

UNIVERSIDAD PRIVADA SAN CARLOS

FACULTAD DE INGENIERÍAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL



TESIS

**VARIABILIDAD ESPACIAL Y TEMPORAL DEL FLUJO DE DIÓXIDO DE
CARBONO DEL BOFEDAL DEL SECTOR CCALLUCHANI, PICHACANI, PUNO**

- 2024

PRESENTADA POR:

CELESTINO NUÑEZ CONDORI

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO AMBIENTAL

PUNO – PERÚ

2024



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



10.08%

SIMILARITY OVERALL

SCANNED ON: 10 OCT 2024, 6:24 PM

Similarity report

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

● IDENTICAL
0.62%

● CHANGED TEXT
9.46%

Report #23186341

CELESTINO NUÑEZ CONDORI // VARIABILIDAD ESPACIAL Y TEMPORAL DEL FLUJO DE DIÓXIDO DE CARBONO DEL BOFEDAL DEL SECTOR CCALLUCHANI, PICHACANI, PUNO - 2024 RESUMEN La liberación natural de dióxido de carbono (CO₂) en la superficie del suelo se produce mediante la actividad y respiración de microorganismos, la degradación aeróbica de la materia orgánica y la respiración del sistema radicular de las plantas. El objetivo fue evaluar la variabilidad espacial y temporal de los flujos de dióxido de carbono del bofedal en el sector Ccalluchani, Pichacani. La investigación se realizó de febrero a junio de 2024, en cuatro puntos utilizando un analizador de gases de CO₂ (EGM-4). Los resultados muestran que la variabilidad espacial del flujo de CO₂ es homogénea en los cuatro puntos de muestreo, con valores promedios de 1.31 g CO₂ m² h⁻¹ y 1.36 g CO₂ m² h⁻¹, lo que se alinea con investigaciones previas en la región. Sin embargo, la variabilidad temporal es significativa, con un flujo máximo de 1.74 g CO₂ m² h⁻¹ el 03 de abril de 2024 y un mínimo de 0.82 g CO₂ m² h⁻¹ el 04 de junio de 2024, indicando que el flujo de CO₂ varía considerablemente a lo largo del tiempo. Además, se observó que la temperatura del suelo varió entre 11.72 °C y 18.76 °C, siendo o más alta en períodos de menor precipitación, y la humedad del suelo se mantuvo alta, entre 84.80% y 87.46%. El pH del suelo se consideró ligeramente ácido, oscilando entre 5.24 y 6.23. Analizando la influencia

Yudy Roxana ALANIA LAQUI

Oficina de Repositorio Institucional

UNIVERSIDAD PRIVADA SAN CARLOS

FACULTAD DE INGENIERÍAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

TESIS

VARIABILIDAD ESPACIAL Y TEMPORAL DEL FLUJO DE DIÓXIDO DE
CARBONO DEL BOFEDAL DEL SECTOR CCALLUCHANI, PICHACANI, PUNO

- 2024

PRESENTADA POR:

CELESTINO NUÑEZ CONDORI

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO AMBIENTAL

APROBADA POR EL SIGUIENTE JURADO:

PRESIDENTE

: 
Mg. ELVIRA ANANI DURAND GOYZUETA

PRIMER MIEMBRO

: 
Dra. MARLENE CUSI MONTESINOS

SEGUNDO MIEMBRO

: 
M.Sc. JOSÉ ELADIO NUÑEZ QUIROGA

ASESOR DE TESIS

: 
Mg. JULIO WILFREDO CANO OJEDA

Área: Ingeniería, tecnología

Sub Área: Ingeniería Ambiental

Líneas de Investigación: Ciencias Ambientales

Puno, 23 de octubre del 2024

DEDICATORIA

A Dios, por permitirme llegar hasta este punto y haberme dado salud para lograr mis objetivos.

Dedico este trabajo con mucho amor y agradecimiento a mis padres: Natalio y Nicolasa por ser fuente de inspiración de superación constante.

Celestino Nuñez Condori

AGRADECIMIENTOS

- A la Universidad Privada San Carlos de Puno, en especial a la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental por su aporte significativo en mi formación académica
- Así mismo agradezco a cada uno de los miembros del jurado, por sus aportes, sugerencias, recomendaciones, y el apoyo constante de mis hermanos (as), amigos (as) en la realización del presente trabajo por su motivación, valiosa para el desarrollo de esta tesis.

Celestino Nuñez Condori

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA	1
AGRADECIMIENTOS	2
ÍNDICE GENERAL	3
ÍNDICE DE TABLAS	7
ÍNDICE DE FIGURAS	8
INDICE DE ANEXOS	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	18
1.1.2 Problemas específicos	18
1.2. ANTECEDENTES	18
1.2.1 A nivel internacional	18
1.2.2 A nivel nacional	20
1.2.3 A nivel local o regional	21
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	24
2.1.1 Cambio climático	24
2.1.2 Consecuencias globales del cambio climático	24
2.1.3 Gases de efecto invernadero (GEI)	25
2.1.4 Dinámica de la emisión de dióxido de carbono en el suelo	26
2.1.5 Carbono orgánico del suelo y su papel frente al cambio climático	26
2.1.6 Ciclo del carbono	27
2.1.7 Bofedales altoandinos	28
2.1.8 Características de los bofedales	29
2.1.9 Extensión de bofedales altoandinos	30
2.1.10 Servicios ecosistémicos de bofedales altoandinos	31
2.1.11 Amenazas para los bofedales	32
2.1.12 Actividad minera en humedales altoandinos	32
2.2. MARCO CONCEPTUAL	32
2.2.1 Bofedal	32
2.2.2 Carbono orgánico del suelo (COS)	33
2.2.3 Ecosistema	33
2.2.4 Estacionalidad	33
2.2.5 Humedad del suelo	33
2.2.6 Servicio ecosistémico	33
2.2.7 Temperatura del suelo	34
2.3. MARCO NORMATIVO	34
2.3.1 Ley General del Ambiente	34
2.3.2 Política Nacional del Ambiente (D.S. N° 012-2009-MINAM)	34

2.3.3 Reglamento Ambiental para las Actividades de Exploración Minera (D.S. N° 020-2008-EM)	34
2.3.4 Reglamento de Zonificación Ecológica y Económica (D.S. N° 087-2004-PCM)	34
2.4. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN	34
2.4.1 HIPÓTESIS GENERAL	34
2.4.2 HIPÓTESIS ESPECÍFICAS	35
CAPÍTULO III	
METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	
3.1. ZONA DE ESTUDIO	36
3.2. TAMAÑO DE MUESTRA	37
3.2.1 Población	37
3.2.2 Muestra	38
3.3. MÉTODOS Y TÉCNICAS	38
3.4. DISEÑO METODOLÓGICO POR OBJETIVOS.	38
3.5. IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES	42
3.6. MÉTODO O DISEÑO ESTADÍSTICO	42
CAPÍTULO IV	
EXPOSICION Y ANALISIS DE LOS RESULTADOS	
4.1 VARIABILIDAD ESPACIAL DEL FLUJO DE DIÓXIDO DE CARBONO DEL SUELO EN EL BOFEDAL DEL SECTOR CCALLUCHANI	44
4.2 VARIABILIDAD TEMPORAL DEL FLUJO DE DIÓXIDO DE CARBONO DEL SUELO EN EL BOFEDAL DEL SECTOR CCALLUCHANI	46
4.3 INFLUENCIA DE LAS PROPIEDADES DEL SUELO Y VARIABLES AMBIENTALES EN EL FLUJO DE DIÓXIDO DE CARBONO DEL SUELO EN EL BOFEDAL DEL SECTOR CCALLUCHANI	47

4.4 PRUEBA DE HIPÓTESIS	50
4.4.1 Contrastación de la hipótesis general	50
4.4.2 Contrastación de la hipótesis específica 1	50
4.4.3 Contrastación de la hipótesis específica 2	50
4.4.4 Contrastación de la hipótesis específica 3	51
CONCLUSIONES	52
RECOMENDACIONES	54
BIBLIOGRAFÍA	55
ANEXOS	61

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 01: Tiempo que dura en la atmósfera la concentración de GEI	26
Tabla 02: Potencial del calentamiento global de GEI	26
Tabla 03: Estaciones de medición y N° de muestras bofedal del sector Ccalluchani	38
Tabla 04: Operacionalización de variables de estudio	42
Tabla 05: Variación temporal de los parámetros del suelo y del aire ambiente en el bofedal	48
Tabla 06: Correlación de Pearson de flujo de CO ₂ y variables ambientales	49

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 01: Ciclo del carbono	28
Figura 02: Interacciones entre los componentes de un bofedal	30
Figura 04: Distribución de cámaras de medición de flujo de CO ₂	39
Figura 05: El analizador de gases por infrarrojos (IRGA) (EGM-4, PP Systems, EE.UU.) está conectado a una cámara de respiración (SRC-1, PP Systems, EE.UU.) y a una sonda de temperatura del suelo (STP-1).	40
Figura 06: Variación de flujo de CO ₂ en diferentes puntos de medición en suelo de bofedal	45
Figura 07: Variación de flujo de CO ₂ en diferentes fechas de medición en suelos de bofedal altoandino	46
Figura 08: Mapa de bofedales en el departamento de Puno, Perú	63
Figura 09: Bofedal del Sector Ccalluchani vista al norte	74
Figura 10: Bofedal del Sector Ccalluchani vista al sur	74
Figura 11: Analizador de gas de CO ₂ modelo (EGM-4)	75
Figura 12: Punto de medición (P1)	75
Figura 13: Cámaras de medición (C1 y C2)	76
Figura 14: Cámaras de medición (C3 y C4)	76
Figura 15: Cámaras de medición (C5 y C6)	77
Figura 16: Realizando la programación de en el equipo EGM-4	77
Figura 17: Colocando la cámara de respiración a las cámaras	78
Figura 18: Liberando la concentración de CO ₂ medido en la anterior medición	78
Figura 19: Medición de CO ₂ del suelo	79
Figura 20: Observando el cambio de concentración de CO ₂	79
Figura 21: Medición de CO ₂ , indica concentración, temperatura, tiempo	80

Figura 22: Cámara de medición y termómetro	80
Figura 23: Midiendo altura de cámaras para conocer volumen	81
Figura 24: Midiendo variables ambientales con anemómetro digital	82

INDICE DE ANEXOS

	Pág.
Anexo 01: Matriz de consistencia: VARIABILIDAD ESPACIAL Y TEMPORAL DEL FLUJO DE DIÓXIDO DE CARBONO DEL BOFEDAL DEL SECTOR CCALLUCHANI, PICHACANI, PUNO - 2024	62
Anexo 02: Mapa de bofedales	63
Anexo 03: Descarga de datos de campo con programa Transfer	64
Anexo 04: Datos de campo almacenados en equipo de medición de gases EGM-4	65
Anexo 05: Cálculo de flujo de CO ₂	73
Anexo 06: Panel fotográfico de las diferentes mediciones en bofedal	74
Anexo 07: Análisis de la varianza	83

