDO DE CARBONO (CO ₂)	27
2.2.2 FLUJO DE CO ₂ DEL SUELO	28
2.2.3 EL CICLO DEL CARBONO	28
2.3. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN	28
2.3.1 HIPÓTESIS GENERAL	28
2.3.2 HIPÓTESIS ESPECÍFICOS	28

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. ZONA DE ESTUDIO	30
3.2. TAMAÑO DE MUESTRA	31
3.2.1 POBLACIÓN	31
3.2.2 MUESTRA	31
3.2.3 MUESTREO	32
3.3. MÉTODOS Y TÉCNICAS	33

3.3.1 MEDICIÓN DE DIÓXIDO DE CARBONO DEL SUELO	33
3.3.2 CÁLCULO DE FLUJO DE DIÓXIDO DE CARBONO	35
3.3.3 MUESTREO DE SUELO	36
3.3.4 ANÁLISIS Y CÁLCULO DE CARBONO ORGÁNICO DEL SUELO	36
3.3.5 MEDICIÓN DE VARIABLES AMBIENTALES	37
3.4. IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES	37
3.5. MÉTODO O DISEÑO ESTADÍSTICO	37
CAPÍTULO IV	
EXPOSICION Y ANALISIS DE LOS RESULTADOS	
4.1 COMPARACIÓN DE LA ÉPOCA LLUVIOSA Y SECA EN LA DINÁMICA DE FLUJO DE CO₂ DEL SUELO EN EL BOFEDAL DE LA MOYA	38
4.1.1 PROPIEDADES DEL SUELO Y BIOMASA DE RAÍCES	38
4.1.2 VARIABLES AMBIENTALES	40
4.2 DETERMINACIÓN DE LA DINÁMICA DE FLUJO DE CO₂ EN LOS DIFERENTES PUNTOS DE MUESTREO DEL SUELO EN EL BOFEDAL DE LA MOYA	45
4.3 RELACIÓN DE PROPIEDADES DEL SUELO CON EL FLUJO DE DIÓXIDO DE CARBONO EN EL BOFEDAL DE LA MOYA	46
4.4 RELACIÓN DE VARIABLES AMBIENTALES CON EL FLUJO DE CO₂ EN EL BOFEDAL DE LA MOYA	48
CONCLUSIONES	49
RECOMENDACIONES	50
BIBLIOGRAFÍA	51
ANEXOS	60

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 01: Superficie de diferentes ecosistemas de la región andina	25
Tabla 02: Superficie de bofedales por departamentos de cinco primeros con mayor extensión	26
Tabla 03: Propiedades del suelo del bofedal de la Moya en la época seca y lluviosa. Las letras minúsculas comparan la época seca y lluviosa.	39
Tabla 04: Promedio de parámetros ambientales medidos en el bofedal de Moya durante la época seca y lluviosa.	41
Tabla 05: Flujo de dióxido de carbono en el suelo del bofedal de la Moya diario por época.	44
Tabla 06: Correlación de Pearson entre el Flujo de CO ₂ del suelo (FCO ₂) y las propiedades del suelo (Índice de significancia, $p < 0.05$) en época seca y lluviosa en el bofedal de la Moya.	47
Tabla 07: Correlación de Pearson entre el Flujo de dióxido de carbono del suelo (CO ₂) y las variables ambientales (Índice de significancia, $p < 0.05$) en época seca y lluviosa en el bofedal de la Moya.	48

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 01: Ubicación de la zona de investigación. a) mapa del Perú; b) Distrito de Ayaviri e c) bofedal La Moya	31
Figura 02: Ubicación de las cámaras de flujo de CO ₂ . a) puntos de estudio (punto 1 (P1), punto 2 (P2), punto 3 (P3) y punto 4 (P4); b) ubicación de cámaras de medición de CO ₂ .	34
Figura 03: Medición de dióxido de carbono (CO ₂): (a) cámara de PVC rígido insertado en el suelo, (b) cámara SRC-1 adherida a la cámara de PVC rígido al momento de determinar el flujo de CO ₂ junto al sensor de temperatura, y (c) Analizador de gases de CO ₂ por infrarrojo portátil EGM-4.	35
Figura 04: Humedad relativa (a) y (b) y flujos de CO ₂ promedio diarios (c) y (d) durante la época seca y lluviosa, punto 1 (P1), punto 2 (P2), punto 3 (P3) y punto 4 (P4).	43
Figura 05: Flujo de CO ₂ del suelo del bofedal de la Moya en época seca y lluviosa.	46
Figura 06: Vista panorámica del bofedal de la Moya en época seca	76
Figura 07: Cámara de flujo, termómetro y medidor de humedad del suelo	76
Figura 08: Cámara de respiración (SRC-1, PP Systems, USA) y STP-1 y Sonda de Temperatura del Suelo	77
Figura 09: Analizador de gases infrarrojo (IRGA) (EGM-4, PP Systems, USA)	77
Figura 10: Realizando configuración para reiniciar la medición en nueva cámara de flujo de CO ₂	78
Figura 11: Liberando concentración de CO ₂ acumulada en la anterior medición	78
Figura 12: Colocar la cámara de respiración en los tubos de PVC	79
Figura 13: Muestreo de suelos para análisis en laboratorio	79
Figura 14: Vista panorámica del bofedal de la Moya en época lluviosa	80

Figura 15: Equipo de trabajo de campo	80
Figura 16: Tubo de PVC para medición de flujo de CO ₂ del suelo	81
Figura 17: Tubo de PVC en área de estudio	81
Figura 18: Analizador de gases infrarrojo (IRGA) (EGM-4, PP Systems, USA)	82
Figura 19: Cámara de respiración (SRC-1, PP Systems, USA) y STP-1 y Sonda de Temperatura del Suelo	82
Figura 20: Medición de variables ambientales con anemómetro digital	83
Figura 21: Medición de Tar, HR, Vv, Presión atmosférica e iluminación	83
Figura 22: Medición de pH del suelo	84
Figura 23: Muestras de suelo	85
Figura 24: Muestras de suelo para determinar porcentaje de humedad	85
Figura 25: Muestras de raíces	86
Figura 26: Muestras de raíces para determinar biomasa de raíces	86
Figura 27: Pesado y registro de raíces	87
Figura 28: Pesado y registro de muestras de suelo	87
Figura 29: Muestras de suelo y raíces para secado	88
Figura 30: Muestras de suelo en estufa para determinar porcentaje de humedad	88

ÍNDICE DE ANEXOS

	Pág.
Anexo 01: Matriz de consistencia	61
Anexo 02: Descarga de datos almacenados en EGM-4 durante la medición de concentración de CO ₂	63
Anexo 03: Datos de medición de un día de medición (dos puntos) por equipo EGM-4	64
Anexo 04: Gráfico de líneas de la concentración de CO ₂ en ppm medido por EGM-4, en un día de medición	69
Anexo 05: Gráfico de líneas de la concentración de CO ₂ en ppm medido por EGM-4, en un punto de medición (seis cámaras de medición de flujo)	70
Anexo 06: Cálculo de flujo de CO ₂ del suelo en bofedal de la Moya, Ayaviri, Puno	71
Anexo 07: Ubicación y extensión de humedales (bofedales) en el Perú	72
Anexo 08: Bofedales en el departamento de Puno	73
Anexo 09: Ciclo del carbono en humedales (bofedales)	74
Anexo 10: Analizador de gases infrarrojos (IRGA) (EGM-4, PP Systems, USA) conectado a una cámara de respiración (SRC-1, PP Systems, USA) y STP-1 – Sonda de Temperatura del Suelo	75
Anexo 11: Panel fotográfico en época seca en bofedal de la Moya	76
Anexo 12: Panel fotográfico en época lluviosa en bofedal de la Moya	80
Anexo 13: Análisis de laboratorio	85
Anexo 14: Resultado de análisis de laboratorio en época seca	89
Anexo 15: Resultado de análisis de laboratorio en época lluviosa	90

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

GEI: Gases de efecto invernadero

CO₂ : Dióxido de carbono

F_{CO₂}: Flujo de dióxido de carbono

EGM-4 :Analizador de gases infrarrojo portátil

g CO₂ m⁻² h⁻¹ : Gramos de dióxido de carbono por metro cuadrado por hora

Ts : Temperatura del suelo

Hs : humedad del suelo

Tar : Temperatura del aire

HR :humedad relativa

Vv :Velocidad del viento

P : presión atmosférica

C.E. : Conductividad eléctrica

COS : Carbono orgánico del suelo

MO : Materia orgánica del suelo

BR : Biomasa de raíces

RESUMEN

Los suelos de bofedales altoandinos se consideran reservorios de gases de efecto invernadero (GEI). Aún es necesario comprender la variabilidad espacial y temporal de estos gases en los diferentes bofedales altoandinos, especialmente debido a la acumulación de gran cantidad de materia orgánica en estas áreas. El objetivo fue determinar la dinámica del flujo de CO_2 del suelo, en el bofedal de la Moya, en el Distrito de Ayaviri - Melgar, 2022. Se midió directamente en campo con una cámara cerrada dinámica de respiración (SRC-1, pp Systems, USA) conectadas a un sensor infrarrojo (EGM-4 PP Systems, USA). Los muestreos se realizaron en dos épocas climáticas diferentes, secos y lluviosos, durante cinco días consecutivos en cada época. El flujo de carbono orgánico (CO) y materia orgánica (MO) también se midió. El F_{CO_2} varía espacial y temporalmente. En promedio, los suelos de los bofedales altoandinos presentan flujos positivos (emisiones de CO_2). El F_{CO_2} en la época lluviosa ($1.24 \text{ g CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$) fue mayor en comparación con la época seca ($1.15 \text{ g CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$). Las variaciones en las emisiones de CO_2 en el espacio están estrechamente relacionadas con las variables climáticas durante las épocas secas y lluviosas. La humedad del suelo varió significativamente entre las épocas de estudio. Se obtuvo una correlación positiva significativa entre la humedad del suelo (Hs), biomasa de raíces (BR) y humedad relativa (HR) y el F_{CO_2} . Alta Hs ocasiona el aumento de la actividad microbiana, mantener la humedad del suelo es crucial para evitar cambios en el flujo de CO_2 , indicando la importancia del contenido de agua en el suelo.

Palabras clave: Bofedal, dióxido de carbono, materia orgánica, suelo.

ABSTRACT

High Andean wetland soils are considered reservoirs of greenhouse gases (GHG). It is still necessary to understand the spatial and temporal variability of these gases in the different high Andean wetlands, especially due to the accumulation of large amounts of organic matter in these areas. The objective was to determine the dynamics of soil CO₂ flux in the bofedal of La Moya, in the District of Ayaviri - Melgar, 2022. It was measured directly in the field with a dynamic closed breathing chamber (SRC-1, pp Systems, USA) connected to an infrared sensor (EGM-4 PP Systems, USA). Sampling was conducted in two different climatic epochs, dry and rainy, for five consecutive days in each epoch. Organic carbon (OC) and organic matter (OM) fluxes were also measured. F_{CO₂} varies spatially and temporally. On average, the soils of the high Andean wetlands show positive fluxes (CO₂ emissions). F_{CO₂} in the rainy season (1.24 g CO₂ m⁻² h⁻¹) was higher compared to the dry season (1.15 g CO₂ m⁻² h⁻¹). Variations in spatial CO₂ emissions are closely related to climatic variables during the dry and rainy seasons. Soil moisture varied significantly between study epochs. A significant positive correlation was obtained between soil moisture (Hs), root biomass (BR) and relative humidity (RH) and F_{CO₂}. High Hs causes an increase in microbial activity; maintaining soil moisture is crucial to avoid changes in CO₂ flux, indicating the importance of soil water content.

Keywords: Wetland, carbon dioxide, organic matter, soil.

INTRODUCCIÓN

Los suelos se consideran sumideros o fuentes potenciales de GEI atmosféricos directamente asociados con el cambio climático global (Sá et al., 2019). Actualmente con los cambios en los regímenes de temperatura y precipitación por causa del cambio climático pueden alterar el equilibrio de estos procesos, haciendo 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 bofedales altoandinos son hábitats que desempeñan importantes funciones ecológicas y sociales, como el control del agua, la conservación de la biodiversidad, la alimentación y espacios de recreación (Buitrón & Torres, 2023).

Los humedales de montaña son importantes sumideros de carbono para mitigar el cambio climático, la perturbación es un factor que reduce la tasa de captura y almacenamiento de carbono, lo que destaca la importancia de la conservación de los humedales. Se necesitan más estudios sobre los factores que controlan la captura de carbono (Yu et al., 2022).

Los bofedales son ecosistemas con alta productividad, que han acumulado grandes cantidades de carbono orgánico a lo largo de los años. Los bofedales son sumidero de GEI (captura y almacenamiento de carbono), sin embargo, los cambios de temperatura y precipitación debidos a los efectos del cambio climático y otros factores pueden hacer que estos suelos migren de sumideros a fuentes de GEI. En este contexto, es importante investigar los suelos del bofedal de la Moya para cuantificar la dinámica de flujo de CO₂. Este estudio, pretende contribuir respecto a la dinámica de flujo de CO₂ de los bofedales, de esta forma, brindar información para el balance de Carbono regional, nacional y global.

Teniendo los siguientes capítulos:

Capítulo I: Se centra en el planteamiento del problema y describe los antecedentes y los objetivos de la investigación.

Capítulo II: Incluye el marco teórico, conceptual y de hipótesis de la investigación

Capítulo III: Trata sobre la metodología de la investigación, incluye información sobre el tipo y nivel de investigación, diseño y esquema de la investigación, la población y la muestra, los instrumentos de recopilación de datos, las técnicas de recojo, procesamiento y presentación.

Capítulo IV: Análisis de resultados.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA, ANTECEDENTES Y OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La intensificación del calentamiento global y el consiguiente cambio climático es el resultado del aumento promedio de la concentración de gases de efecto invernadero (GEI) en la atmósfera desde principios del siglo XX (WMO, 2019; IPCC, 2014). Estos gases en mayor cantidad en la atmósfera intensifican la capacidad natural de retener el calor en la troposfera (efecto invernadero) de la energía solar que llega a la superficie terrestre (IPCC, 2014). El CO₂ contribuye aproximadamente con el 66 % al forzamiento radiactivo (WMO, 2021). Cuando este gas aumenta en concentración en la atmósfera, altera el balance energético global, provocando un calentamiento del planeta tierra (IPCC, 2001).

Los suelos se comportan como fuente y sumidero de GEI (Oertel et al., 2016). La magnitud del flujo de CO₂ puede variar mucho en el espacio y el tiempo debido a la variabilidad del suelo (Warner et al., 2018). En la actualidad, el conocimiento sobre los posibles efectos de los ecosistemas terrestres en la disminución de los niveles de CO₂ se está volviendo cada vez más relevante debido a las preocupaciones relacionadas con el cambio climático (Acosta et al., 2018).