RESUMEN

La liberación natural de dióxido de carbono (CO_2) en la superficie del suelo se produce mediante la actividad y respiración de microorganismos, la degradación aeróbica de la materia orgánica y la respiración del sistema radicular de las plantas. El objetivo fue evaluar la variabilidad espacial y temporal de los flujos de dióxido de carbono del bofedal en el sector Ccalluchani, Pichacani. La investigación se realizó de febrero a junio de 2024, en cuatro puntos utilizando un analizador de gases de CO_2 (EGM-4). Los resultados muestran que la variabilidad espacial del flujo de CO_2 es homogénea en los cuatro puntos de muestreo, con valores promedios de $1.31 \text{ g CO}_2 \text{ m}^2 \text{ h}^{-1}$ y $1.36 \text{ g CO}_2 \text{ m}^2 \text{ h}^{-1}$, lo que se alinea con investigaciones previas en la región. Sin embargo, la variabilidad temporal es significativa, con un flujo máximo de $1.74 \text{ g CO}_2 \text{ m}^2 \text{ h}^{-1}$ el 03 de abril de 2024 y un mínimo de $0.82 \text{ g CO}_2 \text{ m}^2 \text{ h}^{-1}$ el 04 de junio de 2024, indicando que el flujo de CO_2 varía considerablemente a lo largo del tiempo. Además, se observó que la temperatura del suelo varió entre $11.72 \text{ }^\circ\text{C}$ y $18.76 \text{ }^\circ\text{C}$, siendo más alta en períodos de menor precipitación, y la humedad del suelo se mantuvo alta, entre 84.80% y 87.46%. El pH del suelo se consideró ligeramente ácido, oscilando entre 5.24 y 6.23. Analizando la influencia de diferentes variables, la temperatura del aire influye positivamente en el flujo de CO_2 , mientras que la humedad del suelo y el pH tienen efectos negativos. La investigación concluye que las condiciones ambientales, como la temperatura y la humedad, son determinantes en la dinámica del flujo de CO_2 en el bofedal, lo que resalta la importancia de estos ecosistemas en la regulación de gases de efecto invernadero y su respuesta a cambios climáticos. Estos resultados resaltan la importancia de los bofedales en la regulación de gases de efecto invernadero y su sensibilidad a los cambios climáticos.

Palabras clave: Bofedal, Dióxido de carbono, Humedad, Temperatura, Variabilidad

ABSTRACT

The CO₂ released on the soil surface is generated naturally through the activity and respiration of microorganisms, aerobic decomposition of organic matter and respiration of the plant root system. The objective was to evaluate the spatial and temporal variability of carbon dioxide fluxes of the wetland in the Ccalluchani sector, Pichacani. The research was carried out from February to June 2024, at four points using a CO₂ gas analyzer (EGM-4). The results show that the spatial variability of CO₂ flux is homogeneous in the four sampling points, with average values of 1.31 g CO₂ m² h⁻¹ and 1.36 g CO₂ m² h⁻¹, which is in line with previous research in the region. However, temporal variability is significant, with a maximum flux of 1.74 g CO₂ m² h⁻¹ on April 03, 2024 and a minimum of 0.82 g CO₂ m² h⁻¹ on June 04, 2024, indicating that CO₂ flux varies considerably over time. In addition, soil temperature was observed to vary between 11.72 °C and 18.76 °C, being higher in periods of lower precipitation, and soil moisture remained high, between 84.80% and 87.46%. Soil pH was considered slightly acidic, ranging between 5.24 and 6.23. Analyzing the influence of different variables, air temperature has a positive influence on CO₂ flux, while soil moisture and pH have negative effects. The research concludes that environmental conditions, such as temperature and humidity, are determinant in the dynamics of CO₂ flux in the bofedal, which highlights the importance of these ecosystems in the regulation of greenhouse gases and their response to climatic changes. These results highlight the importance of wetlands in the regulation of greenhouse gases and their sensitivity to climate changes.

Key words: Bofedal, Carbon dioxide, Humidity, Temperature, Variability

INTRODUCCIÓN

Se cree que los suelos son sumideros o potenciales fuentes de GEI en la atmósfera. Esto está estrechamente relacionado con el cambio climático global. En la actualidad, las fluctuaciones de los regímenes de temperatura y precipitaciones inducidas por el cambio climático pueden alterar el equilibrio de estos procesos, provocando que los humedales se conviertan en una fuente de carbono (Calderón, 2018).

Destacan la importancia de las masas forestales como sumideros de CO₂ y abogan por aumentar la biomasa forestal como técnica para reducir las concentraciones de GEI, lo que permite almacenar carbono (C) en los tejidos vegetales y en otros componentes del bosque como suelos, hojarasca y necromasa (Rojo et al., 2003).

Los importantes humedales andinos, a menudo conocidos como zonas húmedas, tienen importantes reservas de carbono y son sensibles al cambio climático, lo que los convierte en un valioso recurso para la investigación medioambiental (Huaman, 2022). Se cree que los suelos de los humedales altoandinos contienen gases de efecto invernadero. Aún es importante entender la variabilidad geográfica y temporal de estos gases en los diversos humedales altoandinos, particularmente como resultado de la acumulación de materia orgánica (Flores, 2023).

De acuerdo a la bibliografía consultada sobre flujos de CO₂, se puede decir que ha sido estudiado en diferentes lugares y en diferentes formas, pero hasta el momento se han realizado pocos estudios en bofedales altoandinos, siendo importante realizar más estudios por tener la mayor extensión de bofedales en la región Puno según el último inventario de bofedales. Así, obtener mayor información sobre estos ecosistemas para estimar el comportamiento de los gases de CO₂ a nivel de la región.

Los resultados de investigación permitirán conocer el comportamiento de los bofedales respecto al flujo de CO₂ del suelo en escenarios de cambio climático, cuya información será en alguna medida de utilidad para ser estimada a nivel de toda la región Puno,

sumando el aporte de otras y futuras investigaciones coadyuvando con la mitigación de los impactos negativos sobre estos ecosistemas, y los entes de competencia tomen las decisiones pertinentes, beneficiando a las comunidades especialmente de influencia directa para cuidar y proteger los bofedales altoandinos por ser ecosistemas frágiles.

La estructura de la presente investigación; se desarrolla en 5 capítulos que contienen lo siguiente:

Capítulo I: Planteamiento del problema, antecedentes y objetivos de la investigación; se muestra la situación problemática, los antecedentes; proyectos previamente investigados y los objetivos

Capítulo II: Se detalla el marco teórico, conceptual e hipótesis de la investigación.

Capítulo III: Se detalla la metodología de la investigación, la zona de estudio, tamaño de la muestra, los métodos y técnicas e instrumentos utilizados; identificación de variables de investigación, métodos y diseño estadístico para el análisis de resultados.

Capítulo IV: Exposición y análisis de resultados; presentando los resultados obtenidos de la investigación a través de tablas y figuras, para su interpretación y discusión.

Finalmente las conclusiones y recomendaciones:

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA, ANTECEDENTES Y OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

A escala mundial, la aceleración del calentamiento global y del cambio climático asociado es atribuible a un aumento medio de la concentración de gases de efecto invernadero (GEI) en la atmósfera desde principios del siglo XX (WMO, 2019). El CO₂ es uno de los GEI con mayor potencial para aumentar su concentración en la atmósfera, además de ser el más abundante (Dirección de Sustentabilidad, Medio Ambiente y Cambio Climático, 2018).

En todo el mundo, actividades humanas como el uso de combustibles fósiles y la deforestación son las principales responsables de las emisiones de CO₂ y, en consecuencia, del cambio climático (IPCC, 2014). Estas actividades contribuyen al aumento de la concentración de CO₂ en la atmósfera, generando efectos adversos como el aumento de la temperatura media del planeta y eventos climáticos extremos (WMO, 2019).

El calentamiento global supone una enorme amenaza para la humanidad en el futuro, ya que puede provocar una importante subida del nivel del mar, fenómenos meteorológicos extremos más frecuentes y graves y, potencialmente, la extinción de determinadas especies vegetales y animales (Villanueva et al., 2019).

Dentro del marco del cambio climático y la preservación de ecosistemas, la fluctuación espacial y temporal del flujo de CO₂ en los bofedales se vuelve un asunto cada vez más relevante. Los bofedales, humedales ubicados en regiones altoandinas, cumplen funciones ecológicas importantes, como regular el ciclo del carbono y proporcionar agua a las comunidades locales. Sin embargo, la comprensión de cómo estos ecosistemas responden a las variaciones climáticas y ambientales sigue siendo limitada, lo que plantea un gran desafío para su gestión y conservación (Buitrón & Torres, 2023).

La investigación sobre el flujo de CO₂ en los bofedales ha sido escasa y fragmentada, a pesar de su importancia. Según estudios recientes, la temperatura, la humedad del suelo y la vegetación tienen un impacto en las tasas de emisión de CO₂, pero aún no se ha realizado un análisis sistemático de la variabilidad espacial y temporal de estos flujos. La falta de datos completos limita la capacidad de los científicos y gestores para predecir cómo estos ecosistemas podrían responder a los cambios climáticos en el futuro (Flores, 2023).

La importancia de este estudio radica en la necesidad de obtener una comprensión más profunda de cómo fluye el CO₂ en los bofedales. Comprender las variaciones en el tiempo y el espacio ayudará a mejorar las estrategias de conservación y ayudar en los esfuerzos globales para mitigar el cambio climático. La variabilidad espacial y temporal del flujo de CO₂ del Bofedal es el objetivo de la investigación para llenar este vacío de conocimiento y proporcionar una base científica sólida para la gestión sostenible de estos ecosistemas críticos (Checalla, 2023). El equilibrio entre la producción y el consumo de carbono depende de las condiciones hidrológicas y de la duración de las inundaciones, que pueden cambiar debido al cambio climático (Flores et al., 2024).

El CO₂ es creado de forma natural en la superficie del suelo por los microorganismos durante la descomposición aeróbica de los materiales orgánicos y la respiración de las raíces de las plantas (Formiga et al., 2017). La producción de CO₂ del suelo está

fuertemente correlacionada con la humedad del suelo, lo que podría explicar las fluctuaciones estacionales del flujo de CO₂ en el ecosistema (Pantoja et al., 2020).

La liberación de CO₂ tiene un rol crucial en el cambio climático. Es crucial entender los elementos que afectan el flujo de CO₂ para enfrentar este problema mundial y crear estrategias eficaces de mitigación y adaptación.

Comprender la influencia de la humedad del suelo en el flujo de dióxido de carbono en la región de Puno, Perú, es esencial para abordar el cambio climático a nivel global, nacional y local. La principal causa de las emisiones de CO₂ en la región son las actividades humanas, que incluyen la quema de combustibles fósiles y la deforestación, así como las actividades agrícolas y ganaderas. Estudiar esta relación permitirá desarrollar estrategias de mitigación adaptadas a las características locales, promoviendo prácticas sostenibles y ayudando a combatir el cambio climático.

Con el cambio climático, numerosos terrenos que anteriormente eran depósitos de GEI se han transformado en fuentes de GEI, por lo que resulta imprescindible llevar a cabo evaluaciones para establecer su comportamiento. En este escenario, los terrenos pueden aportar a la disminución o liberación de CO₂, lo que demanda estudios adicionales para producir nuevos datos acerca de las interacciones entre las diferentes áreas de estudio y su relación con la atmósfera. Por lo tanto, es crucial comprender el papel de los ecosistemas altoandinos en términos de concentraciones de CO₂ y su comportamiento como fuente o sumidero (Checalla, 2023).