Los suelos son considerados potenciales reservorios de GEI, jugando un papel relevante en los ciclos biogeoquímicos del carbono en la biosfera terrestre (IPCC, 2007),

comportándose como fuente y sumidero de GEI (Oertel et al., 2016). La humedad del suelo es la característica que más interfiere en el flujo de GEI (Davidson et al., 2000; Siqueira et al., 2011), seguida de la temperatura del suelo (Bowden et al., 1998), la calidad del sustrato y el manejo del área (Davidson et al., 2000)

Los humedales altoandinos, también conocidos como bofedales, son ecosistemas con características físicas, químicas y biológicas distintivas. Los bofedales están disminuyendo como consecuencia del cambio climático, en particular los cambios en las precipitaciones y la temperatura (Justo, 2023). Dado lo anterior, considerando que la respiración del suelo puede presentar gran variación en el tiempo y el espacio dentro de un ecosistema y que este proceso está influenciado, principalmente por la acción antrópica, a través del uso y manejo de los suelos. Los suelos de los bofedales altoandinos actualmente sufren los impactos del cambio climático, el uso y manejo inadecuado y sumado la escasez de agua está contribuyendo al desequilibrio hídrico de estos ecosistemas. Por ello, es primordial comprender la dinámica de CO₂ en los bofedales.

Comprender cómo afectará el cambio climático (CC) a los ecosistemas de montaña es fundamental para la planificación y gestión del uso de la tierra en los Andes (Diaz et al., 2023). Actualmente, los cambios climáticos están alterando el comportamiento de los suelos que antes se utilizaban como sumideros de GEI, lo que hace que sea necesario realizar mediciones para medir su comportamiento.

Se necesita más investigación para crear nuevos conocimientos sobre la interacción entre las distintas zonas de estudio y el intercambio con la atmósfera, ya que los suelos pueden contribuir a la reducción o emisión de CO₂. Es fundamental comprender el impacto de los ecosistemas altoandinos en las concentraciones de CO₂ y cómo operan como fuente o sumidero tanto a nivel regional como global.

El bofedal de la Moya es importante para la sociedad, la economía, la cultura y el medio ambiente. Este bofedal presenta diferentes problemas: Contaminación y quema de residuos sólidos, contaminación del agua con detergentes, pérdida de cobertura vegetal y alteración del ciclo hidrológico del bofedal. Esta degradación y contaminación puede traer como consecuencia la alteración de la dinámica de carbono, pudiendo pasar de sumidero a emisor de CO₂.

1.1.1 PROBLEMA GENERAL

¿Cuál será la dinámica del flujo de CO₂ del suelo, en el bofedal de la Moya, en el Distrito de Ayaviri - Melgar, 2022?

1.1.2 PROBLEMAS ESPECÍFICOS

- ¿Cómo afecta la época lluviosa y seca en la dinámica de flujo de CO₂ del suelo en el bofedal de la Moya?
- ¿Cómo varía la dinámica de flujo de CO₂ en los diferentes puntos de muestreo del suelo en el bofedal de la Moya?
- ¿Cómo se relaciona el flujo de CO₂ con la temperatura y humedad de los suelos, pH, conductividad eléctrica, materia orgánica, carbono orgánico del suelo y biomasa de raíces en el bofedal de la Moya?
- ¿Qué relación tiene la temperatura del aire, humedad relativa, velocidad del viento, presión atmosférica e iluminación con el flujo de CO₂ en el bofedal de la Moya?

1.2. ANTECEDENTES

1.2.1 A NIVEL INTERNACIONAL

Becerra (2021) En Colombia, llevó a cabo un análisis de tres categorías de cobertura para describir los elementos que tienen el mayor impacto en estas variaciones. Hubo diferencias significativas en el flujo de CO₂ entre las tres capas, y el valor promedio de CO₂ en la cuenca hidrográfica fue de 20 ± 0,40 mgC/m²*s. En cuanto a los parámetros que tienen un mayor impacto en los cambios de flujo, el tipo de recubrimiento, la

temperatura del suelo y el pH representan aproximadamente el 36,7% de las variaciones de flujo de CO₂.

Lopera (2019) en su estudio que buscó medir la variación del flujo de CO₂ del suelo en diferentes áreas de la Reserva Forestal de Bogotá. Las concentraciones de CO₂ en el suelo fueron altas en las plantaciones de eucalipto, bajas en los pastizales abiertos del Páramo, altas en mayo (el mes más húmedo) y bajas en septiembre. El flujo de CO₂ tuvo una relación positiva con la temperatura ambiente, la temperatura del suelo y la altura.

Cruz (2020) en su investigación desarrollada con el objetivo de examinar la variabilidad espacial y temporal de las emisiones de CO₂ y el contenido de carbono orgánico en el suelo en un ecosistema templado representativo de México, en particular, en la Estación Forestal Experimental Zoquiapan. Además, se buscó evaluar cómo diversos factores, como las condiciones climáticas y el tipo de vegetación presente, influyen estos procesos. Los hallazgos mostraron que el contenido de carbono orgánico en el suelo varió de 163.09 a 207.45 Mg ha⁻¹ en las áreas con masas de vegetación diversas. La respiración del suelo osciló entre 39.27 y 67.96 Mg ha⁻¹ por año.

Arellano-Martín et al. (2022) en su estudio, sobre la emisión de dióxido de carbono del suelo en seis intervalos de 24 horas a lo largo de tres estaciones. La emisión media anual de dióxido de carbono del suelo fue de $4 \pm 2.2 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, es similar a la emisión media de CO₂ del suelo durante la época de sequía temprana. La emisión de CO₂ del suelo aumentó linealmente con la humedad del suelo en todas las estaciones, explicando el 45% de la varianza espacio temporal de la emisión de CO₂.

Díaz (2018) en una investigación sobre flujos de CO₂ y CH₄ en suelos de matorrales y bosques en Chile concluye que el flujo de CO₂ en el suelo fue menor en verano ($1.818 \pm 0.15 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) que en invierno ($4.884 \pm 0.38 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), y hubo diferencia

en niveles de degradación ($P < 0.001$), la tasa de emisión de CO_2 más alta se encuentra en la situación menos degradada. El contenido de agua, la temperatura y el uso del suelo tienen un impacto significativo en el flujo de GEI del suelo.

1.2.2 A NIVEL NACIONAL

Huaman et al. (2020) en su análisis de los efectos del cambio climático en las reservas de carbono en los bofedales altoandinos, los resultados muestran evidencia de los cambios en las tasas de acumulación de carbono y el cambio climático regional, especialmente en los últimos 2.500 años hasta la fecha. Durante un período llamado Anomalía Climática Medieval, de 1040 a 1300 d. C., el clima seco provocó una desaceleración en la acumulación de carbono debido a la disminución de la capa freática, lo que provocó una disminución en la producción de materia orgánica con picos negativos en la concentración de carbono. Los rápidos aumentos recientes en las tasas de sedimentación y las concentraciones más bajas de carbono advierten sobre posibles disminuciones futuras en estos ecosistemas.

Sandoval (2018) en su tesis realizada con el propósito principal fue establecer la relación entre las emisiones de CO_2 y la temperatura del suelo en el bosque húmedo premontano ubicado en el Área de Conservación Regional Cordillera Escalera, localizada en la provincia de San Martín. Para realizar la medición de las emisiones de CO_2 , se utilizó un analizador de gases infrarrojo (IRGA) de la marca EGM-4, y para determinar la temperatura del suelo, se empleó un sensor de temperatura. Los resultados del estudio indicaron que las emisiones totales anuales de CO_2 del suelo en el bosque húmedo premontano del Área de Conservación Regional Cordillera Escalera ascendieron a 56.86 ± 5.92 toneladas por hectárea al año. Este descubrimiento sugiere que el suelo de este bosque no ha experimentado alteraciones sustanciales debido a la influencia humana, ya

que este valor total de respiración del suelo concuerda con un suelo en estado saludable desde una perspectiva ecosistémica.

Planas-Clarke et al. (2020) realizó estudio con el objetivo de evaluar cómo variaron los flujos de dióxido de carbono (CO_2) y metano (CH_4) a lo largo de un gradiente hidrológico causado por la apertura de zanjas y evaluar cómo responde el ciclo del carbono a corto plazo tras la rehumectación por el bloqueo de zanjas en una turbera tropical de montaña. Realizado en el Parque Nacional Huascarán en Perú, utilizando métodos de cámara estática. En comparación con las circunstancias de alto drenaje, el intercambio neto del ecosistema al mediodía fue mayor ($1,07 \pm 0,06$ vs. $0,76 \pm 0,11$ $\text{g CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$) y el umbral de compensación de luz para la absorción de CO_2 fue menor. Los flujos de gas permanecieron generalmente estables tanto en los tratamientos húmedos como en los de control, y hubo mínimas respuestas positivas de la TLE al aumento del nivel freático.

Alvis-Ccoropuna et al. (2021) investigaron con el objetivo de estimar el contenido de carbono almacenado en los humedales altoandinos (bofedales) en la región Arequipa. concluyeron que el carbono total almacenado para el área total del humedal Chalhuanca, estimado es de 882,54 hectáreas, que es de aproximadamente $795 \pm 415.65 \text{ T}_{\text{CO}_2}$, así mismo, la biomasa aérea contiene el mayor porcentaje de carbono por gramo de muestra (49,11%), seguida del suelo orgánico (43,05%), la biomasa subterránea (42,53%) y el suelo inorgánico (1,99%). Sin embargo, la cantidad de carbono retenido varía mucho entre los distintos reservorios; con 218,28 TC/ha (90%), el suelo es el mayor reservorio, seguido de 19,72 TC/ha de biomasa subterránea. La biomasa sobre el suelo aportó 8% y 4,77 TC/ha (2%).

1.2.3 A NIVEL LOCAL O REGIONAL

Mamani y Mamani (2019) en su tesis realizada en el distrito de Putina en ecosistema de Puya de Raimondi, pajonal con chillihuales y bofedal, evaluó densidad aparente (D_a),

materia orgánica (MO) y carbono orgánico del suelo (COS). Los resultados indican que no hay diferencia significativa entre los tres puntos de muestreo, pero si hay diferencia significativa en las profundidades. Por lo tanto, el sumidero que reportó mayor secuestro de carbono fue Bofedal (501.96 (44 %) tCO₂/ha), seguido de Pajonal con chillihuares (442.05 (39 %) tCO₂/ha) y finalmente puyas de Raimondi (187.68 (17 %) tCO₂/ha). Se ha demostrado que los terrenos del distrito de Putina tienen una gran capacidad para capturar dióxido de carbono, lo que ayuda a los esfuerzos para reducir el impacto del cambio climático.

Mamani (2017) se han estimado las emisiones de GEI en el embarcadero de Quta Patxa y frente de la UNA Puno mediante el monitoreo de CO₂ y CH₄ a través de la biodegradabilidad anaeróbica de muestras de lodo en la Bahía Interior de Puno, La concentración de GEI obtenida fue de 4,52% de CO₂ y 1,97% de CH₄, en la Isla del Espinar con emisiones de 12,82% de CO₂ y 25,27% de CH₄, comportándose como fuente de GEI, el pH medio de 6,20 no influye en las emisiones de CO₂ y CH₄, sin embargo, la temperatura afecta a la generación de CO₂ y CH₄.

Flores-Aroni (2017) en su estudio con el título retención de Dióxido de Carbono en la *Festuca Dolichophylla* (Chillihua) en los Pastizales del CIP Illpa-Puno, se establecieron varios objetivos principales. En primer lugar, se propuso determinar la cantidad de matas de *Festuca Dolichophylla* (Chillihua) presentes en los pastizales del Centro de Investigación de Pastos y Forrajes Illpa en Puno. Asimismo, se planteó medir la producción de biomasa de la Chillihua, determinar la cantidad de carbono almacenado en las hojas, tallos y raíces de la Chillihua, y estimar la absorción de CO₂ por parte de la biomasa de la Chillihua. Para llevar a cabo la estimación de la densidad de las matas de Chillihua, se aplicó el método de "Conteo de plantas en parcelas cuadradas". Los resultados obtenidos pusieron de manifiesto que en el área de Chiji Mocco Pampa, la densidad de los pastizales de Chillihua (*Festuca Dolichophylla*) alcanzó un total de 11,100

matas por hectárea, mientras que en Quello Circa Pampa se registraron 10,200 matas por hectárea. De estas cifras, el 39.64% y el 37.25% corresponden a pastizales de tamaño mediano, respectivamente.

1.3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.3.1 OBJETIVO GENERAL

Determinar la dinámica del flujo de CO₂ del suelo, en el bofedal de la Moya, en el Distrito de Ayaviri - Melgar, 2022

1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Comparar la época lluviosa y seca en la dinámica de flujo de CO₂ del suelo en el bofedal de la Moya.
- Determinar la fluctuación de la dinámica del flujo de CO₂ en las localizaciones de las muestras de suelo del bofedal de la Moya.
- Relacionar la dinámica del flujo de CO₂ con la humedad del suelo, temperatura, conductividad eléctrica, pH, materia orgánica del suelo y la biomasa radicular en el bofedal de la Moya.
- Correlacionar la dinámica del flujo de CO₂ con la presión atmosférica, velocidad del viento, humedad relativa, temperatura del aire e iluminación en el bofedal de la Moya.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO, CONCEPTUAL E HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

2.1. MARCO TEÓRICO

2.1.1 CAMBIO CLIMÁTICO, EFECTO INVERNADERO Y CALENTAMIENTO GLOBAL

El calentamiento global se debe principalmente al aumento de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) en la atmósfera, provocadas por la quema de combustibles fósiles y el cambio de uso del suelo (IPCC, 2014). En 2021, la concentración global promedio de CH₄ y CO₂ alcanzó 1.893,4 ppb y 415,9 ppm, respectivamente (NOAA, 2021). El calentamiento global probablemente alcanzará los 1.5-2.0 °C entre 2030 y 2052, si la tasa actual de aumento de la concentración de GEI se mantiene sin cambios en las próximas décadas (IPCC, 2021), o si no se realizan acciones para eliminar estos gases de la atmósfera. El aumento de la temperatura global ya está afectando significativamente el comportamiento de los ecosistemas terrestres, como la reducción de la humedad superficial (IPCC, 2021), lo cual es importante para controlar la dinámica de los GEI en el suelo (Han & Zhu, 2020).

2.1.2 PAPEL DEL DIÓXIDO DE CARBONO (CO₂) EN EL CAMBIO CLIMÁTICO

Las emisiones de gases de efecto invernadero continuaron aumentando desde 2000 hasta 2010, la tasa más rápida en los últimos 30 años, con una tendencia de 1,3 % anual hasta 2000, pero aumentando a 2,2 % anual desde entonces. El sector energético representa el 35% de estas emisiones; el 24% se utiliza para la silvicultura, la agricultura

y otros usos del suelo; la industria el 21%; el transporte, el 14%; y la construcción, el 6% (IPCC, 2014).

2.1.3 SUMIDERO DE CARBONO

Aunque los humedales ocupan solo 4-6° de la superficie de la Tierra, juegan un papel importante en el ciclo del carbono (C) de la Tierra. Gran parte del secuestro de carbono en los humedales lo realizan las plantas que absorben el CO₂ de la atmósfera y lo convierten en carbono orgánico (Hernández, 2010). Se define como cualquier sistema o proceso que extrae y almacena un gas o gases de la atmósfera (Carvajal et al., 2009).

2.1.4 BOFEDALES (HUMEDALES)

La frase "bofedales" se usa para referirse a un área de vegetación de humedal donde pueden existir capas de turba. Estos ecosistemas se conocen como "oconales" en muchas partes del país. Significa 'humedal' en quechua (Maldonado, 2015). Se trata de ecosistemas hidromórficos andinos con plantas herbáceas hidrófilas que cubren alrededor del 0,42% del territorio nacional (Tabla 01) y (Anexo 07), con las mayores extensiones de bofedales en los departamentos de Puno, Arequipa y Cusco (MINAM, 2019b).