En este contexto, los suelos de los bofedales pueden reducir o aumentar las emisiones de CO₂, por lo que se necesitan más estudios para obtener más información sobre las interacciones entre las diferentes áreas (espacio) de estudio y el tiempo sobre el intercambio de CO₂ con la atmósfera. Dicho esto, es importante conocer el papel del flujo de CO₂ de los diferentes bofedales altoandinos, en especial de los bofedales del sector Ccalluchani, Pichacani de la región altiplánica de Puno, ya que cuenta con áreas

significativas de bofedales las cuales están siendo degradados por acción humana como el sobrepastoreo, uso inadecuado de los recursos hídricos, y por efectos naturales del cambio climático.

1.1.1 Problema General

¿Cómo es la variabilidad espacial y temporal de los flujos de dióxido de carbono del bofedal en el sector Ccalluchani, Pichacani, Puno - 2024?

1.1.2 Problemas específicos

- ¿Existirá variabilidad espacial del flujo de dióxido de carbono del suelo en el bofedal del sector Ccalluchani?
- ¿Existirá variabilidad temporal del flujo de dióxido de carbono del suelo en el bofedal del sector Ccalluchani?
- ¿Las propiedades del suelo y variables ambientales influyen en el flujo de dióxido de carbono del suelo en el bofedal del sector Ccalluchani?

1.2. ANTECEDENTES

1.2.1 A nivel internacional

Lopera (2019), realizó un estudio para medir la variación del flujo de CO₂ del suelo en diferentes coberturas de la Reserva Forestal de Bogotá. Utilizó cámara cerrada portátil, con un analizador infrarrojo incorporado (IRGA), modelo EGM-5, (PP Systems, 2017). En las plantaciones de eucalipto, la concentración de CO₂ en el suelo fue alta, mientras que en los pastizales abiertos de Páramo fue baja. El nivel de CO₂ en la tierra fue elevado en mayo, el mes de mayores lluvias, y descendió en septiembre. Se observó una correlación positiva entre el flujo de CO₂, la temperatura del entorno, la temperatura del suelo y la altura. Los hallazgos señalan que tanto el tipo de cubierta vegetal como la temperatura son los dos factores que inciden en la respiración del suelo y la liberación de CO₂.

Cruz (2020), en su estudio se centró en la variabilidad regional y temporal de las emisiones de CO₂ y el contenido de carbono orgánico del suelo en un ecosistema

templado representativo de México, a saber, la Estación Forestal Experimental Zoquiapan. El contenido de carbono orgánico del suelo se determinó mediante muestreo y análisis con un analizador de carbono orgánico total (TOC-V, Shimadzu Labs) y un módulo de muestras sólidas (modelo SSM-5000, Shimadzu Labs). Los resultados mostraron que el contenido de carbono orgánico del suelo oscilaba entre 163,09 y 207,45 Mg ha⁻¹, con mayores niveles en las regiones con vegetación mixta. La respiración del suelo osciló entre 39,27 y 67,96 Mg ha⁻¹ año⁻¹, con las emisiones más elevadas en los rodales puros. Además, se encontró una asociación negativa entre el contenido de carbono orgánico del suelo y la respiración del suelo. En resumen, los cambios en la respiración del suelo parecen estar fuertemente influenciados por las condiciones ambientales, variando según la época del año y el tipo de vegetación presente en el rodal.

Ma et al. (2023) en su estudio destaca que las regiones boreales y árticas son importantes depósitos de carbono orgánico y juegan un rol clave en el balance de gases de efecto invernadero en las altas latitudes. Sin embargo, la retroalimentación carbono-clima en estas zonas es poco comprendida debido a la incertidumbre en los efectos de la temperatura y la precipitación sobre la absorción de CO₂ y la descomposición del carbono del suelo en CO₂ y CH₄. Aunque el CH₄ tiene un menor volumen en el balance de carbono, su impacto climático es significativamente mayor que el del CO₂, lo que resalta la necesidad de estudiar ambos gases en conjunto. Usando un modelo de biosfera terrestre y datos de siete sitios en Alaska, se observó que el cambio climático desde 1970 ha inducido una retroalimentación climática positiva en la tundra, impulsada por el aumento de emisiones de CH₄, y una retroalimentación negativa en los sitios boreales, debido principalmente a un incremento en la absorción de CO₂. El estudio

subraya la importancia de integrar observaciones conjuntas de CO₂ y CH₄ para mejorar la comprensión de la retroalimentación climática en estas regiones.

1.2.2 A nivel nacional

Alvis et al. (2021) en su investigación calcularon el contenido de carbono de los bofedales, también conocidos como humedales altoandinos. El humedal Challhuanca, que abarca aproximadamente 882.54 hectáreas, contiene aproximadamente 795 415,65 TCO₂ de carbono almacenado. La biomasa aérea presentó el mayor contenido 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%). El suelo almacenó la mayor cantidad de carbono, con 218,28 TC/ha (90%), seguido de la biomasa subterránea, con 19.72 TC/ha ($p < 0,05$). (8%), y 4.77 TC/ha (2%) para la biomasa aérea.

Huaman (2022), investigó sobre los efectos del cambio climático en el almacenamiento de carbono en los humedales andinos constata variaciones en el almacenamiento de carbono y el cambio climático regional, sobre todo entre el siglo pasado y el presente. Durante las Anomalías Climáticas Medievales, que duraron del 1040 a.C. al 1300 a.C., se observaron variaciones en el almacenamiento de carbono y en el cambio climático regional, sobre todo entre el siglo pasado y el presente. Hasta el año 1300 a.C., el ambiente seco ralentizó la acumulación de carbono debido a un nivel freático más bajo, lo que provocó un descenso en la producción de materia orgánica y un pico negativo en la concentración de carbono.

Planas et al. (2020), Investigaron cómo la reparación de zanjas a corto plazo y el nivel freático afectan al ciclo del carbono de las turberas alpinas de la Cordillera Blanca de Perú. La investigación en el Parque Nacional Huascarán, Perú, se llevó a cabo utilizando técnicas de cámara estática. Las condiciones de alto drenaje resultaron en un incremento del intercambio neto del ecosistema (NEE) al mediodía ($1.07 \pm 0,06$ vs. 0.76 ± 0.11 g CO₂

$\text{m}^2 \text{h}^{-1}$) y un umbral de compensación de luz más bajo para la absorción de CO_2 . Los flujos de gas fueron positivos debido al aumento del nivel freático.

Sandoval (2018), esta tesis tiene como objetivo estudiar la relación entre las emisiones de CO_2 y la temperatura del suelo en el bosque premontano del Área de Conservación Regional Cordillera Escalera en la provincia de San Martín, departamento del mismo nombre. Se utilizó un analizador infrarrojo de gases (IRGA) EGM-4 para supervisar las emisiones de CO_2 , mientras que para medir la temperatura del terreno se utilizó un sensor de temperatura. De acuerdo con los hallazgos de la investigación, el bosque premontano del Área de Conservación Regional Cordillera Escalera genera entre 56.86 y 5.92 toneladas de CO_2 por hectárea anualmente. Estos resultados sugieren que el suelo de este bosque no ha cambiado significativamente como consecuencia de la actividad humana, ya que el valor total de respiración del suelo es equivalente al de un suelo ecosistémico sano.

1.2.3 A nivel local o regional

Nina (2023), en su investigación determinó cómo influye el desarrollo de la tierra en el flujo de dióxido de carbono del suelo en Illpa Altiplano CE. Se utilizaron seis tipos de suelo: suelo cultivado con alfalfa, suelo quebrado, residuos de cultivos de avena, pastizal natural, suelo erosionado y suelo forestal. Se utilizó el EGM-4, un analizador de gases infrarrojo portátil de dinámica cerrada. Durante la estación húmeda, el suelo erosionado ($0.09 \text{ g CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$) y el suelo forestal produjeron la menor cantidad de CO_2 . Sin embargo, durante la estación seca, los suelos cultivados con alfalfa exhalan más CO_2 a la atmósfera ($0,91 \text{ g CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$). Sin embargo, en época lluviosa, los suelos forestales almacenaron la mayor cantidad de carbono (100.04 TnC/ha).

Ccama (2023), realizó una investigación con el objetivo de determinar los flujos de dióxido de carbono del suelo en el humedal de la Bahía Interior de Puno. Durante las estaciones seca y húmeda, tres sitios de muestreo: S1 (frente a Salcedo), S2 (cerca de la isla

Espinar) y S3 (frente a UNA - Puno) fueron monitoreados para el flujo de CO₂ utilizando un analizador de gases infrarrojo portátil (EGM-4). Los resultados muestran que la respiración del suelo difiere entre las estaciones seca y lluviosa, así como entre los sitios estudiados. En la estación seca, S3 tuvo 0.67 g CO₂ m⁻² h⁻¹, sin embargo en la estación lluviosa, tuvo 0.99 g CO₂ m⁻² h⁻¹. La respiración del suelo está influenciada por varios factores, incluida la conductividad eléctrica, el pH, la humedad del suelo y la temperatura del suelo y del aire, dependiendo de la estación.

Checalla (2023), demuestra que el flujo de CO₂ del suelo en los humedales altoandinos fluctúa durante las estaciones seca y lluviosa. Durante la estación seca, la emisión media fue de $3.97 \pm 1.57 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, mientras que en la estación húmeda fue de $7.87 \pm 3.06 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$. Los flujos de dióxido de carbono están influidos por la estacionalidad climática, y se detectaron variaciones significativas en los puntos de muestreo durante la estación seca. La temperatura, la humedad del suelo y la altura del agua se relacionaron positivamente con el flujo de CO₂, pero el pH lo hizo negativamente. Se prevé que las emisiones de CO₂ en los bofedales aumenten a medida que suban las temperaturas y bajen los niveles de humedad del suelo. La velocidad del viento y la presión atmosférica no influyen mucho en el flujo de CO₂, pero sí lo hacen la humedad relativa del aire y la iluminación.

1.3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.3.1. Objetivo general

Evaluar la variabilidad espacial y temporal de los flujos de dióxido de carbono del bofedal en el sector Ccalluchani, Pichacani, Puno - 2024

1.3.2. Objetivos específicos

- Cuantificar la variabilidad espacial del flujo de dióxido de carbono del suelo en el bofedal
- Medir la variabilidad temporal del flujo de dióxido de carbono del suelo en el bofedal

- Analizar la influencia de las propiedades del suelo y variables ambientales en el flujo de dióxido de carbono del suelo en el bofedal

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO, CONCEPTUAL E HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

2.1. MARCO TEÓRICO

2.1.1 Cambio climático

El calentamiento global causado por el efecto invernadero es la principal causa del cambio climático. Entre los gases que crean este efecto se encuentra el CO₂, que se produce sobre todo a partir de la combustión de combustibles fósiles como el carbón o el petróleo (Villanueva et al., 2019).

2.1.2 Consecuencias globales del cambio climático

Villanueva et al. (2019), el fenómeno del calentamiento global, que define el cambio climático, tiene lugar en todo el planeta, tanto en la tierra como en los mares, y ha estado ocurriendo de manera gradual y constante durante varias décadas.⁴ El deshielo de los glaciares y la Antártida está siendo el resultado de este aumento de la temperatura. Como resultado, el nivel del mar ha aumentado entre 10 y 20 cm en las últimas décadas, y según varias proyecciones, aumentará entre 200 cm y 2 m más en este siglo. Otros efectos importantes del cambio climático incluyen:

- Una mayor probabilidad de eventos meteorológicos extremos, como inundaciones y sequías prolongadas.
- Los incendios forestales están aumentando en frecuencia e intensidad.
- La extinción de algunas especies vegetales y animales.