Tabla 01: Superficie de diferentes ecosistemas de la región andina

Región	Ecosistema	Simbología	Superficie		
			ha	%	
Andina	Páramo	Pa	82 948.54	0.06	
	Pajonal de puna seca	Pjps	4 887 186.88	3.78	
	Pajonal de puna húmeda	Pjph	11 981	9.26	
	Bofedal	Bo	914.03	0.42	
	Zona periglacial y glaciar	Zp-gla	548 174.41	2.29	
	Jalca	Jal	2 959 578.37	1.04	
	Bosque relicto altoandino	Br-a	1 340 320.57	0.12	
	Bosque relicto montano de vertiente occidental	Br-mvoc	156 973.41	0.07	
	Bosque relicto mesoandino	Br-ma	90 703.86	0.02	
	Bosque estacionalmente seco interandino	Bes-in	24 964.55	0.41	
		Ma	535 871.60	7.96	
			10 304		
		Matorral andino		035.94	

Fuente: (MINAM, 2019b)

Según el último inventario Nacional de Bofedales del Perú 2023, la superficie de humedales en Perú se estima en 1052210.6 ha, es decir, el 0,8% del total del territorio nacional. Asimismo, se encuentran en 19 departamentos, siendo Puno, Arequipa y Cusco

los que concentran más del 57% de los bofedales, con una superficie total de 607712.8 ha (INAIGEM, 2023).

Tabla 02: Superficie de bofedales por departamentos de cinco primeros con mayor extensión

Ranking nacional	Departamento	Superficie bofedal		
		Departamental		Nacional
		ha	%	%
1	Puno	343 015.6	5.12	32.6
2	Arequipa	133 434.8	2.11	12.68
3	Cusco	131 262.4	1.82	12.47
4	Ayacucho	102 597.3	2.34	9.75
5	Junín	60 860.2	1.38	5.78

Fuente: (INAIGEM, 2023)

Cuatro de los cinco humedales más grandes del país se encuentran en el departamento de Puno (Anexo 08), en las provincias de Puno, Chucuito y El Collao, con superficies de 18 753,9 ha, 11 936.3 ha, 7 295.6 ha y 3 950.5 ha (INAIGEM, 2023).

En la Provincia de Melgar la extensión de bofedales es de 57 196.9 ha de los cuales en el distrito de Ayaviri tiene 5 590.0 ha (INAIGEM, 2023).

2.1.5 IMPORTANCIA DE LOS HUMEDALES ALTOANDINOS Y DE SUS SERVICIOS ECOSISTÉMICOS

Los humedales de altura de los Andes centrales, conocidos localmente como bofedales, brindan importantes servicios ecosistémicos, especialmente almacenamiento de carbono,

suministro de forraje y regulación del agua (Monge-Salazar et al., 2022). Según (MINAM, 2019a) los servicios ofrecidos por los bofedales altoandinas incluyen:

- **Servicios de regulación:** Almacén de carbono, protección de procesos de erosión de la turba y el suelo, purificación del agua, regulación hídrica, regulación climática local y global
- **Servicios de provisión:** Forraje para el ganado, turba, plantas medicinales, agua
- **Servicios de soporte:** Mantenimiento del ciclo de nutrientes, formación de turba y refugio de fauna silvestre y de biodiversidad
- **Servicios culturales:** Ser áreas de recreación y turismo y tener belleza escénica y paisajística

2.1.6 ANALIZADOR DE GASES INFRARROJO (EGM-4 PPSYSTEMS)

El EGM-4 es un instrumento compacto y ligero con una robusta carcasa de aluminio que lo convierte en un producto muy portátil y duradero. Además, el EGM-4 incorpora una batería de 12 V recargable y una bomba de muestreo de aire de larga duración que pueden utilizarse tanto para mediciones dinámicas como estáticas. Los datos pueden registrarse manual o automáticamente a intervalos seleccionados por el usuario (PP-Systems, 2010).

2.2. MARCO CONCEPTUAL

2.2.1 DIÓXIDO DE CARBONO (CO₂)

El dióxido de carbono es el gas de efecto invernadero antropogénico más importante de la atmósfera y representa alrededor del 66 % del forzamiento radiativo causado por el conjunto de gases de efecto invernadero de larga duración (total 3,1 W m⁻²) (WMO, 2019). Un enlace simétrico de un átomo de carbono y dos átomos de oxígeno forma una molécula inorgánica. Se organizan específicamente para producir una molécula lineal de tres átomos de la siguiente manera: O=C=O. En condiciones normales, es un gas inerte y

es producido principalmente como subproductos del proceso de combustión (Malhi et al., 2009).

2.2.2 FLUJO DE CO₂ DEL SUELO

La respiración del suelo se puede dividir en dos tipos: respiración autótrofa de CO₂, que es producto de la actividad metabólica, y respiración heterótrofa, que es producida por animales que comen desechos y producen CO₂ en niveles tróficos superiores a medida que consumen materia orgánica (Malhi et al., 2009). Las investigaciones indican que la preservación del suelo es necesaria y que la modificación de la cubierta forestal reduciría el contenido y las existencias de carbono (Marques et al., 2016).

2.2.3 EL CICLO DEL CARBONO

El carbono es el quinceavo elemento más abundante en la corteza terrestre y el cuarto más abundante en masa en el universo después del hidrógeno, el helio y el oxígeno. El flujo de carbono y los procesos físicos, químicos y biológicos que lo controlan entre varios depósitos de elementos en el sistema terrestre forman parte de la idea del ciclo del carbono (Anexo 09). Estas reservas se encuentran en la atmósfera, la hidrosfera, la biosfera, la biosfera y la litosfera (Martín-Chivelet, 2010).

2.3. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

2.3.1 HIPÓTESIS GENERAL

La dinámica del flujo de CO₂ del suelo, en el bofedal de la Moya, es positivo, en el Distrito de Ayaviri - Melgar, 2022

2.3.2 HIPÓTESIS ESPECÍFICOS

- La dinámica de CO₂ del suelo varía entre la época lluviosa y seca en el bofedal de la Moya;
- La dinámica del flujo de CO₂ del suelo varían de acuerdo a la ubicación de los puntos de medición del suelo en el bofedal de la Moya;

- La temperatura y humedad de los suelos, pH, conductividad eléctrica, materia orgánica, carbono orgánico del suelo y biomasa de raíces influyen en el flujo de CO₂ en los suelos del bofedal de la Moya;
- El flujo de CO₂ del suelo del bofedal de Moya está influido por la presión atmosférica, velocidad del viento, la humedad relativa, la temperatura del aire y la iluminación.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. ZONA DE ESTUDIO

El estudio se realizó en el bofedal La Moya ubicado en el Distrito de Ayaviri, Provincia de Melgar - Puno, geográficas con coordenadas UTM 14°53' 17.5 "S y 70°35' 24.9" W y un área de 33 Ha (Figura 1). Situado a una elevación de 3918 msnm, está situado al norte de la cordillera de Carabaya y al oeste de la cordillera de Vilcanota. Ayaviri está rodeada por los distritos de Nuñoa y Vilavila en el norte; Tirapata y Pucará en el este; y Umachiri en el oeste. La temperatura promedio es de 12°C, pero puede cambiar en un solo día, llegando a 22°C máximo y hasta -12°C mínimo en invierno.

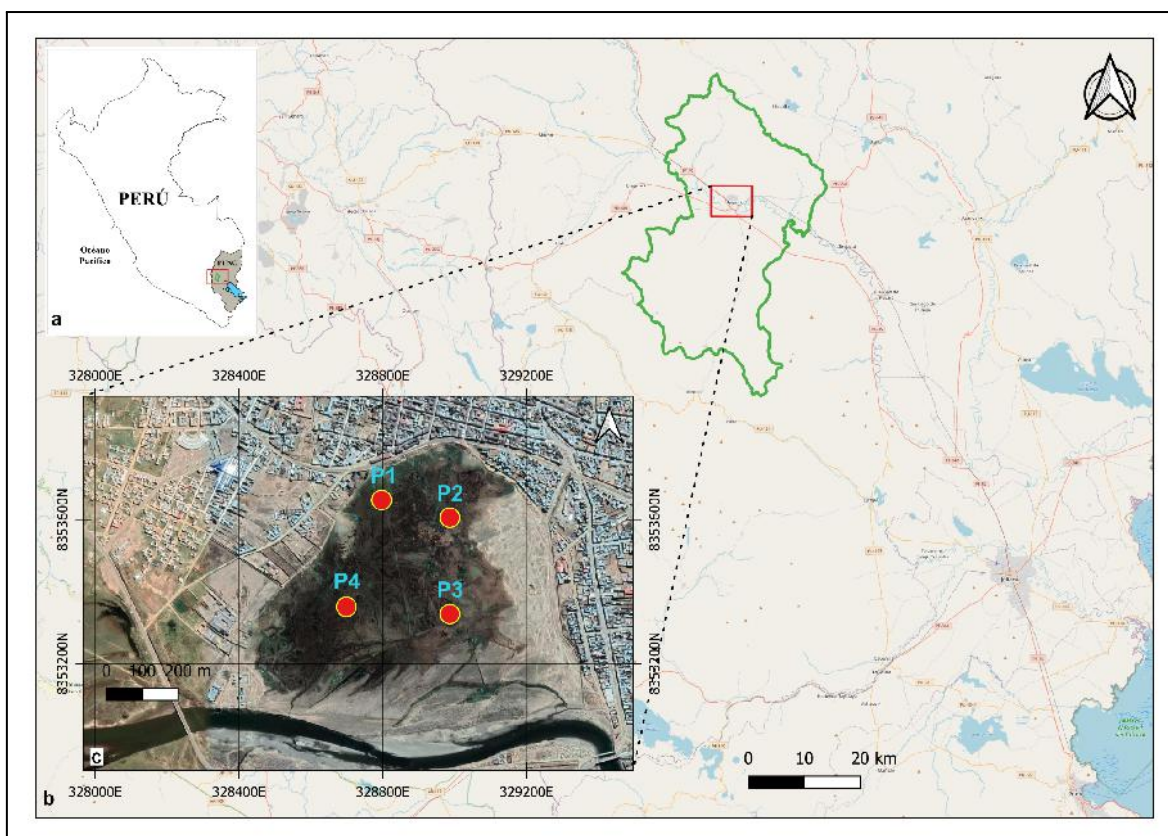


Figura 01: Ubicación de la zona de investigación. a) mapa del Perú; b) Distrito de Ayaviri e c) bofedal La Moya

3.2. TAMAÑO DE MUESTRA

3.2.1 POBLACIÓN

En esta investigación la población estuvo conformada por el bofedal de la Moya, que tiene una extensión de 33 ha.

3.2.2 MUESTRA

Para calcular una muestra representativa se tuvo en cuenta el nivel de confianza Z (95%) y el grado de error (5%). Con la siguiente fórmula para calcular la muestra:

$$n = \frac{N \times Z^2 \times P \times Q}{e^2(N - 1) + Z^2 \times P \times Q}$$

Donde:

N = Población (33 ha) el bofedal la Moya

n = Tamaño de la muestra necesaria

Q = Probabilidad de no ocurrencia (fracaso)

P = Probabilidad de ocurrencia (éxito)

e = Grado de error

Z = nivel de confianza (95%), puntuación z es de 1.96

$$n = \frac{33 \times (1.96)^2 \times 0.5 \times 0.5}{0.05^2(33 - 1) + 1.96^2 \times 0.5 \times 0.5}$$

$$n = \frac{6.021708}{0.262476}$$

$$n = 22.9419$$

$$n = \mathbf{23 \text{ ha}}$$

Cada punto de muestreo estará conformado por parcelas de 5.75 ha, de los cuales se escogen aleatoriamente los puntos según la homogeneidad.

3.2.3 MUESTREO

Se seleccionaron cuatro (04) puntos de medición y seis (06) repeticiones para ser georreferenciados. Las medidas realizadas se llevaron a cabo durante dos períodos de tiempo diferentes: lluvioso y seco.

3.3. MÉTODOS Y TÉCNICAS

El tipo de diseño de investigación es descriptivo correlacional; diseño de investigación es no experimental, longitudinal y descriptivo correlacional; método es deductivo y de enfoque cuantitativo

3.3.1 MEDICIÓN DE DIÓXIDO DE CARBONO DEL SUELO

Las mediciones de la respiración del suelo se realizaron utilizando el método de cámara estática, que utiliza cámaras rígidas de cloruro de polivinilo (*polyvinyl chloride* - PVC) de 10 cm de altura x 10 cm de diámetro interno, insertadas aproximadamente 2 cm en el suelo. La salida de CO₂ del suelo se midió acoplando una cámara de respiración de suelo (*Soil Respiration Chamber* - SRC 1) de PP Systems (Hitchin, UK) conectada a un analizador de gas infrarrojo portátil (*Environment Gas Monitor* - EGM 4), (Anexo 10).

Se midió el flujo de CO₂ del suelo en dos épocas climáticas (seca y lluviosa) durante 5 días consecutivos por cada época. Se instalaron seis (6) anillos por punto, totalizando 24 anillos por los cuatro puntos (Figura 02). Las cámaras para medir el flujo de CO₂ se colocarán aleatoriamente en el suelo en cada punto.

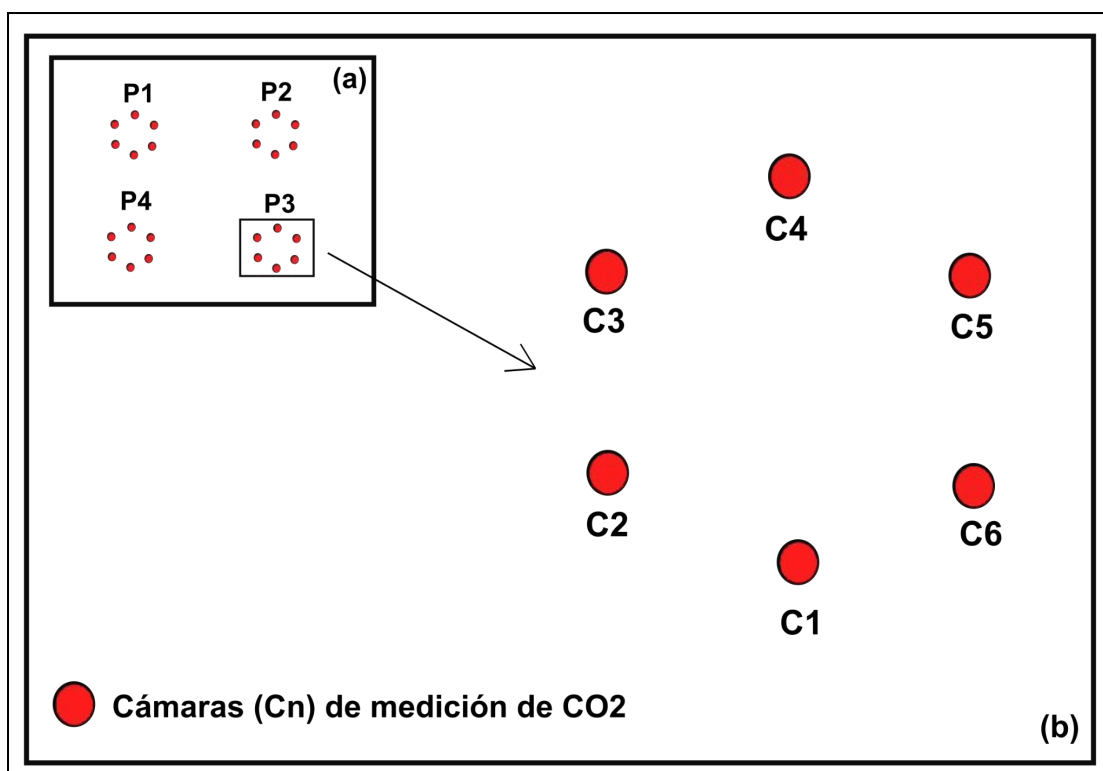


Figura 02: Ubicación de las cámaras de flujo de CO₂. a) puntos de estudio (punto 1 (P1), punto 2 (P2), punto 3 (P3) y punto 4 (P4); b) ubicación de cámaras de medición de CO₂.

La medición de la respiración del suelo termina automáticamente cuando la concentración de CO₂ en el sistema supera las 60 ppm (partes por millón) o después de 120 segundos de colocar la cámara en el suelo (PP-Systems, 2010).

La medida de la concentración de CO₂ se basa en técnicas infrarrojas, en las que moléculas diatómicas como el CO₂ absorben fuertemente fotones de onda larga, en el rango infrarrojo de 4,26 micras, que son detectados por un sensor sensible a estos fotones, cuantificando el número de moléculas de CO₂. Las mediciones de flujo de CO₂ se corrigen automáticamente por la temperatura de la superficie del suelo y la presión atmosférica, cuyos sensores están ubicados en el EGM y en la cámara SRC-1, respectivamente (PP-Systems, 2010) (Figura 03).

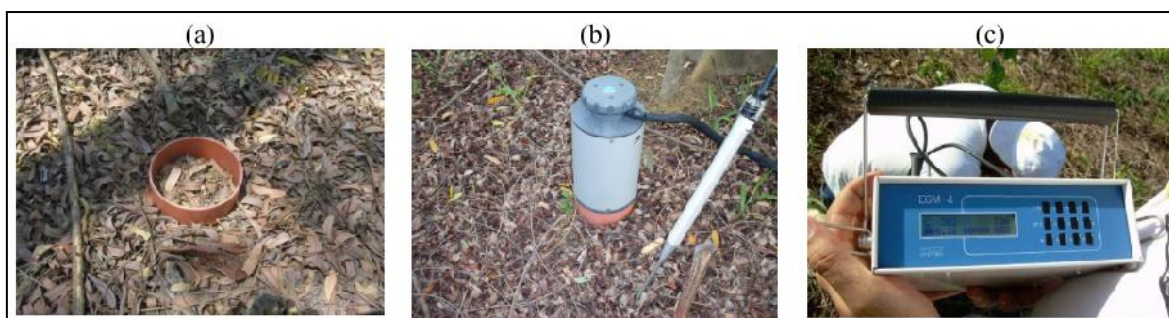


Figura 03: Medición de dióxido de carbono (CO_2): (a) cámara de PVC rígido insertado en el suelo, (b) cámara SRC-1 adherida a la cámara de PVC rígido al momento de determinar el flujo de CO_2 junto al sensor de temperatura, y (c) Analizador de gases de CO_2 por infrarrojo portátil EGM-4.

3.3.2 CÁLCULO DE FLUJO DE DIÓXIDO DE CARBONO

La concentración de CO_2 en el interior de las cámaras aumenta normalmente de forma lineal. Las emisiones de CO_2 se calcularán con la siguiente ecuación desarrollada por (Marthews et al., 2014).

$$F_s = \left(\frac{C_n - C_1}{t_n - t_1} \right) \left(\frac{P}{T_a + 273.15} \right) \left(\frac{V_d}{A} \right) \left(\frac{44.01 \times 0.36}{R} \right) g CO_2 m^{-2} h^{-1}$$

$$F_{sc} = F_s \left(\frac{V_d + V_c}{V_d} \right) g CO_2 m^{-2} h^{-1}$$

F_s = Flujo de CO_2 sin corrección en ($g m^{-2} h^{-1}$)

F_{sc} = Flujo de CO_2 corregido en ($g CO_2 m^{-2} h^{-1}$)

$C_n - C_1$ = La diferencia de flujo de CO_2 , en ppmv, generalmente entre las últimas 10 lecturas de cada medición, o entre el primer y el último valor de flujo si la medición tuvo menos de 10 lecturas.

$t_n - t_1$ = La diferencia de tiempo en segundos que se utilizó para calcular la diferencia en el flujo de CO_2 ...

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

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

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

A = Área de suelo sobre la cual se midió el flujo de CO_2 (cubierta por la cámara (m^2))

44.01 = Peso molecular de CO_2 (g / mol)

Vc = Durante el tiempo de medición, el volumen de la cámara de respiración por encima del nivel del suelo (volumen total de la cámara interior (m^3))

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

3.3.3 MUESTREO DE SUELO

Se realizó muestreo de suelos en cada punto y época (seca y lluviosa), muestreando suelo de profundidad (0-10 cm). Se obtuvo una muestra para determinar el contenido de carbono orgánico del suelo (COS) y la materia orgánica (MO). Según la guía, se realizará un muestreo aleatorio de suelos (Rugnitz et al., 2009; MINAM, 2014). El carbono orgánico, MO y humedad del suelo se realizó en el laboratorio de suelos (UNA-Puno). Así mismo, se realizó muestreo de suelo para cuantificar biomasa de raíces.

3.3.4 ANÁLISIS Y CÁLCULO DE CARBONO ORGÁNICO DEL SUELO

El análisis de suelos se realizó en el Laboratorio de Suelos de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional del Altiplano en Puno. Para calcular la proporción de MO evaluada en el laboratorio se utilizó el método de estimación de la concentración de carbono orgánico (CCO). Debido a que la materia orgánica comprende 58% de carbono orgánico, la relación MO/factor de 1.724 arrojó el CCO (Walkley & Black, 1934; Kalra & Maynard, 1991), aplicando la siguiente fórmula:

$$\% CCO = \%MO/1.724$$

Donde:

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

MO : Contenido de materia orgánica del suelo en (%)

1.724 : Factor de conversión

3.3.5 MEDICIÓN DE VARIABLES AMBIENTALES

La temperatura del suelo fue medida con un termómetro digital (TP 300), mientras que la humedad y conductividad eléctrica del suelo con *3 in 1 soil tester* (YY - 1000). De manera similar, temperatura del aire, humedad relativa, presión atmosférica y velocidad del viento (Anemómetro Multifuncional GM 8910). Todas las mediciones se realizaron al mismo tiempo que se medían los flujos de CO₂.

3.4. IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES

Variable independiente: Suelo del bofedal de la Moya

Variable dependiente: Dinámica de flujo de CO₂

3.5. MÉTODO O DISEÑO ESTADÍSTICO

Se empleó la prueba de Shapiro-Wilks para determinar la normalidad de todos los promedios. Cuando no se cumplía la normalidad, se utilizaron modificaciones logarítmicas. El impacto de los días y los puntos de muestreo en los flujos de CO₂ se evaluará mediante un análisis de varianza (ANOVA) de medidas repetidas de dos vías. El ANOVA se utilizó la prueba de diferencias significativas de Tukey para mostrar las diferencias significativas entre medias a nivel de probabilidad de $p < 0.05$. El efecto de la ubicación, los días y los períodos de muestreo se evaluaron utilizando ANOVA de dos vías. Para evaluar la influencia del flujos de CO₂ con las propiedades del suelo y variables ambientales, se utilizó la correlación de Pearson.

CAPÍTULO IV

EXPOSICION Y ANALISIS DE LOS RESULTADOS

4.1 COMPARACIÓN DE LA ÉPOCA LLUVIOSA Y SECA EN LA DINÁMICA DE FLUJO DE CO₂ DEL SUELO EN EL BOFEDAL DE LA MOYA

4.1.1 PROPIEDADES DEL SUELO Y BIOMASA DE RAÍCES

La humedad del suelo (Hs) fue mayor en la época lluviosa con 64.06% y menor en época seca 44.73%, siendo estadísticamente significativa entre época seca y lluviosa ($p < 0.05$). El pH del suelo fue relativamente ácido en las dos épocas climáticas, de 5.89 en época lluviosa y 5.46 en época seca, siendo estadísticamente significativo ($p < 0.05$) entre época seca y lluviosa. La conductividad eléctrica (C.E.) fue mayor en época lluviosa de 1.23 y menor en época seca 0.85 mS/cm, sin diferencia significativa entre las dos épocas. La materia orgánica (MO) tuvo mayor acumulación en época lluviosa de 36.36% y menor en época seca de 28.27%, sin diferencia significativa entre las dos épocas, el carbono orgánico del suelo (COS) fue mayor en época lluviosa de 21.09% y menor en época seca 16.40%, sin diferencia significativa entre las épocas climáticas, la diferencia en la biomasa de raíces (BR) entre la época seca y lluviosa no fue significativa ($p > 0.05$), con un promedio de 15.17 Mg ha⁻¹ en la época seca, y 16.02 Mg ha⁻¹ en la época lluviosa (Tabla 03).

Tabla 03: Propiedades del suelo del bofedal de la Moya en la época seca y lluviosa. Las letras minúsculas comparan la época seca y lluviosa.

Punto	Hs	pH	C.E.	MO	COS	BR
	%		(mS/cm)	%	%	(Mg/ha)
P1	40.49	5.38	0.66	37.28	21.62	12.49
P2	34.52	5.88	1.48	22.92	13.29	11.47
P3	45.91	5.4	0.43	18.54	10.75	16.84
P4	58.03	5.19	0.81	34.35	19.92	19.86
Seco	44.73 ±	5.46 ±	0.85 ±	28.27 ±	16.40 ±	15.17 ±
	9.40^b	0.29^b	0.45^a	8.97^a	5.20^a	3.90^a
P1	57.9	6.01	1.23	42.34	24.56	12.68
P2	61.64	5.94	1.98	33.39	19.37	14.38
P3	66.31	5.88	0.84	29.07	16.86	18.54
P4	70.40	5.74	0.87	40.63	23.57	18.46
Lluvioso	64.06 ±	5.89 ±	1.23 ±	36.36 ±	21.09 ±	16.02 ±
	5.14^a	0.11^a	0.53^a	6.22^a	3.61^a	2.95^a

Humedad del suelo (HS; %), potencial de hidrógeno (pH), conductividad eléctrica (C.E.; mS/cm), materia orgánica (MO; %), carbono orgánico del suelo (COS; %) y biomasa de raíces (BR; Mg/ha). Letras diferentes indican diferencia estadística (Tukey, $p < 0,05$). Los números muestran la media con una desviación estándar.

En las dos épocas climáticas, la MOS a una profundidad de 0 a 10 cm en un bofedal ubicado en la Provincial de El Collao fue del 28%, siendo mayor en época lluviosa al igual que el presente estudio (Checalla, 2023), otro autor menciona que el contenido de MOS puede llegar a más 50% en suelos orgánicos (Ayala et al., 2018), así mismo valores que están dentro del rango de MOS de esta investigación es similar al encontrado en un bofedal denominado Huachipampa ubicado en la provincia de Huarochirí del departamento de Lima, la MO estuvo en el rango de 1,07% a 49,12% (Baldoce et al., 2021). En el presente estudio, la mayor cantidad de materia orgánica coincidió con altos niveles de humedad del suelo.

En suelo del bofedal la Moya el pH promedio es 5.68 considerado fuertemente ácido. El pH medio del bofedal de Capaso, El Collao, fue de 6,5, por lo que es moderadamente ácida (Checalla, 2023). Estos valores son similares a los estudiados en el bofedal de la Moya.

La Hs y BR es mayor en época lluviosa, ese mismo resultado fue obtenido en un bofedal ubicado en El Collao (Checalla, 2023). La conductividad eléctrica es menor en época seca en comparación con la época lluviosa, lo que indica que en época lluviosa hay un mayor contenido de sales (Albíter-Pineda et al., 2020), este estudio fue mayor en época lluviosa, mismo resultado.

4.1.2 VARIABLES AMBIENTALES

La temperatura promedio del aire (Tar) fue mayor en época seca de 24.84 °C, y menor en época lluviosa 19.22 °C, siendo estadísticamente significativa entre época seca y lluviosa ($p < 0.05$). La velocidad del viento (Vv) fue mayor en época lluviosa de 1.59 m/s y menor en época seca 1.43 m/s, sin diferencia significativa entre época seca y lluviosa ($p > 0.05$), la presión atmosférica (P) fue mayor en época lluviosa 641.2 hPa y menor en época seca 639.27 hPa, siendo estadísticamente significativa entre época seca y lluviosa ($p < 0.05$) y

la iluminación fue mayor en época seca de 35 534.83 Lux y menor en época lluviosa 32 897.18 Lux, sin diferencia significativa entre ambas épocas climáticas (Tabla 04).

Tabla 04: Promedio de parámetros ambientales medidos en el bofedal de Moya durante la época seca y lluviosa.

Época	Tar (°C)	Vv (m/s)	P (hPa)	Iluminación (Lux)
04/10/22	29.48 ± 1.75	1.41 ± 1.0	641.25 ± 2.91	54612 ± 0.0
05/10/22	25.66 ± 1.39	1.28 ± 1.0	641.71 ± 1.61	54612 ± 0.0
06/10/22	22.95 ± 1.84	1.74 ± 0.95	637.13 ± 0.22	18573.38 ± 7380.67
07/10/22	21.44 ± 1.93	1.46 ± 1.46	637.11 ± 0.3	17763 ± 10088.08
08/10/22	24.69 ± 1.81	1.24 ± 0.6	639.15 ± 1.05	32113.75 ± 8221.35
Seco	24.84 ± 3.23^a	1.43 ± 1.0^a	639.27 ± 2.48^b	35534.83 ± 17767.53^a
22/01/23	15.00 ± 1.43	1.68 ± 0.5	641.41 ± 0.69	26957.38 ± 6944.41
23/01/23	23.06 ± 3.36	1.31 ± 0.62	640.91 ± 0.80	39258.75 ± 16679.95
24/01/23	19.25 ± 3.71	1.49 ± 0.49	640.91 ± 0.72	35049.13 ± 12450.66
25/01/23	18.65 ± 2.56	1.78 ± 0.59	641.55 ± 0.57	27020.25 ± 6990.39
26/01/23	20.11 ± 4.43	1.69 ± 0.43	641.21 ± 0.54	36200.38 ± 14112.1
Lluvioso	19.22 ± 4.06^b	1.59 ± 0.53^a	641.2 ± 0.69^a	32897.18 ± 12519.75^a

Temperatura del aire (T_{ar} ; °C), velocidad del viento (V_v ; m/s), Presión atmosférica (P ; hPa) e iluminación (lux). Las letras minúsculas comparan la época seca y lluviosa. Letras diferentes indican diferencia estadística (Tukey, $p < 0,05$).

La T_{ar} y iluminación es mayor en época seca, ese mismo resultado fue reportado en otro bofedal altoandino ubicado en El Collao, así mismo, la presión atmosférica fue mayor en época lluviosa, mismo padrón fue encontrado en el bofedal altoandino ubicado en El Collao (Checalla, 2023).

El flujo de dióxido de carbono (F_{CO_2}) desde el suelo a la atmósfera, en los cuatro sitios, con un flujo promedio de $1.15 \text{ g CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ para la época seca (Figura 04; Tabla 05). El F_{CO_2} más alto se observó el 04/10/22 y el más bajo el 07/10/22. El P4 presentó los valores más altos de F_{CO_2} y un patrón similar entre sí, por otro lado, P1 presentó los valores más bajos de F_{CO_2} (Figura 04).