2.1.3 Gases de efecto invernadero (GEI)

Los GEI han aumentado en la atmósfera debido a las actividades humanas que utilizan agentes o recursos. Estos GEI absorben y emiten radiación, lo que eleva la temperatura del planeta. Este fenómeno se conoce como efecto invernadero (Trespalacios et al., 2018).

El Protocolo de Kioto (Naciones Unidas, 1998) establece límites para seis GEI en el marco de las Naciones Unidas:

Dióxido de carbono (CO₂): Representa el 70% de las emisiones de gases de efecto invernadero y se genera por la combustión de petróleo, gas natural, carbón y otros combustibles fósiles. También se utiliza en las industrias del transporte y el cemento.

Metano (CH₄): Se produce por varias causas, incluida la quema de biomasa, la descomposición de desechos orgánicos, las emisiones naturales de pantanos, la ganadería y la agricultura, y es responsable del 20% de los GEI.

Óxido nitroso (N₂O): El 7% de los gases con efecto invernadero provienen de procesos industriales y quema de biomasa.

Hidrofluorocarbonados (HFCs): Son un gas utilizado en los sistemas de climatización, productos aislantes y aerosoles, y representan el 1% de los gases de efecto invernadero. Han sido creados por el hombre con fines industriales y no se producen naturalmente.

Perfluorcarburo (PFCs): Han sido creados por el hombre con fines industriales y no se producen naturalmente. Se utilizan en sistemas de climatización, extinguidores de fuego y limpieza de metales y representan el 1% de los GEI.

Hexafluoruro de azufre (SF₆): Es responsable del 1% de los GEI y se utiliza para producir aluminio, aislar líneas de alta tensión y algunos componentes electrónicos. Se desarrolla industrialmente en lugar de producirse naturalmente.

a. La duración de los GEI

La disipación o degradación natural de los GEI en la atmósfera ocurre si el vapor de agua permanece en la atmósfera durante unos pocos días.

Tabla 01: Tiempo que dura en la atmósfera la concentración de GEI

Gas	Tiempo en la atmósfera
Dióxido de carbono (CO ₂)	De 100 a 150 años
Metano (CH ₄)	12 años
Óxido nitroso (N ₂ O)	120 años

Fuente: (Trespacios et al., 2018)

b. Potencial de calentamiento global

El coeficiente de eficacia relativa de los diferentes GEI en comparación con el CO₂ se conoce como potencial de calentamiento global (Tabla 02). Estos valores muestran su potencial para el calentamiento global.

Tabla 02: Potencial del calentamiento global de GEI

Gas	Potencial del calentamiento global
Dióxido de carbono (CO ₂)	1
Metano (CH ₄)	21
Óxido nitroso (N ₂ O)	310

Fuente: (Trespacios et al., 2018)

2.1.4 Dinámica de la emisión de dióxido de carbono en el suelo

La respiración del suelo es una transferencia de carbono de los ecosistemas terrestres a la atmósfera, y modificaciones mínimas en la respiración del suelo pueden impactar de manera considerable el ciclo mundial del carbono (C). La alteración de la flora puede influir directamente en la respiración del suelo (Shi et al., 2020).

2.1.5 Carbono orgánico del suelo y su papel frente al cambio climático

La parte de la biosfera que se incorpora a la pedosfera se conoce como materia orgánica del suelo. Los componentes incluyen toda la materia muerta de organismos eucariotas y

procariotas, así como sus derivados metabólicos orgánicos. En general, los suelos contienen cerca del 5% de materia orgánica en partículas y en forma coloidal. El suelo contiene una mayor proporción de compuestos orgánicos monoméricos y poliméricos de alto peso molecular. La transformación catabólica de todos estos compuestos da como resultado los elementos precursores. Además del carbono, se producen hidrógeno, oxígeno y nitrógeno, a los que se agregan otros elementos minerales complicados en los compuestos catabolizados. La acción catabólica se compensa con la anabólica cuando el proceso es natural o el suelo es objeto de manejo sostenible, como en todo metabolismo (Blasco y Burbano, 2015).

El carbono orgánico del suelo es un indicador importante hoy en día porque desempeña un papel en el mantenimiento de la calidad del suelo y en la mitigación del cambio climático. Las acciones de reconversión agrícola más eficientes se pueden determinar comprendiendo su compleja dinámica en agroecosistemas (Amores, 2020).

2.1.6 Ciclo del carbono

El ciclo del carbono incide en todos los organismos vivos: los seres humanos y animales lo liberan al respirar, las plantas lo asimilan a través de la fotosíntesis y, al desintegrarse, se guarda como combustible fósil. Además, se encuentra en varios procesos geológicos, tales como las emisiones de volcanes. Como parte del ciclo del carbono, los océanos absorben y exhalan CO_2 continuamente (Trespalcios et al., 2018).

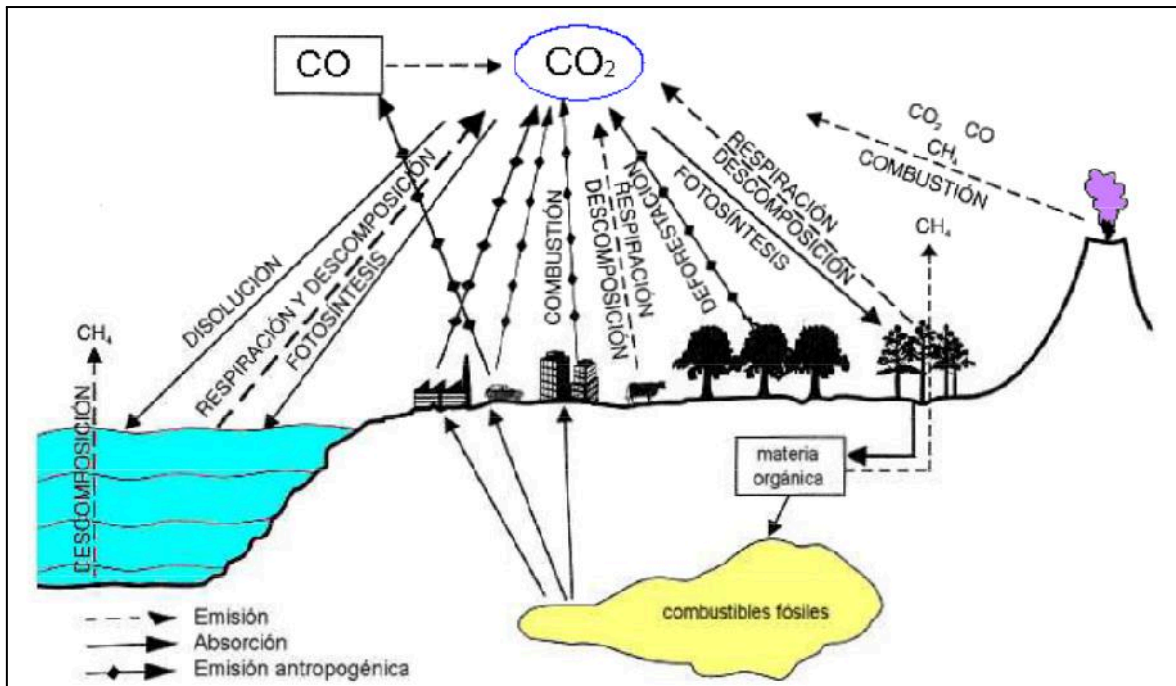


Figura 01: Ciclo del carbono

Fuente: (Trespacios et al., 2018).

2.1.7 Bofedales altoandinos

En Perú, el término "bofedal" se utiliza con frecuencia para referirse a un tipo particular de humedales andinos. Estos ecosistemas se conocen como "oconales" en otras partes del país, que significa "zona húmeda" en quechua (Maldonado, 2015). En los Andes se puede encontrar un hábitat hidromórfico, donde la planta herbácea hidrófila crece en suelos planos, depresiones o colinas de pendiente suave. Los suelos están inundados o saturados de agua corriente (drenaje deficiente), con vegetación perennifolia densa y compacta en forma de almohada o cojín. La fisonomía de la vegetación es parecida a la de los pastizales de 0.1 a 0.5 metros. Es posible que el suelo orgánico alcance niveles extremadamente profundos. Este ambiente se conoce como humedal andino (MINAM, 2019).

2.1.8 Características de los bofedales

Para comprender el funcionamiento natural de los bofedales, es fundamental tener en cuenta sus tres componentes principales: agua, suelo y vegetación, así como cómo interactúan entre sí (INAIGEM, 2023).

a. Agua

El nivel de agua subterránea en las turberas son razonablemente estables, con capas freáticas que oscilan entre 40 y 90 cm por debajo de la superficie del suelo durante toda la estación seca. Las elevaciones topográficas y de las aguas subterráneas en las turberas demuestran que la fuente de agua de 10 turberas son de aguas subterráneas de las laderas que fluyen desde las morrenas laterales, el talud, el coluvión o los acuíferos del lecho rocoso hacia las turberas (Cooper et al., 2019).

b. Suelo

Los suelos de los bofedales se caracterizan principalmente por ser orgánicos o turba, lo que significa que contienen al menos el 30% de materia orgánica (Biancalani & Avagyan, 2014). Los bofedales tienen bajas velocidades de descomposición debido a las condiciones ambientales bajas temperaturas (debido a la alta altitud) y condiciones anaeróbicas (sin oxígeno) causadas por la saturación de agua en el suelo (Suárez et al., 2022).

c. Vegetación

Las características del agua y el suelo determinarán la composición vegetal de un bofedal. Se ha demostrado que la composición y riqueza de las especies vegetales de un bofedal están influenciadas tanto por la calidad del agua como por el hidroperiodo (Suárez et al., 2022).

Los bofedales tienen una variedad de formas de crecimiento que están relacionadas con varias comunidades vegetales. La vegetación de cojín es la más común, pero existen

muchas otras especies que crecen en los bofedales. Según INAIGEM (2023) las formaciones vegetales principales de los bofedales son:

- Bofedales De Cojín O Almohadillados
- Bofedales Alfombrados
- Bofedales De Gramíneas Y Graminoides
- Bofedales De Musgos Y Arbustos

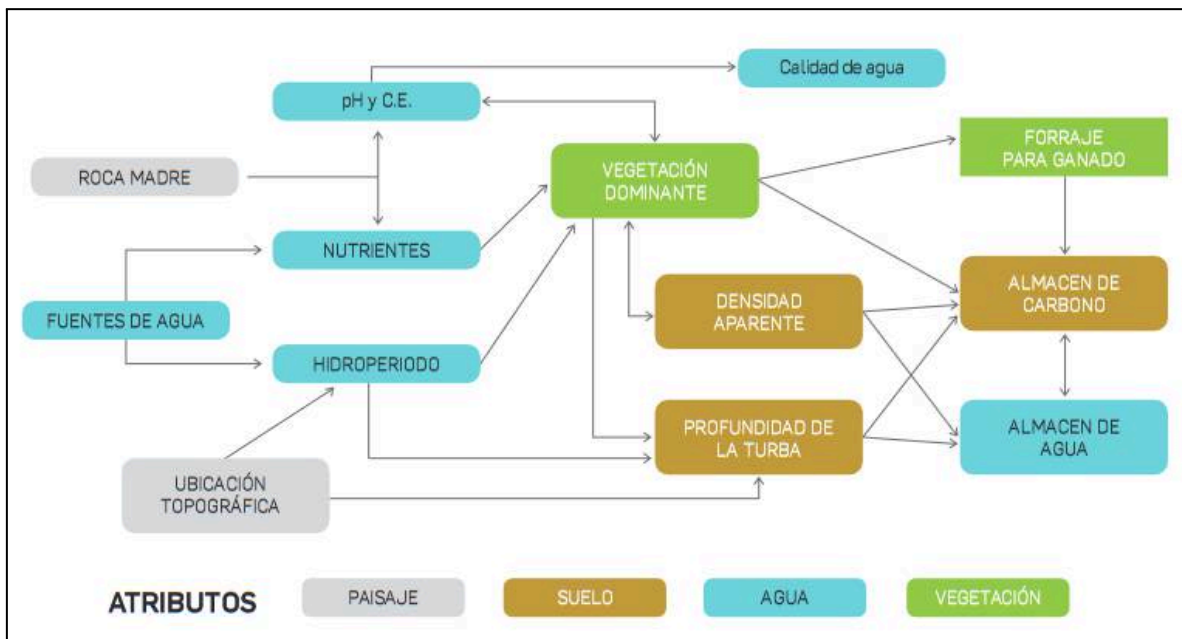


Figura 02: Interacciones entre los componentes de un bofedal

Fuente: (INAIGEM, 2023)

2.1.9 Extensión de bofedales altoandinos

Se calcula que los bofedales tienen una superficie de 1 052 210.6 ha en el Perú, lo que equivale al 0.8% de la superficie total del país (Anexo 02). Además, se pueden encontrar bofedales en 19 departamentos, incluyendo Puno (343 015.6 ha; representa el 32.6% a nivel nacional), Arequipa (133 434.8 ha; representa el 12.68% a nivel nacional) y Cusco (131 262.4 ha; representa el 12.47% a nivel nacional), que representan más del 57% del total (INAIGEM, 2023).

En la cadena de montaña oriental del Perú, los bofedales se desarrollan en el departamento de Puno. Se encuentran en un área de alrededor de 343 015.6 ha, lo que equivale al 5.12 % de su territorio total. Además, se encuentran en el primer lugar de los 19 departamentos del país con la mayor cantidad de bofedales, con una superficie aproximada de tierra de 343 015.6 ha (INAIGEM, 2023) (Anexo 02).

2.1.10 Servicios ecosistémicos de bofedales altoandinos

Según (MINAM, 2019), los servicios que proveen los bofedales son los siguientes:

a. Servicios de provisión

- Forraje para ganado
- Agua
- Plantas medicinales
- Turba

b. Servicios de regulación

- Purificación del agua
- Proteger el suelo y la turba de la erosión
- Almacén de carbono
- Almacén de agua

c. Servicios de soporte

- Formación de turba
- Mantener el ciclo de los nutrientes
- Refugio para la biodiversidad y la fauna silvestre

d. Servicios culturales

Los bofedales bien conservados son apreciados por:

- Ser lugares para la recreación y el turismo
- Su belleza escénica y paisajística

2.1.11 Amenazas para los bofedales

Cuando la intervención humana no se lleva a cabo de manera adecuada, puede poner en peligro la integridad de los bofedales y garantizar que sus beneficios se mantengan a largo plazo. Según INAIGEM (2023) las principales amenazas reportadas en este sentido son:

- Alteraciones Hidrológicas
- Extracción De Turba
- Sobrepastoreo
- El cambio climático
- Cambios en la calidad del agua
- Construcción de represas
- El turismo no planificado
- El cultivo de pastos mejorados en áreas de bofedal

2.1.12 Actividad minera en humedales altoandinos

La actividad minera en los humedales altoandinos libera CO₂ almacenado en el suelo y la biomasa, aumentando las emisiones atmosféricas de gases de efecto invernadero. Debido a sus características distintivas, los humedales altoandinos se consideran ecosistemas críticos para combatir el cambio climático. No obstante, los procesos de extracción como la minería llevan a una degradación acelerada de estos ecosistemas, lo que resulta en la pérdida de su función importante para combatir el cambio climático (Astudillo, 2022).

2.2. MARCO CONCEPTUAL

2.2.1 Bofedal

Los humedales, también conocidos como bofedales, son superficies saturadas o cubiertas de agua, naturales o manufacturadas, dulces o saladas, permanentes o temporales, que albergan grupos biológicos únicos. Los humedales altoandinos se

encuentran entre los 3500 y 3800 msnm, en los fondos de valles fluvio-glaciares, conos volcánicos, planicies lacustres, piedemontes y terrazas fluviales (MINAM, 2019).

2.2.2 Carbono orgánico del suelo (COS)

Es el carbono que se mantiene en el suelo tras la descomposición parcial de lo que los seres vivos han generado. Contribuye significativamente al ciclo global del carbono al desplazarse por la atmósfera, la vegetación, el suelo, los ríos y el océano (FAO, 2017).

2.2.3 Ecosistema

Se refiere a las complejas interacciones entre las poblaciones de plantas, animales y microbios y sus entornos no vivos (MINAM, 2019).

2.2.4 Estacionalidad

Las estaciones del año están relacionadas con la variabilidad temporal del flujo de CO₂. Los flujos de CO₂ suelen ser más altos durante la época lluviosa en comparación con la época seca, lo que indica que las condiciones climáticas estacionales son fundamentales (Checalla, 2023). A lo largo del año, los cambios en la temperatura y la humedad tienen un impacto en la actividad biológica y, por lo tanto, en el flujo de carbono (Huaman et al., 2020).

2.2.5 Humedad del suelo

Otro factor importante en el flujo de CO₂ es la humedad. La actividad biológica del suelo está influenciada por la disponibilidad de agua, lo que tiene un impacto en las tasas de emisión de gases de efecto invernadero (Silva et al., 2019).

2.2.6 Servicio ecosistémico

Beneficios para las personas de los ecosistemas. Esas ventajas pueden ser directas o indirectas. Los beneficios directos incluyen el suministro de agua y alimentos, así como la regulación de ciclos como las inundaciones, la degradación del suelo, la desecación y la salinización, las plagas y las enfermedades (MINAM, 2019).

2.2.7 Temperatura del suelo

La temperatura juega un papel importante en la actividad microbiana y, por lo tanto, en la respiración del suelo. Según investigaciones, las temperaturas más altas aumentan la tasa de respiración del suelo, lo que puede conducir a emisiones más altas de CO₂ (Ayala et al., 2018).

2.3. MARCO NORMATIVO

2.3.1 Ley General del Ambiente

El artículo 99 de la Ley General del Ambiente establece que las autoridades públicas deben tomar medidas especiales para proteger los bofedales, humedales y páramos como ecosistemas frágiles. Consideramos que los pajonales deberían estar incluidos en el artículo mencionado.

2.3.2 Política Nacional del Ambiente (D.S. N° 012-2009-MINAM)

Ecosistemas frágiles, como humedales y cuencas costeras, deben protegerse, según el eje de la Política 1.

2.3.3 Reglamento Ambiental para las Actividades de Exploración Minera (D.S. N° 020-2008-EM)

Durante las actividades de exploración minera, el artículo 11 busca proteger los bofedales y humedales.

2.3.4 Reglamento de Zonificación Ecológica y Económica (D.S. N° 087-2004-PCM)

El artículo 9 define los humedales como áreas de conservación y protección ecológica.

2.4. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

2.4.1 HIPÓTESIS GENERAL

Existe variabilidad espacial y temporal de los flujos de dióxido de carbono del suelo en el bofedal por influencia de variables ambientales en el sector Ccalluchani, Pichacani, Puno
- 2024

2.4.2 HIPÓTESIS ESPECÍFICAS

- El flujo de dióxido de carbono del suelo muestra variabilidad espacial en el bofedal del sector Ccalluchani.
- El flujo de dióxido de carbono del suelo varía temporalmente en el bofedal del sector Ccalluchani.
- Las propiedades del suelo y variables ambientales influyen en el flujo de dióxido de carbono del suelo en el bofedal del sector Ccalluchani

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. ZONA DE ESTUDIO

El estudio se realizó en el distrito de Pichacani de la provincia de Puno, el distrito de Pichacani limita con San Antonio, Puno, Chucuito, Platería y Acora. Pichacani geográficamente está ubicado en $16^{\circ}24'22.0''S$ $70^{\circ}13'19.1''W$, con una temperatura promedio de $14.7^{\circ}C$ y la temperatura más baja es de $-10^{\circ}C$ a una altitud de 3975 m.s.n.m con una superficie total de 1 633 km² (Figura 03).

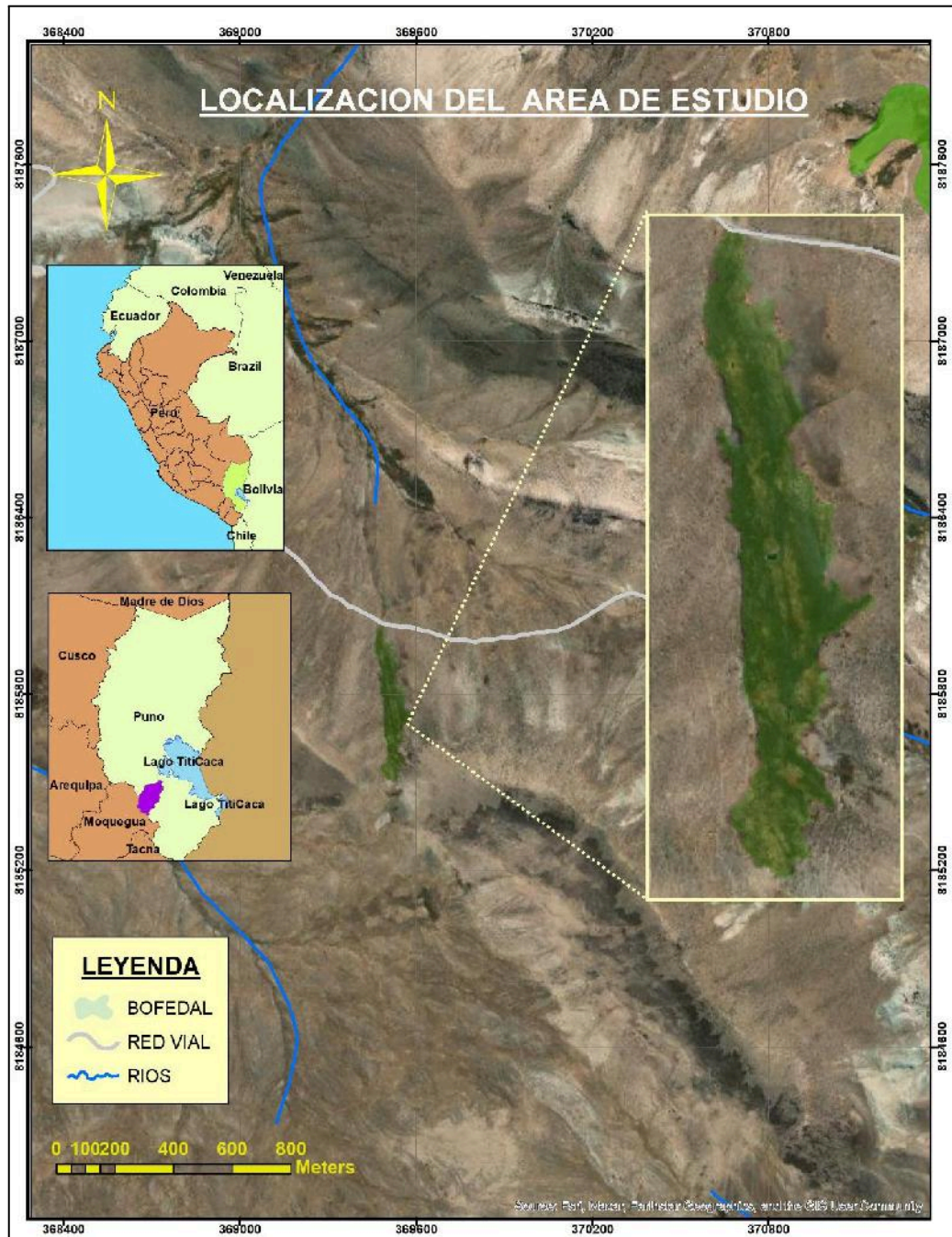


Figura 03: Localización del área de estudio (16°24'22.0"S 70°13'19.1"W)

Fuente: Imágenes procesadas con ArcGis 10.8.2

3.2. TAMAÑO DE MUESTRA

3.2.1 Población

La población de este estudio fue compuesta por un bofedal de aproximadamente 4 ha.