Durante la época lluviosa, el F_{CO_2} de los cuatro sitios, con un flujo promedio de $1.24 \text{ g CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ para el periodo. El 26 de enero de 23 se registraron los valores promedio diarios más bajos, mientras que el 24 de enero de 23 se registró el valor promedio diario más alto (Figura 04; Tabla 05). El P4 presentó los valores más altos de F_{CO_2} y un patrón similar entre sí, por otro lado, P1 presentó los valores más bajos de F_{CO_2} (Figura 04).

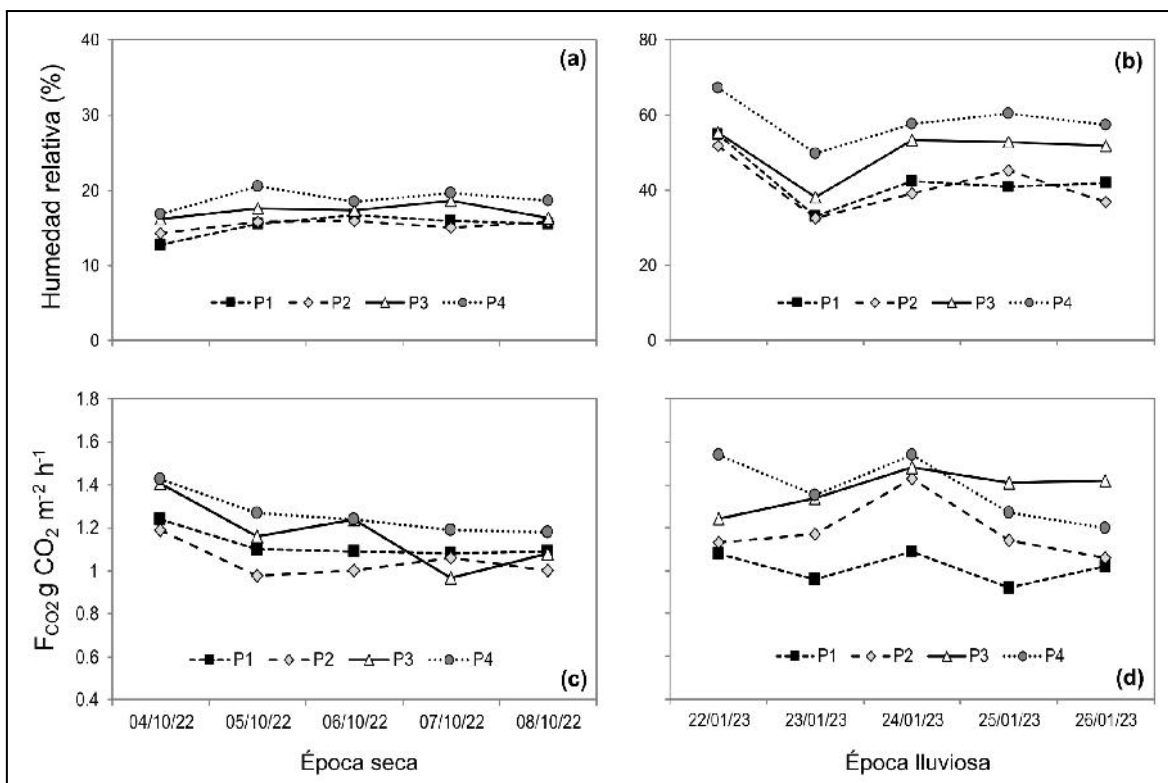


Figura 04: Humedad relativa (a) y (b) y flujos de CO₂ promedio diarios (c) y (d) durante la época seca y lluviosa, punto 1 (P1), punto 2 (P2), punto 3 (P3) y punto 4 (P4).

El F_{CO_2} en el suelo del bofedal de la Moya tuvo una variación en las dos épocas climáticas, con mayor F_{CO_2} en época lluviosa, pero no hubo diferencia significativa ($p > 0,05$) del F_{CO_2} entre las dos épocas climáticas (Tabla 05). Los suelos de bofedales están constantemente inundados con agua y el efecto de las lluvias no es tan significativo.

La temperatura promedio del suelo (T_s) fue mayor en época seca de 18.14 °C, y menor en época lluviosa 14.16 °C, siendo estadísticamente significativa entre época seca y lluviosa ($p < 0.05$). La humedad relativa (HR) fue mayor en época lluviosa de 48.15%, y menor en época seca 16.70%, siendo estadísticamente significativa entre época seca y lluviosa ($p < 0.05$) (Tabla 05).

Tabla 05: Flujo de dióxido de carbono en el suelo del bofedal de la Moya diario por época.

Época	F_{CO_2} (g CO ₂ m ⁻² h ⁻¹)		Ts (°C)		Humedad relativa (%)	
	Mín/Máx	Media ± D.E	Mín/Máx	Media ± D.E	Mín/Máx	Media ± D.E
04/10/22	0.89/2.06	1.32 ± 0.27	16.5/23.6	19.74 ± 1.92	12.2/17.2	15.01 ± 1.77
05/10/22	0.78/1.91	1.13 ± 0.28	12.8/19.8	1.93 ± 1.93	13.7/22.1	17.39 ± 2.57
06/10/22	0.68/2.77	1.14 ± 0.43	14.3/22.9	18.55 ± 2.16	15.2/18.6	17.14 ± 1.19
07/10/22	0.70/1.69	1.07 ± 0.27	14.5/22.3	18.18 ± 1.94	14.6/20.4	17.35 ± 2.20
08/10/22	0.80/1.50	1.09 ± 0.21	16.5/19.9	17.93 ± 1.03	14.8/19.0	16.61 ± 1.39
Seco		1.15 ± 0.31^a		18.14 ± 2.12^a		16.70 ± 2.01^b
22/01/23	0.76/2.30	1.25 ± 0.39	12.4/14.9	13.54 ± 0.64	48.6/71.4	57.36 ± 7.60
23/01/23	0.80/1.93	1.21 ± 0.30	11.2/17.2	14.68 ± 1.86	29.1/50.1	38.39 ± 7.71
24/01/23	0.43/3.77	1.38 ± 0.82	13.4/18.0	15.62 ± 1.38	38.6/61.3	48.15 ± 8.49
25/01/23	0.54/2.46	1.19 ± 0.47	11.0/15.7	13.26 ± 1.18	40.7/61.1	49.85 ± 8.07
26/01/23	0.65/2.64	1.17 ± 0.45	12.0/15.1	13.68 ± 0.89	35.4/60.3	46.99 ± 9.12
Lluvioso		1.24 ± 0.51^a		14.16 ± 1.52^b		48.15 ± 9.92^a

Los números representan la media ± desviación estándar. Las letras minúsculas comparan la época seca y lluviosa. Letras diferentes indican diferencia estadística (Tukey, $p < 0,05$).

En un bofedal ubicado en el distrito de Capaso, Provincial de El Collao, Puno el flujo de CO₂ fue mayor en época lluviosa (1.25 g CO₂ m⁻² h⁻¹) en comparación a la época seca (0.63 g CO₂ m⁻² h⁻¹) Checalla (2023), estos valores son similares al presente estudio realizado en suelo del bofedal de la Moya en la Provincial de Melgar, Puno, igualmente, En suelos de Brasil el flujo de CO₂ promedio fueron de 0.65 g CO₂ m⁻² h⁻¹ para la estación

lluviosa y de $0.61 \text{ g CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ para la estación seca, las diferencias en los flujos de CO_2 entre los períodos seco y lluvioso están relacionadas principalmente con las variables climáticas, con mayor flujo de CO_2 en época lluviosa (Silva et al., 2019). La actividad microbiana se ve directamente afectada por la humedad del suelo, lo que puede explicar por qué el flujo de CO_2 del suelo es mayor en los humedales altoandinos durante la estación lluviosa.

En la Patagonia en suelos cubiertos de tundra y bosques reportaron una variación de flujo de CO_2 de 0.35 a $0.81 \text{ g CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$, el mayor flujo de CO_2 fue en suelos cubiertos de tundra de 2.62 y $2.39 \text{ g CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$, mientras que el flujo de CO_2 promedio en de 0.65 y $0.54 \text{ g CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$, en diciembre y febrero, respectivamente (Sá et al., 2019), valores semejantes al presente estudio en bofedales. Así mismo, Lopera (2019) estudió el flujo de CO_2 del suelo bajo diferentes coberturas, en bosque reporta un promedio de flujo de CO_2 de $0.48 \text{ g CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$, en herbazal de páramo $0.29 \text{ g CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ y en plantaciones de eucalipto $0.51 \text{ g CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$, siendo esos valores menores a los obtenidos en la presente investigación, en otro estudio de flujo de CO_2 en suelos de un bosque y una turbera antropogénica muestran valores de 0.22 a $1.00 \text{ g CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$, en suelos de bosque y 0.05 a $0.30 \text{ g CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$, en suelo de turbera (Urrutia, 2017), en suelos de bosque templado en México mostraron variaciones de 0.33 y $0.82 \text{ g CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ durante el invierno y la primavera, respectivamente (Cruz-Sánchez et al., 2022), estos valores están en línea con los del presente estudio.

En bofedal altoandino ubicado en la Provincial de El Collao, reporta valores de HR mayores en época lluviosa al igual que este estudio (Checalla, 2023).

4.2 DETERMINACIÓN DE LA DINÁMICA DE FLUJO DE CO_2 EN LOS DIFERENTES PUNTOS DE MUESTREO DEL SUELO EN EL BOFEDAL DE LA MOYA

Analizando el flujo de CO_2 influenciado por los diferentes puntos de muestreo, en la época seca el mayor flujo medio de CO_2 fue en el punto 4 (P4) de $1,26 \text{ g CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ y el

menor valor de $1.05 \text{ g CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ en el punto 2 (P2), con diferencia significativa ($p < 0.05$) de los P2 y P4 (Figura 05). Asimismo, durante la época lluviosa, el flujo de CO_2 fue más alto en el P3 y el P4, y el flujo de CO_2 fue más bajo en el P1. Hubo una diferencia notable entre el P1 y el P3 y el P4 durante este período (Figura 05).

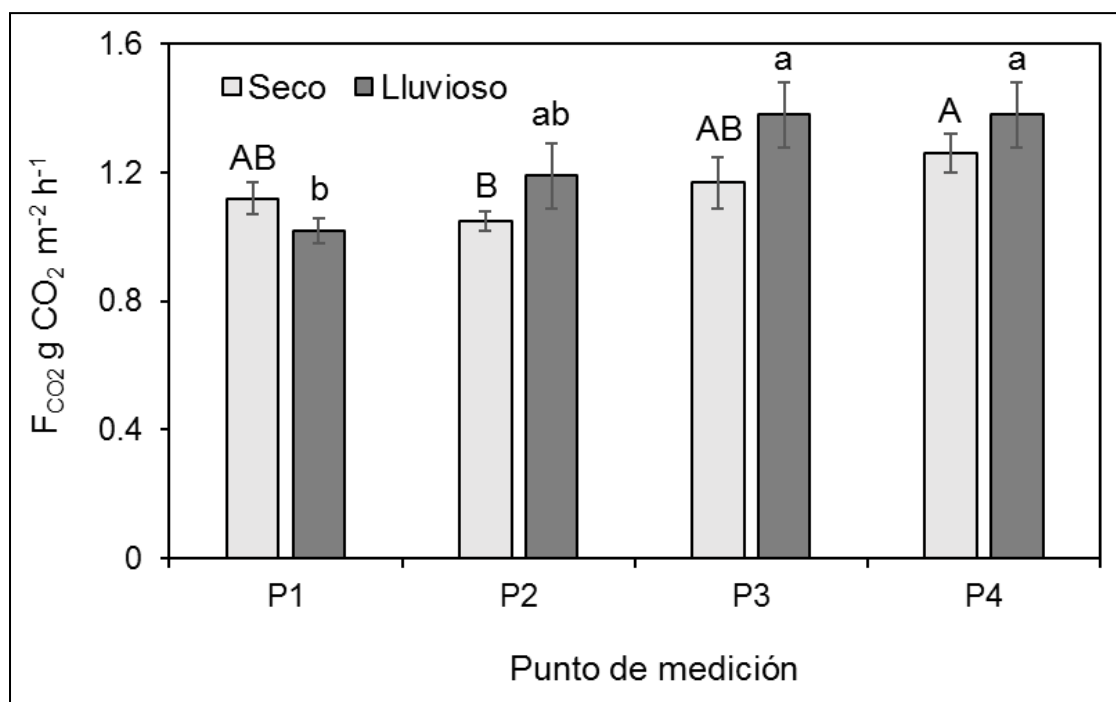


Figura 05: Flujo de CO_2 del suelo del bofedal de la Moya en época seca y lluviosa.

El flujo de CO_2 del suelo varía espacialmente (Silva et al., 2019), ese mismo resultado indica Checalla (2023) en época seca existe diferencia de flujo de CO_2 en los diferentes puntos de muestreo y son diferencia en época lluviosa.

4.3 RELACIÓN DE PROPIEDADES DEL SUELO CON EL FLUJO DE DIÓXIDO DE CARBONO EN EL BOFEDAL DE LA MOYA

El flujo de CO_2 del suelo se correlacionó significativamente y positiva ($p < 0.05$) con la humedad del suelo (Hs) y biomasa de raíces (BR) (Tabla 06). La temperatura del suelo (Ts), potencial de hidrógeno (pH), conductividad eléctrica (C.E.), materia orgánica del suelo (MO) y carbono orgánico del suelo (COS) no se correlaciona con el flujo de CO_2 .

Tabla 06: Correlación de Pearson entre el Flujo de CO₂ del suelo (F_{CO2}) y las propiedades del suelo (Índice de significancia, p<0.05) en época seca y lluviosa en el bofedal de la Moya.

Variables	Ts	Hs	pH	C.E.	MO	COS	BR
F _{CO2}	0.06 ^{NS}	0.22*	-0.05 ^{NS}	-0.09 ^{NS}	0.02 ^{NS}	0.02 ^{NS}	0.26*
Ts		-0.34*	-0.75**	-0.46*	-0.42*	-0.42*	0.34*
Hs			0.26*	0.07 ^{NS}	0.51**	0.51**	0.67**
pH				0.69**	0.16*	0.16*	-0.41*
C.E.					0.14*	0.14*	-0.45*
MO						1.0*	-0.01 ^{NS}
COS							-0.01 ^{NS}

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

En el presente estudio la Hs influye en el flujo de CO₂ del suelo de bofedales, en bofedal altoandino ubicado en El Collao, muestran que la Hs tuvo una influencia positiva con el flujo de CO₂ del suelo (Checalla, 2023), así mismo en suelos de un bosque y una turbera antropogénica indican que la Hs influye positivamente en el flujo de CO₂ del suelo (Urrutia, 2017), la actividad microbiana aumenta con la humedad del suelo (Silva et al., 2019). La humedad del suelo juega un papel crucial en las emisiones de gases del suelo porque regula la actividad microbiana y todos los procesos asociados (Oertel et al., 2016).

El flujo de CO₂ del suelo incluye la respiración microbiana de las raíces (Oertel et al., 2016), es bien conocido que la respiración de las raíces aumenta las emisiones de CO₂ del suelo (Han & Zhu, 2020).

4.4 RELACIÓN DE VARIABLES AMBIENTALES CON EL FLUJO DE CO₂ EN EL BOFEDAL DE LA MOYA

En el análisis de correlación de Pearson, existe diferencia significativa ($p < 0.05$) entre el flujo de CO₂ con la humedad relativa (HR), para las diferentes zonas en época seca y lluviosa. Por otro lado, los flujos de CO₂ y la temperatura del aire (Tar), la velocidad del viento (Vv), la presión atmosférica y la iluminación no se correlacionaron (Tabla 07).

Tabla 07: Correlación de Pearson entre el Flujo de dióxido de carbono del suelo (CO₂) y las variables ambientales (Índice de significancia, $p < 0.05$) en época seca y lluviosa en el bofedal de la Moya.

Variables	Tar	HR	Vv	Presión	Iluminación
CO ₂	-0.05 ^{NS}	0.17*	0.12 ^{NS}	0.08 ^{NS}	0.01 ^{NS}
Tar		-0.75**	-0.23*	-0.07 ^{NS}	0.52*
HR			0.20*	0.41*	-0.22*
Vv				0.03 ^{NS}	-0.07 ^{NS}
Presión					0.51*

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

En un estudio la HR ($r = 0.42$) tuvo influencia en el flujo de CO₂ del suelo de bofedales, mismo resultado fue reportado en un bofedal ubicado en El Collao (Checalla, 2023), así mismo, en suelo bajo diferentes coberturas se encontró una correlación significativa entre la humedad relativa y el flujo de CO₂ (Lopera, 2019), al igual que, en suelos de bosque la respiración del suelo está fuertemente relacionada con la HR ($r = 0.60$) según el coeficientes de correlación de Spearman (Cruz-Sánchez et al., 2022), y este estudio en suelo de bofedales tiene el mismo resultado.

CONCLUSIONES

PRIMERA: Se revelaron las primeras mediciones in situ de F_{CO_2} , en suelos de bofedales altoandinos. El flujo fue mayor en época lluviosa fue $1.24 \text{ g CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ y menor en seco fue $1.15 \text{ g CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$. La influencia de la época climática fue mínima porque los bofedales altoandinos son ecosistemas que están constantemente húmedos. Dado que los flujos de CO_2 del suelo no se vieron influidos por la estacionalidad climática, se rechaza la hipótesis nula.

SEGUNDA: Los datos muestran una variabilidad espacial en el F_{CO_2} del suelo, con variación en el rango de dependencia espacial debido a la estacionalidad, mostrando mayor dependencia espacial entre muestras en la época seca. Dado que los cambios estacionales de las emisiones de CO_2 están estrechamente ligados a las variables climáticas, se acepta la hipótesis nula para las estaciones secas y lluviosas.

TERCERA: El F_{CO_2} presentó una correlación positiva con la humedad del suelo ($r = 0.22$), a mayor H_s ocasiona el aumento de la actividad microbiana, mantener la humedad del suelo es crucial para evitar cambios en el flujo de CO_2 . La biomasa de raíces ($r = 0.26$) tiene un impacto en el flujo de CO_2 del suelo; a medida que aumenta la cantidad de raíces en el suelo, aumenta la emisión de CO_2 del suelo. Por lo tanto, se acepta la hipótesis nula para H_s .

CUARTA: La humedad relativa tiene un impacto en las emisiones de CO_2 del suelo. Los hallazgos indican que la humedad relativa ($r = 0.17$) es uno de los factores que influyen en el cambio en la tasa de emisión de CO_2 del suelo, por lo que se acepta la hipótesis nula para las variables HR.

RECOMENDACIONES

PRIMERA: Los habitantes del distrito de Ayaviri deben comprender la importancia de preservar estos ecosistemas porque los niveles de perturbación pueden influir negativamente en el flujo de CO₂.

SEGUNDA: Realizar estudios para evaluar los efectos de la adición de agroquímicos en la agricultura y los efectos en la dinámica de CO₂ de varios usos de suelo en el altiplano.

TERCERA: Se recomienda realizar una evaluación de la dinámica del CO₂ en el suelo de varios cultivos altoandinos con el objetivo de tener una agricultura baja en carbono y reducir las emisiones de GEI en la agricultura, así como recomendar proyectos para reducir el CO₂ en la agricultura.

CUARTA: Realizar mediciones de captura y emisión de CO₂ en otros bofedales por tener la mayor extensión en el departamento de Puno y es necesario cuantificar para la toma de decisiones.

BIBLIOGRAFÍA

- Acosta, R., Roberti, D. R., Rubert, G. C. D., Diaz, M. B., Cely, I., & Moraes, O. (2018).
Uma análise da sazonalidade dos fluxos superficiais de energia e carbono em um
ecossistema de campos nativos inserido no bioma Pampa. *Ciência e Natura*, *40*,
132. <https://doi.org/10.5902/2179460X30722>
- Albíter-Pineda, J. F., Vaca, R., Aguila, P. del, Yáñez-Ocampo, G., & Lugo, J. (2020). Flujo
de CO₂ 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. (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>
- Arellano-Martín, F., Dupuy, J. M., Us-Santamaría, R., & Andrade, J. L. (2022). El flujo de
CO₂ 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, Á., Maldonado, M., & Alcántara, F. (2021). Análisis del porcentaje de
humedad, materia orgánica y porosidad del suelo de dos tipos de bofedales.
Ciencia & Desarrollo, *20*(2), Article 2.
<https://doi.org/10.33326/26176033.2021.2.1204>
- Becerra, A. F. (2021). *Emisiones de dióxido de carbono (CO₂) y metano (CH₄)*

- suelo-atmósfera en tres coberturas de un paisaje de turberas de la Amazonía Nororiental Colombiana* [Tesis Pregrado, Pontificia Universidad Javeriana]. <http://repository.javeriana.edu.co/handle/10554/58982>
- Bowden, R. D., Newkirk, K. M., & Rullo, G. M. (1998). Carbon dioxide and methane fluxes by a forest soil under laboratory-controlled moisture and temperature conditions. *Soil Biology and Biochemistry*, 30(12), 1591-1597. [https://doi.org/10.1016/S0038-0717\(97\)00228-9](https://doi.org/10.1016/S0038-0717(97)00228-9)
- Buitrón, L. G., & Torres, H. J. (2023). Influence of Climate Variability on the Spatio-temporal Dynamics of the High Andean Wetlands of the Chicllarazo Microbasin. Period 1988-2022. *21st LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education, and Technology*, 1-9. <https://doi.org/10.18687/LACCEI2023.1.1.618>
- Carvajal, A. F., Feijoo, A., Quintero, H., & Rondón, M. A. (2009). Carbono orgánico del suelo en diferentes usos del terreno de paisajes andinos colombianos. *Revista de la ciencia del suelo y nutrición vegetal*, 9(3). <https://doi.org/10.4067/S0718-27912009000300005>
- 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://34.127.45.135/handle/UPSC/508>
- Cruz, Y. (2020). *Estimación de emisiones de dióxido de carbono y almacén de carbono orgánico en usos de suelos forestales* [Tesis de Maestría, Universidad Autónoma Chapingo]. <https://hdl.handle.net/20.500.12098/953>
- 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 CO₂ 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>
- Davidson, E. A., Verchot, L. V., Henrique, J., Ackerman, I. L., & Carvalho, J. E. M. (2000). Effects of soil water content on soil respiration in forests and cattle pastures of eastern Amazonia. *Biogeochemistry*, 48(1), 53-69. <https://doi.org/10.1023/A:1006204113917>
- Díaz, M. A. (2018). *Flujos de CO₂ y CH₄ en suelos de matorrales y bosques esclerófilos en la Reserva Nacional Roblería del Cobre de Loncha, Región Metropolitana* [Tesis Pregrado, Universidad de Chile]. <http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/152404>
- Díaz, R. D., Machaca, A. D., Belizario, G., & Lujano, E. (2023). Efectos del Cambio Climático Sobre los Ecosistemas de Montaña en la Cordillera Carabaya—Perú. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 38, e38230088. <https://doi.org/10.1590/0102-778638230088>
- Enriquez, A., & Cremona, M. V. (2017). *Humedales patagónicos como reservorios de carbono: Una función poco reconocida en un mundo cambiante* (Serie de Divulgación N°3 Presencia N°67-2017; p. 5).
- Flores-Aroni, M. (2017). *Captura de dióxido de carbono (co₂) en la "Chillihua" (Festuca dolichophylla presl) de los pastizales del CIP Illpa-Puno* [Tesis Pregrado, Universidad Nacional del Altiplano]. <https://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/3900>
- Han, M., & Zhu, B. (2020). Changes in soil greenhouse gas fluxes by land use change from primary forest. *Global Change Biology*, 26(4), 2656-2667. <https://doi.org/10.1111/gcb.14993>
- Hernández, M. E. (2010). *Suelos de humedales como sumideros de carbono y fuentes de metano*. 9.
- 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>
- INAIGEM. (2023). *Memoria Descriptiva del Inventario Nacional de Bofedales del Perú 2023*. Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña. <https://repositorio.inaigem.gob.pe/items/61d605a3-5bba-4357-a1fc-a716d595af8a>
- 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
- IPCC. (2007). *Climate change 2007: The physical science basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (p. 996) [Report]. Cambridge University Press.
- IPCC. (2014). *Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (p. 151).
- IPCC. (2021). *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (6to). University Press. <https://www.ipcc.ch/report/sixth-assessment-report-working-group-i/>
- Justo, L. C. (2023). *Influencia de la precipitación y la temperatura sobre la variabilidad espacio temporal de las superficies de los bofedales de Huanza, Huarochiri durante el periodo 1986-2022* [Tesis Pregrado, Universidad Privada del Norte]. <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/33863>
- Kalra, Y. P., & Maynard, D. G. (1991). *Methods manual for forest soil and plant analysis* (Vol. 319E). Information Report NOR-X-319E.

- <http://scf.rncan.gc.ca/publications?id=11845>
- León, A. Y. (2016). *Reserva de carbono en bofedales y su relación con la florística y condición del pastizal* [Tesis de Postgrado, Universidad Agraria La Molina].
<http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/20.500.12996/2749>
- Lopera, M. C. (2019). Flujo de CO₂ 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, M. (2015). An introduction to the bofedales of the Peruvian High Andes. *Mires and Peat*, 15(5), 1-13.
<http://mires-and-peat.net/pages/volumes/map15/map1505.php>
- Malhi, Y., Saatchi, S., Girardin, C., & Aragão, L. E. O. C. (2009). The production, storage, and flow of carbon in Amazonian forests. En M. Keller, M. Bustamante, J. Gash, & P. Silva Dias (Eds.), *Geophysical Monograph Series* (Vol. 186, pp. 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 (CO₂) 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
- 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. (2019a). *Guía de evaluación del estado del ecosistema de bofedal*.
<https://sinia.minam.gob.pe/documentos/guia-evaluacion-estado-ecosistema-bofedal>
- MINAM. (2019b). *Mapa Nacional de Ecosistemas del Perú: Memoria descriptiva*. Ministerio del Ambiente.
<https://sinia.minam.gob.pe/mapas/mapa-nacional-ecosistemas-peru>
- 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>
- NOAA. (2021). *Monthly Average Mauna Loa CO2*.
<https://gml.noaa.gov/ccgg/trends/mlo.html>
- Oertel, C., Matschullat, J., Zurba, K., Zimmermann, F., & Erasmi, S. (2016). Greenhouse gas emissions from soils-A review. *Geochemistry*, 76(3), 327-352.
<https://doi.org/10.1016/j.chemer.2016.04.002>
- 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, junio 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. (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/>
- Rugnitz, M. T., Chacón, M. L., & Porro, R. (2009). *Guía para la Determinación de Carbono en Pequeñas Propiedades Rurales* (1.ª ed.). Centro Mundial Agroflorestal (ICRAF) / Consórcio Iniciativa Amazônica (IA).
- Sá, M. M. F., Schaefer, C. E. G. R., Loureiro, D. C., Simas, F. N. B., Alves, B. J. R., de Sá Mendonça, E., de Figueiredo, E. B., La Scala, N., & Panosso, A. R. (2019). Fluxes of CO₂, CH₄, and N₂O in tundra-covered and Nothofagus forest soils in the Argentinian Patagonia. *Science of The Total Environment*, 659, 401-409. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.12.328>
- Sandoval, H. D. (2018). *Evaluación de las emisiones de CO₂ por la respiración del suelo en un Bosque Húmedo Premontano Tropical el Área de Conservación Regional*

- Cerro Escalera, distrito Banda de Shilcayo – San Martín, 2017* [Tesis Pregrado, Universidad Peruana Unión].
<https://repositorio.upeu.edu.pe/handle/20.500.12840/1747>
- Silva, D. A. P. da, Campos, M. C. C., Mantovanelli, B. C., Santos, L. A. C. dos, Soares, M. D. R., & Cunha, J. M. da. (2019). Variabilidade espacial da emissão de CO₂, temperatura e umidade do solo em área de pastagem na região Amazônica, Brasil. *Revista de Ciências Agroveterinárias*, 18(1), Article 1.
<https://doi.org/10.5965/223811711812019119>
- Siqueira, M., Piccolo, M. de C., Costa, C., Cerri, C. C., & Bernoux, M. (2011). Emissão de gases do efeito estufa em diferentes usos da terra no bioma Cerrado. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 35(1), 63-76.
<https://doi.org/10.1590/S0100-06832011000100006>
- Urrutia, P. (2017). *Estimación de flujos de gases de efecto invernadero en suelos de un bosque y una turbera antropogénica en la Comuna de Ancud, Chiloé* [Tesis de Pre grado, Universidad de Chile]. <http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/150961>
- Walkley, A., & Black, I. A. (1934). An examination of the degtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science*, 37(1), 29-38.
https://journals.lww.com/soilsci/Citation/1934/01000/An_Examination_of_the_Degtjareff_Method_for.3.aspx3
- Warner, D. L., Vargas, R., Seyfferth, A., & Inamdar, S. (2018). Transitional slopes act as hotspots of both soil CO₂ emission and CH₄ uptake in a temperate forest landscape. *Biogeochemistry*, 138(2), 121-135.
<https://doi.org/10.1007/s10533-018-0435-0>
- WMO. (2019). *WMO Greenhouse Gas Bulletin: The State of Greenhouse Gases in the Atmosphere Based on Global Observations through 2018* (Boletín 15; p. 8). Global

Atmosphere Watch. https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=10100

WMO. (2021). *WMO Greenhouse Gas Bulletin: The State of Greenhouse Gases in the Atmosphere Based on Global Observations through 2020* (Boletín 17; p. 10).

Global Atmosphere Watch.

https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=10904

Yu, H. Y., Kim, S. H., & Kim, J. G. (2022). Carbon sequestration potential in montane wetlands of Korea. *Global Ecology and Conservation*, 37, e02166.