Está ubicado en 16°24'22.0"S 70°13' 19.1"W.

3.2.2 Muestra

Fueron seleccionados cuatro (04) puntos o estaciones, con 2 mediciones por mes (primera y tercera semana), por un periodo de 05 meses (febrero a junio de 2024) obteniendo al final un total de 32 mediciones (Tabla 03).

Tabla 03: Estaciones de medición y N° de muestras bofedal del sector Ccalluchani

MEDICIONES				
Estación	Coordenadas UTM	Semanas/mes	Total/mes	Total/estación
1	369522.60 - 8185675.70	2	4	8
2	369509.10 - 8185745.10	2	4	8
3	369505.00 - 8185838.30	2	4	8
4	369496.20 - 8185922.60	2	4	8
TOTAL				32

3.3. MÉTODOS Y TÉCNICAS

Tipo descriptivo correlacional

El diseño del estudio es no experimental, longitudinal y descriptivo-correlacional.

Enfoque es cuantitativo

Método es deductivo

Técnica: Registro, muestreos y mediciones directas en campo

Instrumento: Registro de campo para de recolección de datos, instrumento de medición

Analizador de gases infrarrojos (EGM-4), GPS, termómetro y anemómetro

3.4. DISEÑO METODOLÓGICO POR OBJETIVOS.

Objetivos específicos 1: Cuantificar la variabilidad espacial del flujo de dióxido de carbono del suelo en el bofedal del sector Ccalluchani y Medir la variabilidad temporal del flujo de dióxido de carbono del suelo en el bofedal del sector Ccalluchani.

MEDICIÓN DE FLUJO DE DIÓXIDO DE CARBONO DEL SUELO

Para la medición del flujo de CO₂ en el suelo del bofedal, se seleccionaron cuatro puntos o estaciones diferentes en el área de medición. En cada lugar se colocaron seis tubos de PVC dispersos al azar (Figura 04). Dos días antes de la primera recogida de datos, los tubos se colocaron en el suelo a una profundidad de dos centímetros.

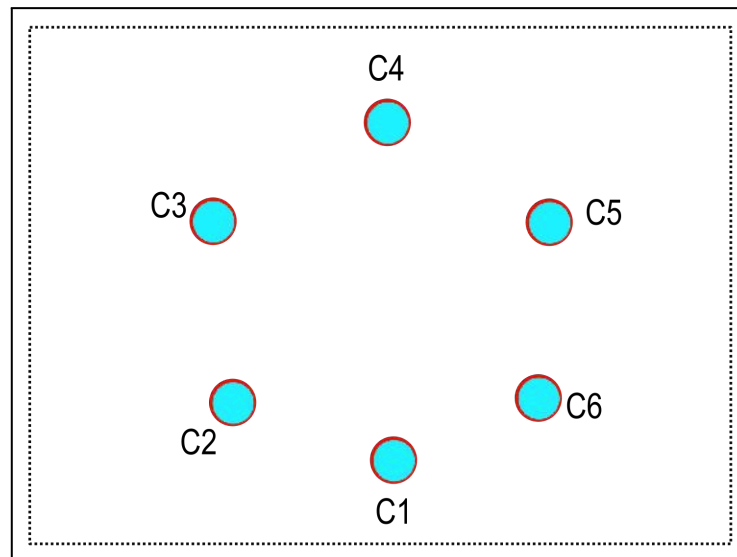


Figura 04: Distribución de cámaras de medición de flujo de CO₂

Las mediciones del flujo de CO₂ se realizaron en cuatro puntos de medición, con seis repeticiones en cada punto (Figura 04). Las mediciones comenzaron en la cámara 1 (C1) y continuarán hasta la cámara 6 (C6) en los cuatro puntos.

Los flujos de CO₂ del suelo se evaluaron utilizando una cámara de respiración dinámica cerrada (SRC-1, pp Systems, EE.UU.) conectada a un sensor infrarrojo (IRGA) (EGM-4, PP Systems, EE.UU.) (Figura 5). Antes de cada medición, se configuraron el termómetro EGM-4 y el analizador de gases y se vincularon a la cámara SCR-1. El tiempo de medición es de dos minutos por cámara. Los datos generados por el dispositivo indican directamente el flujo entre el suelo y el volumen que rodea la cámara de respiración. Las mediciones se realizaron dos veces al mes (primera y tercera semana de cada mes) en los meses de febrero a junio de 2024, entre las 9:00 y las 13:00 hora local.

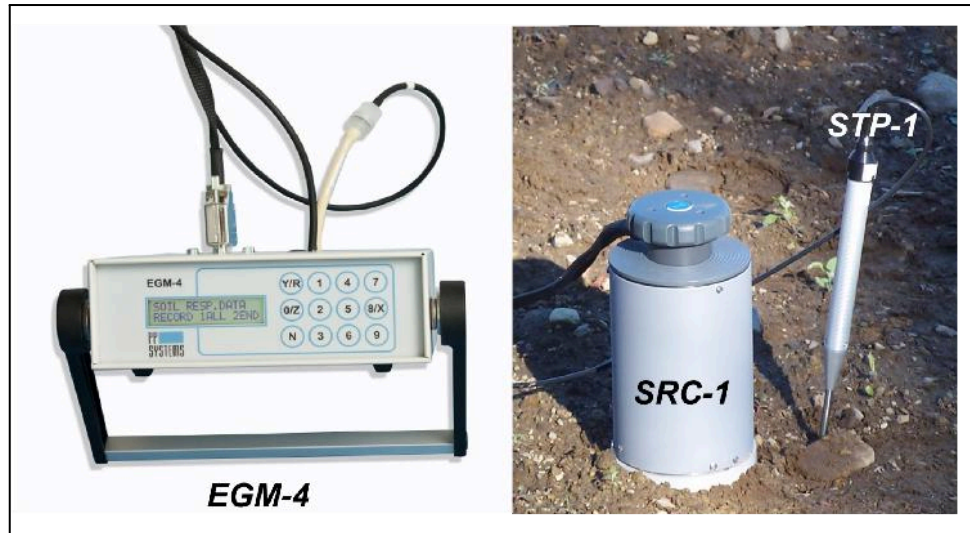


Figura 05: El analizador de gases por infrarrojos (IRGA) (EGM-4, PP Systems, EE.UU.) está conectado a una cámara de respiración (SRC-1, PP Systems, EE.UU.) y a una sonda de temperatura del suelo (STP-1).

CÁLCULO DE FLUJO DE DIÓXIDO DE CARBONO DEL SUELO

Los índices de emisión de CO₂ se calcularon basándose en el cambio lineal de la concentración de gas dentro de la cámara cerrada y el tiempo de medición. La siguiente fórmula, se utilizó para calcular las emisiones de CO₂ utilizando la ley de los gases ideales (Metcalf et al., 2007).

$$F = \text{PVMU}(dc/dt)/(ATR)$$

V = Volumen de la cámara interna en litros (L)

M = peso molecular de CO₂ (44 g / mol)

U = factor de conversión de unidades (0.0864 L seg / μL d)

A = Superficie cubierta por la cámara (m²)

T = temperatura del aire dentro de la cámara en el momento del muestreo (K)

R = Constante de gas (0.08205 L atm / K mol)

dc / dt = Pendiente de la regresión lineal entre la concentración de gas y el tiempo transcurrido (ppm / seg), 1ppm = 1 μL / L

Objetivo específico 2: Analizar la influencia de las propiedades del suelo y variables ambientales en el flujo de dióxido de carbono del suelo en el bofedal del sector Ccalluchani

MEDICIÓN DE PROPIEDADES DEL SUELO Y METEOROLOGÍA

a. Muestreo y análisis de suelo

Se recogieron muestras de suelo a una profundidad de 0-10 cm para su análisis en laboratorio. Se tomaron 03 muestras simples de cada punto de medición de flujo de CO₂ que fueron almacenadas y preservadas en condiciones ideales, asimismo, se rotuló para la identificación.

b. Carbono orgánico y materia orgánica

El porcentaje de MO se analizó en laboratorio se calculó utilizando la metodología de estimación de la concentración de carbono orgánico (CCO) (Walkley & Black, 1934). Dado que la materia orgánica comprende un 58% de carbono orgánico, la relación MO/factor es de 1.724, lo que da como resultado el CCO (Kalra & Maynard, 1991), utilizando 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

c. Humedad de suelo

Para conocer la humedad en cada medición de flujo de CO₂ se muestrearon suelos a una profundidad de 0-10 cm en total 04 muestras por punto de monitoreo de CO₂. La muestra de suelo húmedo se introduce en una estufa a 105 °C hasta obtener peso constante, se utilizará la siguiente ecuación:

$$\% \text{ Humedad} = \frac{\text{Muestra húmeda} - \text{muestra seca}}{\text{Muestra seca}} \times 100$$

d. Temperatura del suelo

La temperatura del suelo se midió con un termómetro digital en cada cámara simultáneamente cuando se medía el flujo de CO₂ en cada cámara.

e. Biomasa de raíces

Para conocer la biomasa de raíces se realizó muestreo con apoyo de un barreno de 12 cm y un volumen conocido, las muestras fueron lavadas con agua y con ayuda de pinzas fueron separadas las raíces para posteriormente pesar y secar en estufa.

f. Variables micro meteorológicas

Para los variables atmosféricos se utilizaron un anemómetro digital Multifuncional de la marca GM 8910, en cada punto de muestreo se realizó 02 mediciones de: humedad relativa, presión atmosférica, temperatura del aire y velocidad del viento.

3.5. IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES

Tabla 04: Operacionalización de variables de estudio

Variables	Dimensiones	Indicadores
Independiente: Bofedales del sector Ccalluchani	Propiedades físicas y químicas del suelo	Medición de carbono orgánico y materia orgánica del suelo, biomasa de raíces, C.E. y pH
Dependiente: Variabilidad espacial y temporal del flujo de dióxido de carbono	Emisión o captura de dióxido de carbono	Medición directa en campo con cámara dinámica cerrada (EGM-4).