<https://doi.org/10.1016/j.gecco.2022.e02166>

ANEXOS

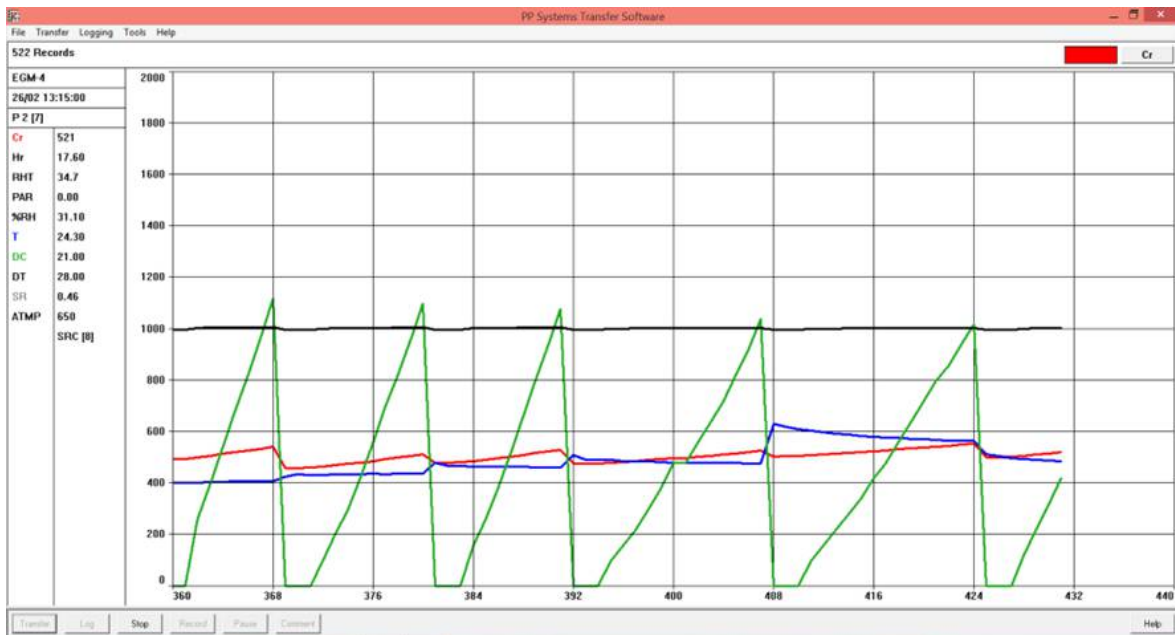
Anexo 01: Matriz de consistencia

DINÁMICA DEL FLUJO DE DIÓXIDO DE CARBONO DEL SUELO EN EL BOFEDAL DE LA MOYA, EN EL DISTRITO DE AYAVIRI - MELGAR, 2022

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	INDICADORES	INSTRUMENTOS	TÉCNICA DE PROCESAMIENTO DE DATOS
<p>GENERAL ¿Cuál será la dinámica del flujo de CO₂ del suelo, en el bofedal de la Moya, en el Distrito de Ayaviri - Melgar, 2022?</p> <p>ESPECÍFICOS ¿Cómo afecta la época lluviosa y seca en la dinámica de flujo de CO₂ del suelo en el bofedal de la Moya? ¿Cómo varía la dinámica de flujo de CO₂ en los diferentes puntos de</p>	<p>GENERAL Determinar la dinámica del flujo de CO₂ del suelo, en el bofedal de la Moya, en el Distrito de Ayaviri - Melgar, 2022</p> <p>ESPECÍFICOS Comparar la época lluviosa y seca en la dinámica de flujo de CO₂ del suelo en el bofedal de la Moya. Determinar la fluctuación de la dinámica del flujo de CO₂ en las</p>	<p>GENERAL La dinámica del flujo de CO₂ del suelo, en el bofedal de la Moya, es positivo, en el Distrito de Ayaviri - Melgar, 2022</p> <p>ESPECÍFICAS La dinámica de CO₂ del suelo varía entre la época lluviosa y seca en el bofedal de la Moya; La dinámica del flujo de CO₂ del suelo varían de acuerdo a la ubicación de los</p>	<p>Independiente: Suelo del bofedal de la Moya</p> <p>Dependiente: Dinámica de flujo de CO₂</p>	<p>Positivo (emisión o fuente de CO₂).</p> <p>Negativo (sumidero o absorción de CO₂).</p>	<p>Analizador de gases infrarrojo (IRGA) (EGM-4, PP Systems, USA) conectado a una cámara de respiración (SRC-1, PP Systems, USA) y STP-1 – Sonda de Temperatura del Suelo).</p> <p>Anemómetro Termómetro</p> <p>Estadística descriptiva</p>	<p>Nivel de investigación: Descriptivo correlacional</p> <p>Diseño de investigación: No experimental - Longitudinal</p> <p>Método Deductivo-inductivo</p> <p>Población:</p>

<p>muestreo del suelo en el bofedal de la Moya?</p> <p>¿Cómo se relaciona el flujo de CO₂ con la temperatura y humedad de los suelos, pH, conductividad eléctrica, materia orgánica, carbono orgánico del suelo y biomasa de raíces en el bofedal de la Moya?</p> <p>¿Qué relación tiene la temperatura del aire, humedad relativa, velocidad del viento, presión atmosférica e iluminación con el flujo de CO₂ en el bofedal de la Moya?</p>	<p>localizaciones de las muestras de suelo del bofedal de la Moya.</p> <p>Relacionar el flujo de CO₂ con la humedad del suelo, temperatura, conductividad eléctrica, pH, materia orgánica del suelo y la biomasa radicular en el bofedal de la Moya.</p> <p>Correlacionar el flujo de CO₂ con la presión atmosférica, velocidad del viento, humedad relativa, temperatura del aire, e iluminación en el bofedal de la Moya</p>	<p>puntos de medición del suelo en el bofedal de la Moya;</p> <p>La temperatura y humedad de los suelos, pH, conductividad eléctrica, materia orgánica, carbono orgánico del suelo y biomasa de raíces influyen en el flujo de CO₂ en los suelos del bofedal de la Moya;</p> <p>La velocidad del viento, temperatura del aire, humedad relativa, presión atmosférica y la iluminación influyen en el flujo de CO₂ del suelo en el bofedal de Moya.</p>	<p>Bofedal La Moya : 33 ha</p> <p>Muestreo: Cuatro puntos de medición y dos épocas climáticas</p>

Anexo 02: Descarga de datos almacenados en EGM-4 durante la medición de concentración de CO₂



Anexo 03: Datos de medición de un día de medición (dos puntos) por equipo EGM-4

;Plot	RecNo	CO₂ Ref	mbR Temp	Input E	Input F	ATMP
1	1	519	25.1	0	0	642
1	2	526	25.1	4	0	642
1	3	535	25.1	9	0	642
1	4	545	25.1	14	1.15	642
1	5	553	25.2	19	1.16	642
1	6	563	25.2	24	1.18	642
1	7	572	25.2	28	1.19	642
2	1	494	25.4	0	0	642
2	2	496	25.4	4	0	642
2	3	501	25.4	9	0	642
2	4	508	25.4	14	0.61	642
2	5	515	25.5	19	0.72	642
2	6	522	25.5	24	0.77	642
2	7	530	25.6	28	0.82	642
2	8	537	25.6	33	0.85	642
2	9	545	25.6	38	0.88	642
3	1	500	25.8	0	0	642
3	2	505	25.8	4	0	642
3	3	512	25.8	9	0	642
3	4	521	25.9	14	0.88	642
3	5	529	25.9	19	0.93	642
3	6	538	26	24	0.97	642

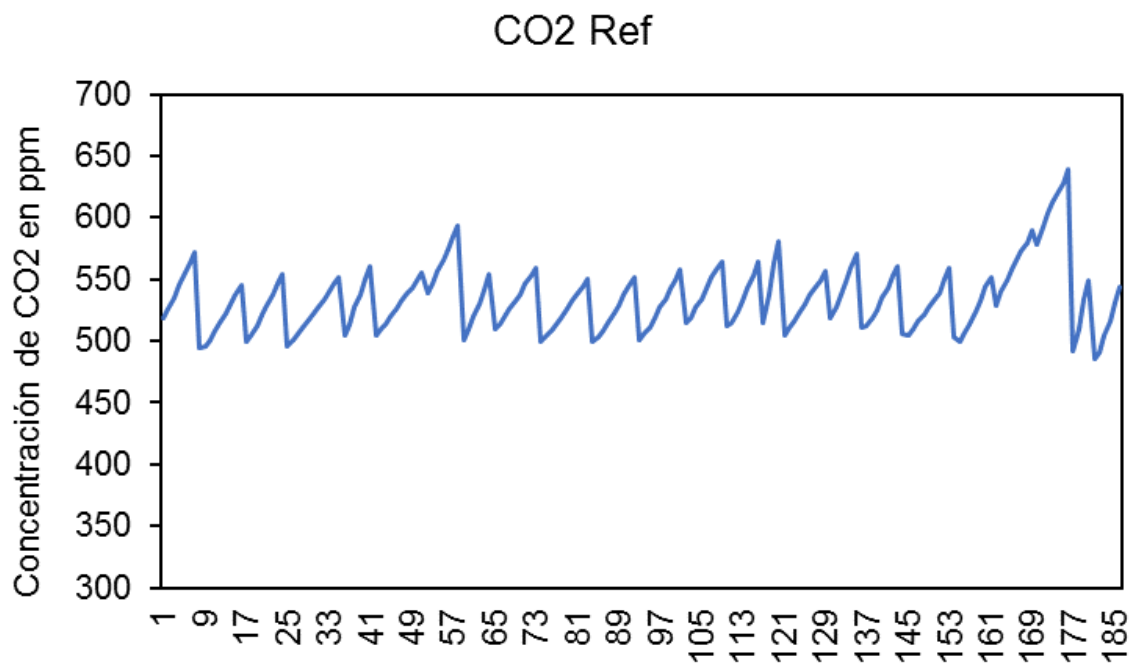
3	7	546	26	28	0.99	642
3	8	554	26	33	1.01	642
4	1	496	26.4	0	0	642
4	2	501	26.4	4	0	642
4	3	506	26.4	9	0	642
4	4	511	26.5	14	0.68	642
4	5	517	26.5	19	0.69	642
4	6	522	26.5	24	0.7	642
4	7	528	26.6	28	0.71	642
4	8	534	26.6	33	0.73	642
4	9	540	26.5	38	0.74	642
4	10	546	26.6	43	0.74	642
4	11	552	26.6	48	0.75	642
5	1	504	27	0	0	642
5	2	514	27.1	4	0	642
5	3	527	27.1	9	0	642
5	4	538	27.1	14	1.48	642
5	5	550	27.1	19	1.48	642
5	6	561	27.1	24	1.48	642
6	1	505	27.2	0	0	642
6	2	509	27.2	4	0	642
6	3	514	27.2	9	0	642
6	4	520	27.2	14	0.62	642
6	5	526	27.2	19	0.67	642
6	6	532	27.2	24	0.69	642

6	7	538	27.1	28	0.7	642
6	8	543	27.2	33	0.71	642
6	9	549	27.1	38	0.72	642
6	10	555	27.2	43	0.72	642
1	1	539	28.2	0	0	642
1	2	546	28.2	4	0	642
1	3	556	28.3	9	0	642
1	4	565	28.2	14	1.19	642
1	5	575	28.2	19	1.23	642
1	6	585	28.2	24	1.24	642
1	7	594	28.3	28	1.25	642
2	1	501	28.5	0	0	642
2	2	510	28.5	4	0	642
2	3	520	28.5	9	0	642
2	4	530	28.5	14	1.23	642
2	5	541	28.6	19	1.27	642
2	6	554	28.6	24	1.34	641
3	1	510	28.9	0	0	642
3	2	514	28.9	4	0	642
3	3	520	28.9	9	0	642
3	4	526	28.9	14	0.67	642
3	5	532	28.9	19	0.72	642
3	6	538	29	24	0.73	642
3	7	547	29	28	0.78	641
3	8	553	29	33	0.8	642

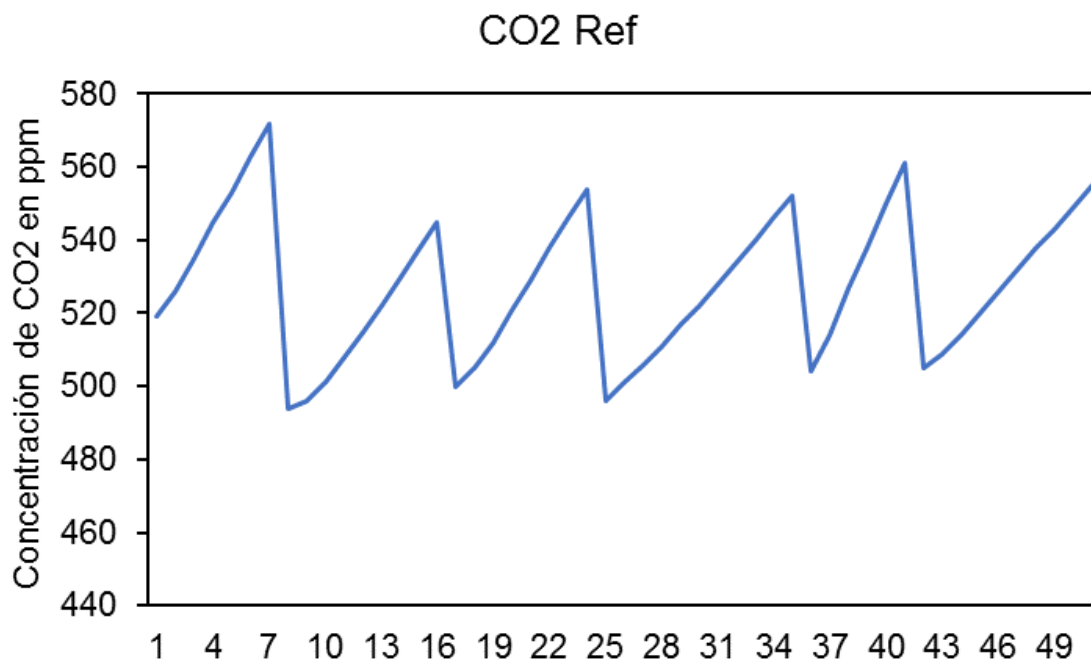
3	9	559	29	38	0.81	642
4	1	500	29.2	0	0	642
4	2	505	29.2	4	0	641
4	3	508	29.2	9	0	642
4	4	513	29.2	14	0.55	642
4	5	519	29.2	19	0.6	642
4	6	526	29.3	24	0.66	641
4	7	533	29.3	28	0.7	641
4	8	538	29.3	33	0.71	642
4	9	544	29.3	38	0.73	642
4	10	550	29.3	43	0.74	642
5	1	500	29.2	0	0	642
5	2	503	29.2	4	0	642
5	3	508	29.2	9	0	642
5	4	515	29.2	14	0.63	642
5	5	522	29.2	19	0.71	642
5	6	529	29.2	24	0.77	642
5	7	538	29.2	28	0.83	641
5	8	544	29.2	33	0.85	642
5	9	552	29.2	38	0.88	642
6	1	501	29.2	0	0	642
6	2	506	29.2	4	0	641
6	3	511	29.2	9	0	642
6	4	519	29.1	14	0.76	642
6	5	527	29.2	19	0.83	642

6	6	534	29.2	24	0.87	642
6	7	542	29.1	28	0.9	641
6	8	549	29.2	33	0.91	642
6	9	558	29.2	38	0.93	641

Anexo 04: Gráfico de líneas de la concentración de CO₂ en ppm medido por EGM-4, en un día de medición



Anexo 05: Gráfico de líneas de la concentración de CO₂ en ppm medido por EGM-4, en un punto de medición (seis cámaras de medición de flujo)

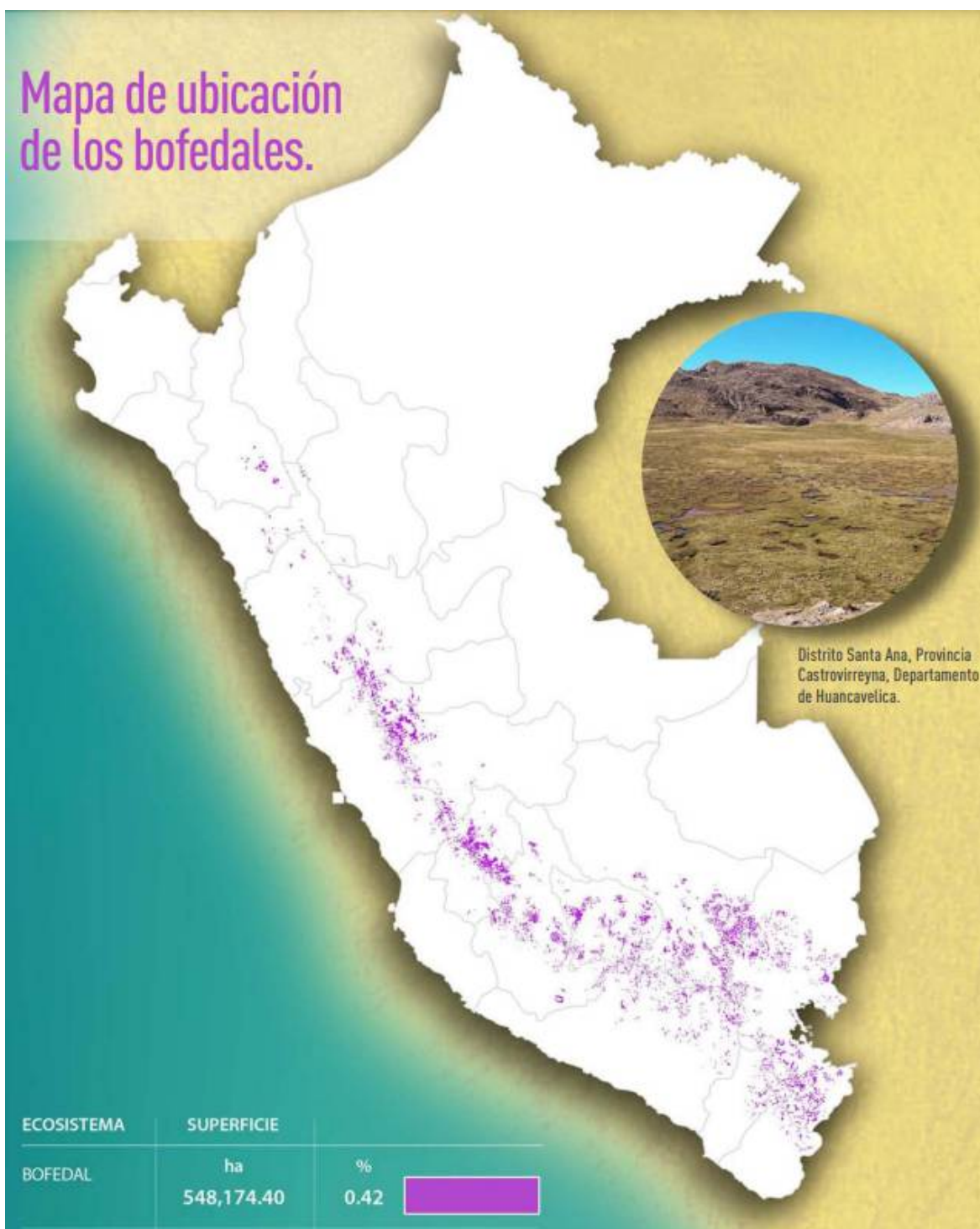


Anexo 06: Cálculo de flujo de CO₂ del suelo en bofedal de la Moya, Ayaviri, Puno

Cámara	Altura da cámara (cm)					Vc (m3)	Vd	Cn - C1 tn - t1	Presion (P) (mb)	Temperatura °C	Temperatura K
	1	2	3	4	Média						
C1	7.8	7.4	7.3	7.2	7.4	0.00058316	0.0012287	1.19285714	642.00	25.14	298.29
C2	8	7.8	8	8.4	8.05	0.00063225	0.0012287	1.34210526	642.00	25.49	298.64
C3	7.8	7.6	7.8	7.6	7.7	0.00060476	0.0012287	1.63636364	642.00	25.90	299.05
C4	7.3	6.5	6.8	6.7	6.825	0.00053603	0.0012287	1.16666667	642.00	26.51	299.66
C5	8	7.5	7	7.2	7.425	0.00058316	0.0012287	1.375	642.00	27.08	300.23
C6	7.5	7.8	7.2	8	7.625	0.00059887	0.0012287	1.1627907	642.00	27.18	300.33

P	Área suelo cam	Vd	Peso molecular	R	44.01*0.36	Fs CO2	Vd + Vc	Fsc CO2
t + 273.15	m^2 (A)	A	CO2 44 g/mol		R	g m^-2 h^-1	Vd	g m^-2 h^-1
2.1522	0.00785	0.15644298	44.01	0.36	8.314	1.90565312	1.4746	1.12864881
2.1498	0.00785	0.15644298	44.01	0.36	8.314	1.90565312	1.5146	1.30275555
2.1468	0.00785	0.15644298	44.01	0.36	8.314	1.90565312	1.4922	1.56277228
2.1424	0.00785	0.15644298	44.01	0.36	8.314	1.90565312	1.4363	1.07025608
2.1383	0.00785	0.15644298	44.01	0.36	8.314	1.90565312	1.4746	1.29257883
2.1376	0.00785	0.15644298	44.01	0.36	8.314	1.90565312	1.4874	1.10221161

Anexo 07: Ubicación y extensión de humedales (bofedales) en el Perú



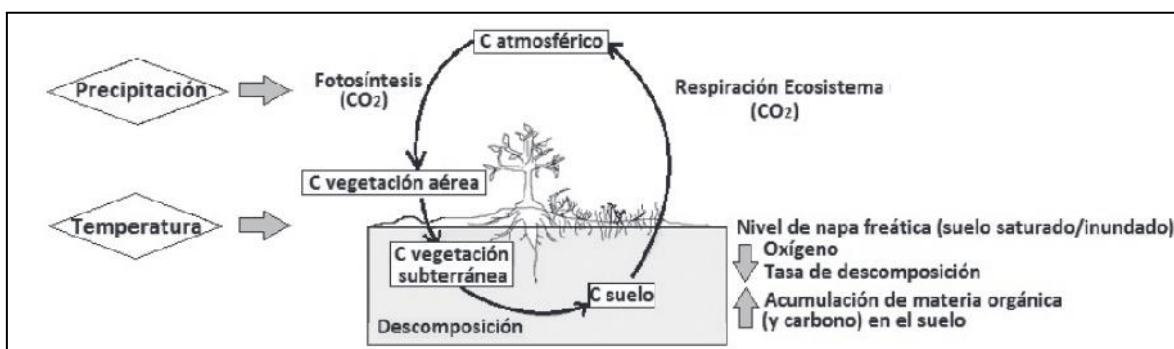
Fuente: (MINAM, 2019a)

Anexo 08: Bofedales en el departamento de Puno



Fuente: (INAIGEM, 2023)

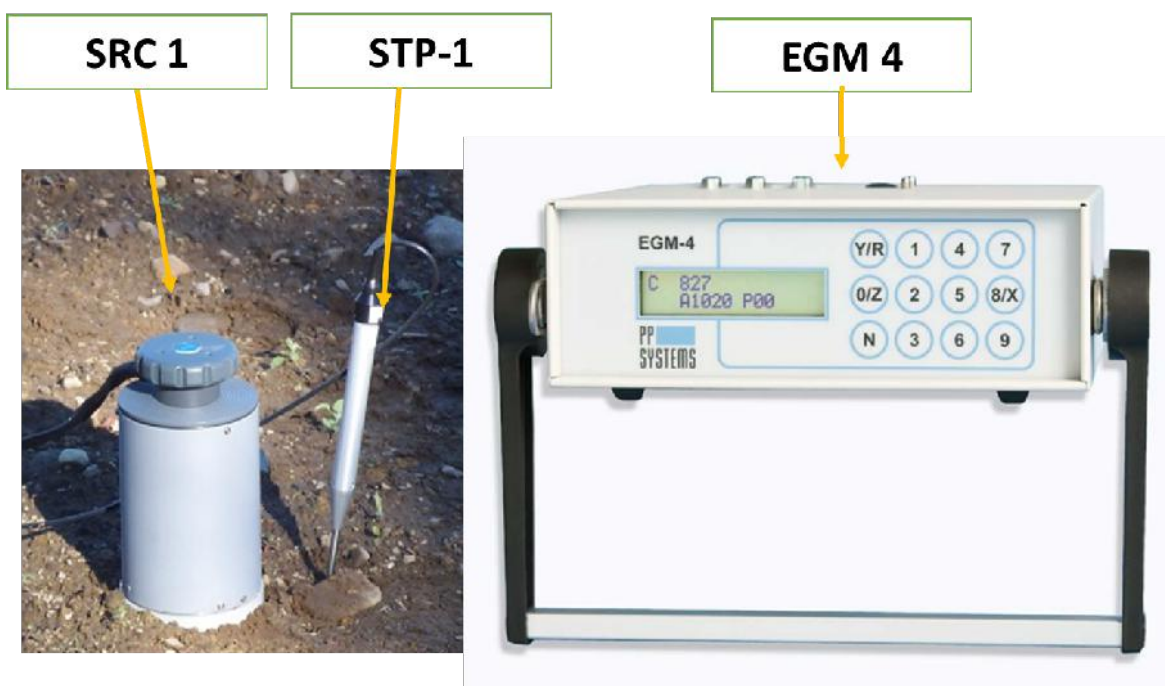
Anexo 09: Ciclo del carbono en humedales (bofedales)



Fuente: (Enriquez y Cremona, 2017).

El carbono atmosférico (dióxido de carbono-CO₂) se fija en las plantas durante el proceso de fotosíntesis. Al degradar los microbios, el C de la planta se introduce en el suelo y permanece allí hasta que es liberado por la respiración del ecosistema (CO₂ de los microbios y las raíces). Los suelos saturados limitan la descomposición y promueven la acumulación de C en el suelo. La precipitación y la temperatura son dos parámetros extrínsecos que influyen en el ciclo del carbono.

Anexo 10: Analizador de gases infrarrojos (IRGA) (EGM-4, PP Systems, USA) conectado a una cámara de respiración (SRC-1, PP Systems, USA) y STP-1 – Sonda de Temperatura del Suelo



Fuente: www.ppsystems.com

Anexo 11: Panel fotográfico en época seca en bofedal de la Moya



Figura 06: Vista panorámica del bofedal de la Moya en época seca



Figura 07: Cámara de flujo, termómetro y medidor de humedad del suelo



Figura 08: Cámara de respiración (SRC-1, PP Systems, USA) y STP-1 y Sonda de Temperatura del Suelo



Figura 09: Analizador de gases infrarrojo (IRGA) (EGM-4, PP Systems, USA)



Figura 10: Realizando configuración para reiniciar la medición en nueva cámara de flujo de CO₂



Figura 11: Liberando concentración de CO₂ acumulada en la anterior medición



Figura 12: Colocar la cámara de respiración en los tubos de PVC



Figura 13: Muestreo de suelos para análisis en laboratorio

Anexo 12: Panel fotográfico en época lluviosa en bofedal de la Moya



Figura 14: Vista panorámica del bofedal de la Moya en época lluviosa



Figura 15: Equipo de trabajo de campo



Figura 16: Tubo de PVC para medición de flujo de CO₂ del suelo



Figura 17: Tubo de PVC en área de estudio



Figura 18: Analizador de gases infrarrojo (IRGA) (EGM-4, PP Systems, USA)



Figura 19: Cámara de respiración (SRC-1, PP Systems, USA) y STP-1 y Sonda de Temperatura del Suelo



Figura 20: Medición de variables ambientales con anemómetro digital



Figura 21: Medición de Tar, HR, Vv, Presión atmosférica e iluminación



Figura 22: Medición de pH del suelo

Anexo 13: Análisis de laboratorio



Figura 23: Muestras de suelo



Figura 24: Muestras de suelo para determinar porcentaje de humedad



Figura 25: Muestras de raíces



Figura 26: Muestras de raíces para determinar biomasa de raíces



Figura 27: Pesado y registro de raíces



Figura 28: Pesado y registro de muestras de suelo



Figura 29: Muestras de suelo y raíces para secado



Figura 30: Muestras de suelo en estufa para determinar porcentaje de humedad

Anexo 14: Resultado de análisis de laboratorio en época seca



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO - PUNO

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGRÓNOMICA

LABORATORIO DE AGUAS Y SUELOS

RESULTADO DE ANÁLISIS



ASUNTO: ANÁLISIS DE SUELOS PH, C.E, MATERIA ORGÁNICA Y CARBONO ORGÁNICO

PROCEDENCIA : Humedal (bofedal) de la Moyna del distrito de Ayaviri, Melgar- Puno-Perú
 INTERESADOS : MARIO FLORES ARONI
 MOTIVO : ANÁLISIS DE PH, C.E., MATERIA ORGÁNICA Y CARBONO ORGÁNICO
 FECHA DE MUESTREO : 10/10/2022 (Por el interesado) – época seca
 FECHA DE ANÁLISIS : 20/10/2022

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y QUÍMICAS:

PARAMETROS	Puntos de medición			
	P1	P2	P3	P4
pH	5.38	5.88	5.40	5.19
C.E. mS/cm	0.66	1.48	0.43	0.81
MATERIA ORGANICA %	37.28	22.92	18.54	34.35
CARBONO ORGANICO %	21.62	13.29	10.75	19.92
HUMEDAD % (I)	42.64	32.44	45.87	58.11
HUMEDAD % (II)	38.33	36.59	45.95	57.94
BR (Mg/ha)	12.49	11.47	16.84	19.86



ANALISTA
PUNO - PERU



Evaristo Mamani Mamani
 D. Sc. Evaristo Mamani Mamani
 JEFE DE LABORATORIOS DE AGUAS Y SUELOS

Anexo 15: Resultado de análisis de laboratorio en época lluviosa



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO - PUNO

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGRONÓMICA

LABORATORIO DE AGUAS Y SUELOS



RESULTADO DE ANÁLISIS

ASUNTO: ANÁLISIS DE SUELOS PH, C.E, MATERIA ORGÁNICA Y CARBONO ORGÁNICO

PROCEDENCIA : Humedal (bofedal) de la Moya del distrito de Ayaviri, Melgar- Puno-Perú
INTERESADOS : MARIO FLORES ARONI
MOTIVO : ANÁLISIS DE PH, C.E, MATERIA ORGÁNICA, HUMEDAD Y CARBONO ORGÁNICO
FECHA DE MUESTREO : 30/01/2023 (Por el interesado) – época lluviosa
FECHA DE ANALISIS : 10/02/2023

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y QUÍMICAS:

PARAMETROS	Puntos de medición			
	P1	P2	P3	P4
pH	6.01	5.94	5.88	5.74
C.E. mS/cm	1.23	1.98	0.84	0.87
MATERIA ORGÁNICA %	42.34	33.39	29.07	40.63
CARBONO ORGÁNICO %	24.56	19.37	16.86	23.57
HUMEDAD % (I)	57.53	60.90	67.14	71.86
HUMEDAD % (II)	58.26	62.38	65.47	68.94
BR (Mg/ha)	12.68	14.38	18.54	18.46



Mónica Rodríguez Calla
ANALISTA
PUNOS SERVICIOS DE AGUAS Y SUELOS




D-Sc. Evaristo Mamani Mamani
JEFE DE LABORATORIOS DE AGUAS Y SUELOS