3.6. MÉTODO O DISEÑO ESTADÍSTICO

Los datos de los flujos de CO₂ y de las variables bióticas y abióticas se normalizaron mediante el método de ajuste de Shapiro-Wilks, para identificar si los datos son

paramétricos o no paramétricos. Se utilizaron las pruebas Tukey y ANOVA para detectar diferencias significativas ($p < 0.05$) en las emisiones entre las zonas de muestreo, suponiendo distribuciones normales. La prueba de Kruskal-Wallis se realizó cuando los datos no tienen una distribución normal. Para evaluar la relación entre las emisiones de CO_2 y los factores bióticos, abióticos y punto de muestreo, se realizó correlación de Pearson utilizando el software estadístico Jamovi versión 1.6.23.

CAPÍTULO IV

EXPOSICION Y ANALISIS DE LOS RESULTADOS

4.1 VARIABILIDAD ESPACIAL DEL FLUJO DE DIÓXIDO DE CARBONO DEL SUELO EN EL BOFEDAL DEL SECTOR CCALLUCHANI

El flujo de CO₂ medido en cada uno de los cuatro puntos de muestreo (P1, P2, P3 y P4) no mostró diferencias estadísticas significativas ($p > 0.05$), lo que sugiere que las emisiones de CO₂ se distribuyen uniformemente en el área examinada. Esta uniformidad del flujo puede estar relacionada con factores ambientales homogéneos, como la composición del suelo, el contenido de humedad y la cobertura vegetal. Estas condiciones similares pueden permitir un comportamiento similar en la actividad microbiana y los procesos de respiración del suelo en cada punto de muestreo. Además, la consistencia en los flujos de CO₂ podría indicar que el área de estudio no presenta variaciones notables en la topografía o en la distribución de las especies vegetales, lo que respalda la noción de un entorno relativamente homogéneo. Estos resultados son significativos porque sugieren que los flujos de CO₂ pueden evaluarse con una menor cantidad de puntos de muestreo sin comprometer la representatividad de los resultados, lo que podría ayudar a diseñar futuros estudios de monitoreo de gases en áreas similares de manera más eficiente (Figura 06).

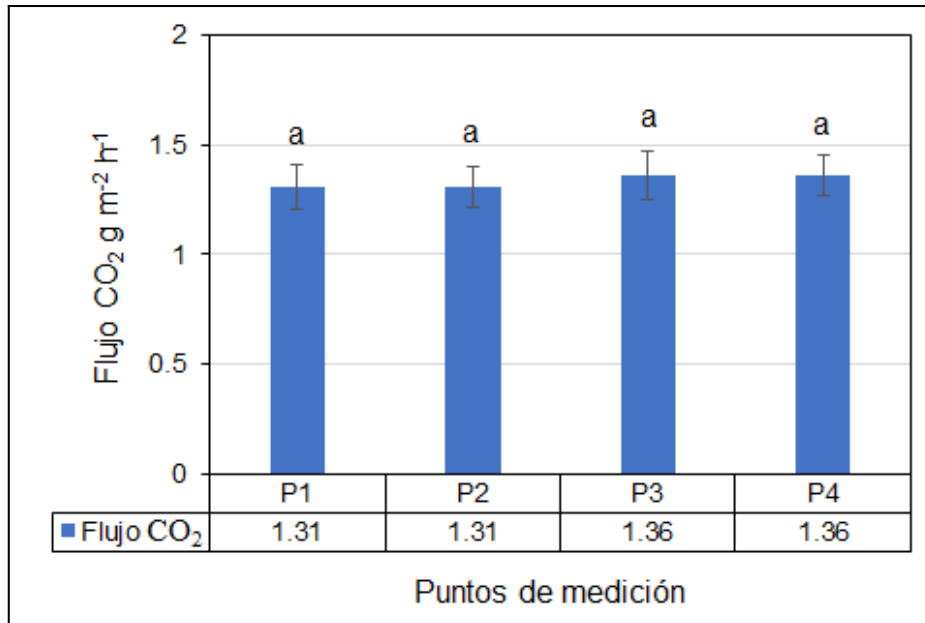


Figura 06: Variación de flujo de CO₂ en diferentes puntos de medición en suelo de bofedal

En una investigación desarrollada en bofedal de la Moya en Ayaviri, el flujo de CO₂ del suelo tuvo poca variación con respecto a los diferentes puntos de muestreo, con 1.15 g CO₂ m⁻² h⁻¹ en época seca y 1.24 g CO₂ m⁻² h⁻¹ en época lluviosa, sin mostrar variación estadística (Flores, 2023). Estos valores son similares a los obtenidos en la presente investigación. Así mismo, en una investigación realizado en suelos de la Bahía Interior de Puno en tres sitios de medición en época seca no hubo diferencia significativa y en época lluviosa solo un sitio de medición difiere a los demás, estos resultados son similares a los obtenidos en la presente investigación (Ccama, 2023). En bofedales del distrito de Capaso mostraron que en cada época climática no hubo diferencia significativa entre los diferentes puntos de medición, tal como se muestra en la presente investigación (Checalla, 2023).

4.2 VARIABILIDAD TEMPORAL DEL FLUJO DE DIÓXIDO DE CARBONO DEL SUELO EN EL BOFEDAL DEL SECTOR CCALLUCHANI

El flujo de CO₂ del suelo de bofedales muestra una variación temporal, siendo el mayor flujo el 03/04/2024 con 1.74 g CO₂ m⁻² h⁻¹ y menor el 04/06/2024 con 0.82 g CO₂ m⁻² h⁻¹. Estadísticamente, las mediciones del 25/02/2024, 17/03/2024 y 03/04/2024 varían con respecto a las mediciones del 14/05/2024 y 04/06/2024 (p<0.05) (Figura 07). Esa variación puede atribuirse al inicio de las heladas, lo cual impacta el estado fisiológico de las plantas que se encuentran en los bofedales. Así mismo, la actividad biológica y microbiana disminuye debido a las bajas temperaturas y heladas de mayo y junio, lo que reduce el flujo de CO₂ del suelo en comparación con los meses más cálidos como febrero, marzo y abril. El flujo de CO₂ promedio en el bofedal sector Ccalluchani, Pichacani, Puno fue de 1.33 g CO₂ m⁻² h⁻¹.

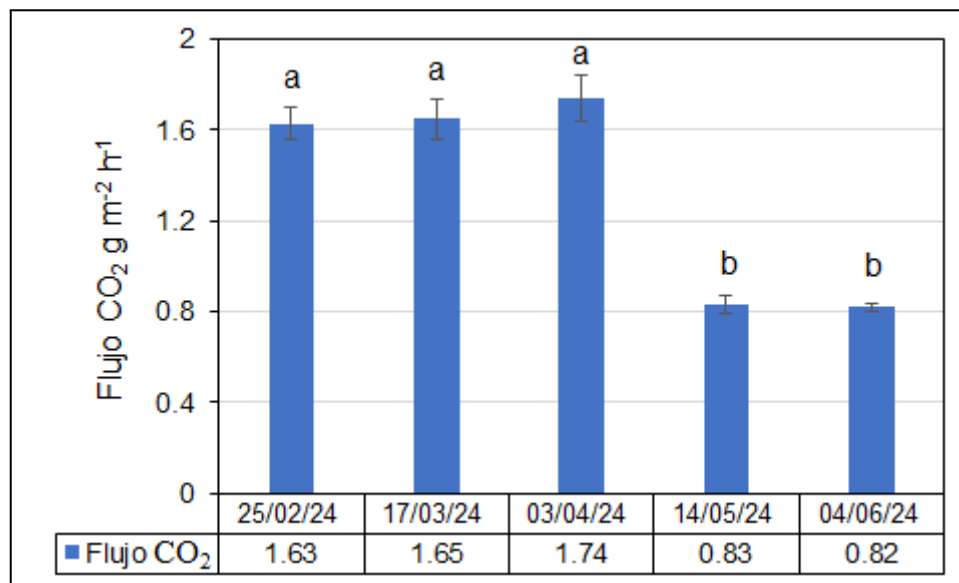


Figura 07: Variación de flujo de CO₂ en diferentes fechas de medición en suelos de bofedal altoandino

Durante cinco días consecutivos, se llevó a cabo la evaluación del flujo de CO₂ en el bofedal de La Moya, ubicado en Melgar, Puno. Los hallazgos indicaron que durante la época seca, los valores de CO₂ m⁻² h⁻¹ eran de 1.15 g CO₂ m⁻² h⁻¹ y durante la temporada

lluviosa, eran de $1.24 \text{ g CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$. Sin embargo, al analizar estadísticamente los datos correspondientes a los días de medición, no se encontraron diferencias significativas; esto indica que las variaciones estacionales no tienen un impacto significativo en el flujo de CO_2 en el suelo de este ecosistema (Flores, 2023). Los valores son similares las tres primeras mediciones y diferente las dos últimas mediciones, probablemente debido al aumento de precipitaciones pluviales en estos últimos monitoreos. En humedales de la Bahía Interior de Puno obtuvieron $0.99 \text{ g CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ en época lluviosa que es un poco menor al presente estudio (Ccama, 2023). En bofedales del distrito de Capaso reportaron $1.25 \text{ g CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ en época lluviosa, este valor es similar al presente estudio (Checalla, 2023). Así mismo, Mamani (2024) reportó $1.05 \text{ g CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ en época lluviosa, ese resultado es parecido al presente estudio.

4.3 INFLUENCIA DE LAS PROPIEDADES DEL SUELO Y VARIABLES AMBIENTALES EN EL FLUJO DE DIÓXIDO DE CARBONO DEL SUELO EN EL BOFEDAL DEL SECTOR CCALLUCHANI

Durante el periodo de estudio, la temperatura del suelo (T_s) en el bofedal varió entre $11.72 \text{ }^\circ\text{C}$ y $18.76 \text{ }^\circ\text{C}$. Las temperaturas más elevadas se registraron durante el período de menor precipitación pluvial. La humedad del suelo (H_s) varió entre 84.80% y 87.46% , con alto porcentaje de humedad porque los humedales están constantemente húmedos. La temperatura del aire (T_a) fue mayor cuando la precipitación pluvial era menor, la humedad relativa (HR) fue mayor en fechas con mayor incidencia de precipitación pluvial y el pH del suelo osciló entre 5.24 y 6.23 consideradas ligeramente ácidos (Tabla 05).

Tabla 05: Variación temporal de los parámetros del suelo y del aire ambiente en el bofedal

Fecha	Ts (°C)	Hs (%)	Tar (°C)	HR (%)	Vv m/s	P (hPa)	ILU (Lux)	pH
25/02/24	18.76 ^a	84.80 ^b	22.59 ^a	31.13 ^d	2.41 ^a	587.81 ^a	46768.5 ^a	6.23 ^a
17/03/24	16.03 ^b	86.35 ^{ab}	15.99 ^b	44.96 ^c	2.46 ^a	583.88 ^a	18272.6 ^{3b}	5.24 ^c
03/04/24	14.70 ^c	86.45 ^{ab}	13.86 ^{bc}	48.01 ^c	2.66 ^a	583.60 ^a	12989.13 ^b	5.43 ^{bc}
14/05/24	11.72 ^d	87.46 ^a	10.43 ^c	69.21 ^a	2.76 ^a	583.71 ^a	29657.63 ^a	5.67 ^{bc}
							b	
04/06/24	12.69 ^d	86.55 ^a	14.70 ^b	56.86 ^b	2.05 ^a	580.73 ^a	25445.75 ^b	5.98 ^{ab}
Media	14.78	86.22	15.51	50.03	2.47	583.95	26626.72	5.71

La temperatura del suelo (Ts) fue similar al estudio realizado por Flores (2023), obtuvo 14.16 °C y en este estudio fue 14.78 °C, así mismo, la humedad relativa (HR) fue similar de 48.15%. Flores (2023), obtuvo humedad del suelo (Hs) de 64.06% en época lluviosa que es un poco menor al obtenido en el presente estudio, el pH es similar, obtuvo 5.68. Así mismo, Checalla (2023), muestra Hs de 83.71%, este valor es semejante al presente estudio, la temperatura del aire obtenido en bofedal del distrito de Capaso fue de 16.72 °C, valor semejante al presente estudio, la velocidad del viento (Vv) fue de 2.64 m/s en época lluviosa, ese valor es semejante al presente estudio.

En relación a factores que influyen en el flujo de CO₂ del suelo, la temperatura del suelo y temperatura del aire influye positivamente ($p < 0.05$), la humedad del suelo, humedad relativa y pH influyen negativamente ($p < 0.05$). Por otro lado, la velocidad del viento, presión atmosférica e iluminación no influyen en el flujo de CO₂ del suelo del bofedal (Tabla 06). El signo negativo en el coeficiente de correlación muestra que las dos variables se comportan de manera opuesta: cuando una sube, la otra baja.

Tabla 06: Correlación de Pearson de flujo de CO₂ y variables ambientales

Variables	Ts	Hs	Tar	HR	Vv	P	ILU	pH
CO ₂	0.53 (0.000)	-0.27 (0.003)	0.40 (0.000)	-0.61 (0.000)	0.06 (0.55)	0.17 (0.06)	0.12 (0.18)	-0.21 (0.02)
TS		-0.39 (0.00)	0.73 (0.00)	-0.85 (0.00)	0.03 (0.71)	0.25 (0.01)	0.27 (0.00)	0.16 (0.08)
HS			-0.46 (0.00)	0.51 (0.00)	-0.42 (0.00)	-0.42 (0.00)	0.40 (0.00)	-0.35 (0.00)
TAR				-0.90 (0.00)	-0.10 (0.30)	0.27 (0.00)	0.48 (0.00)	0.33 (0.00)
HR					0.00 (1.00)	-0.26 (0.00)	-0.27 (0.00)	-0.16 (0.08)
Vv						0.16 (0.09)	0.03 (0.78)	0.18 (0.05)
P							0.43 (0.00)	0.25 (0.01)
ILU								0.60 (0.00)

Los hallazgos del presente estudio son similares a los que se han obtenido en otros bofedales del altiplano puneño. En dichas investigaciones, se encontró que la temperatura del suelo tiene un impacto positivo en el flujo de CO₂, con coeficientes de correlación de $r=0.49$ y $r=0.62$, respectivamente. En el humedal de la Bahía Interior de Puno Ccama (2023), descubrió que la temperatura del aire tiene una correlación positiva con el flujo de CO₂ ($r=0.51$). Además, Checalla (2023) y Mamani (2024), indican que el pH del suelo tiene un impacto negativo en el flujo de CO₂ en los suelos de bofedales, lo que coincide con los resultados del estudio actual. Un coeficiente de correlación negativo es una herramienta valiosa para entender las relaciones inversas entre variables.

4.4 PRUEBA DE HIPÓTESIS

4.4.1 Contrastación de la hipótesis general

Hipótesis nula (H_0)

H_0 = No existe variabilidad espacial y temporal de los flujos de dióxido de carbono del suelo en el bofedal del sector Ccalluchani, Pichacani - Laraqueri, Puno - 2024

Hipótesis alternativa (H_1)

H_1 = Existe variabilidad espacial y temporal de los flujos de dióxido de carbono del suelo en el bofedal del sector Ccalluchani, Pichacani - Laraqueri, Puno - 2024

Según los resultados de las figuras 06 y 07 y tabla 06, sobre la variabilidad espacial y temporal de flujo de dióxido de carbono en suelo de del bofedal, se concluye, que varía temporalmente por lo que se acepta la H_1 y se rechaza la H_0 .

4.4.2 Contrastación de la hipótesis específica 1

H_0 = El flujo de dióxido de carbono del suelo no muestra variabilidad espacial en el bofedal del sector Ccalluchani.

H_1 = El flujo de dióxido de carbono del suelo muestra variabilidad espacial en el bofedal del sector Ccalluchani.

Según los resultados de la figura 06, sobre la variabilidad espacial de flujo de dióxido de carbono en suelo de del bofedal, se concluye, que no varía espacialmente por lo que se rechaza la H_1 y se acepta la H_0 .

4.4.3 Contrastación de la hipótesis específica 2

H_0 = El flujo de dióxido de carbono del suelo no varía temporalmente en el bofedal del sector Ccalluchani.

H_1 = El flujo de dióxido de carbono del suelo varía temporalmente en el bofedal del sector Ccalluchani.

Según los resultados de la figura 07, sobre la variabilidad temporal de flujo de dióxido de carbono en suelo de del bofedal, se concluye, que varía temporalmente por lo que se acepta la H_1 y se rechaza la H_0 .

4.4.4 Contrastación de la hipótesis específica 3

H_0 = Las propiedades del suelo y variables ambientales no influyen en el flujo de dióxido de carbono del suelo en el bofedal del sector Ccalluchani

H_1 = Las propiedades del suelo y variables ambientales influyen en el flujo de dióxido de carbono del suelo en el bofedal del sector Ccalluchani

Según los resultados de la tabla 06, sobre la influencia de propiedades del suelo y variables ambientales en el flujo de dióxido de carbono en suelo de del bofedal, se concluye, que influyen por lo que se acepta la H_1 y se rechaza la H_0 .

CONCLUSIONES

PRIMERA: , lo que sugiere una distribución uniforme del CO₂ en la superficie estudiada. Esto puede deberse a que las condiciones ambientales del área, como la composición del suelo, la humedad y la cobertura vegetal, parecen ser consistentes en todos los puntos evaluados, lo que promueve una distribución equitativa de los flujos de CO₂, por lo tanto. No hay diferencia en el flujo de CO₂ entre los distintos puntos de muestreo por lo tanto se acepta hipótesis nula.

SEGUNDA: El flujo de CO₂ en los bofedales del sector Ccalluchani, Pichacani, Puno, mostró una variación temporal significativa, con los mayores valores en los meses más cálidos (febrero a abril) y menores durante mayo y junio, debido a las heladas que reducen la actividad biológica y microbiana. El flujo promedio registrado fue de 1.33 g CO₂ m⁻² h⁻¹, siendo el mayor en abril (1.74 g CO₂ m⁻² h⁻¹) y el menor en junio (0.82 g CO₂ m⁻² h⁻¹), por lo tanto, se acepta hipótesis nula, por lo tanto, se acepta hipótesis alterna.

TERCERA: Con coeficientes de correlación de $r = 0.53$ y $r = 0.40$, la temperatura del suelo y el aire influyeron positivamente y significativamente en el flujo de CO₂. Por otro lado, la humedad relativa del suelo, el pH y la humedad del suelo tuvieron un impacto negativo y significativo en el flujo de CO₂. No se encontró una correlación significativa entre el flujo de CO₂ y otros factores, como la velocidad del viento, la presión atmosférica y la radiación solar. Estos hallazgos destacan cómo las condiciones térmicas y la

humedad son cruciales para controlar las emisiones de CO₂ en los suelos de bofedal, por lo tanto, se acepta hipótesis alterna.

RECOMENDACIONES

PRIMERA: Se recomienda a los investigadores implementar un programa de monitoreo continuo que incluya la medición de la temperatura del suelo, la humedad, el pH y otros factores ambientales en el bofedal. Este método permitirá recopilar datos más precisos y actualizados sobre la influencia de estas variables a lo largo del tiempo en el flujo de CO₂. Además, facilitará la identificación de tendencias y patrones clave para la gestión y conservación sostenible de este ecosistema.

SEGUNDA: Se recomienda a los investigadores que realicen investigaciones adicionales para evaluar cómo el uso del suelo y la gestión de los bofedales afectan el flujo de CO₂. Sería crucial investigar cómo las actividades como la agricultura, el pastoreo y la deforestación afectan la salud y la capacidad de almacenamiento de carbono de los ecosistemas. Estos estudios proporcionarán datos cruciales para la creación de estrategias de manejo sostenible que se enfoquen en mantener la funcionalidad y resiliencia de los bofedales.

TERCERA: Se sugiere implementar programas de educación y sensibilización dirigidos a las comunidades locales sobre la importancia de los bofedales en el ciclo del carbono y su papel en la mitigación del cambio climático. Fomentar la participación comunitaria en la conservación de estos ecosistemas puede contribuir a su preservación y a la mejora de la calidad del medio ambiente local.

BIBLIOGRAFÍA

- Alvis, 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>
- Amores, M. M. (2020). *Efecto de prácticas de manejo del suelo y sus interacciones en la dinámica del carbono orgánico del suelo: Revisión de Literatura* [Escuela Agrícola Panamericana, 2020.]. <https://bdigital.zamorano.edu/handle/11036/6738>
- Astudillo, D. (2022). Actividad minera en humedales altoandinos del Ecuador y la emisión de dióxido de carbono. *Revista Iberoamericana Ambiente & Sustentabilidad*, 5, 1-9. <https://doi.org/10.46380/rias.vol5.e216>
- 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. *Terra Latinoamericana*, 36(2), 93-104. <https://doi.org/10.28940/terra.v36i2.334>
- Biancalani, R., & Avagyan, A. (2014). *Towards climate-responsible peatlands management. Mitigation of Climate Change in Agriculture Series (MICCA)*. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/20143358447>
- Blasco, M., & Burbano, H. (2015). *La vida en el suelo. Notas sobre su bioquímica y microbiología*. Pasto. Impresos La Castellana.
- 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>
- Calderón, M. J. (2018). *Oferta hídrica, almacenamiento de agua y carbono en dos*

- escenarios altoandinos del páramo de Mojanda-Ecuador* [Tesis, Universidad Nacional de La Plata]. <https://doi.org/10.35537/10915/69324>
- Ccama, C. (2023). *Flujo de dióxido de carbono del suelo en el humedal de la bahía interior de Puno—2022* [Tesis Pregrado, Universidad Privada San Carlos]. <http://repositorio.upsc.edu.pe/handle/UPSC/626>
- Checalla, J. (2023). *Flujo de dióxido de carbono del suelo en el bofedal del sector Pampa Uta, en el Distrito de Capaso—El Collao, 2022* [Tesis de Pre grado, Universidad Privada San Carlos]. <http://repositorio.upsc.edu.pe/handle/UPSC/508>
- Cooper, D. J., Sueltenfuss, J., Oyague, E., Yager, K., Slayback, D., Caballero, E. M. C., Argollo, J., & Mark, B. G. (2019). Drivers of peatland water table dynamics in the central Andes, Bolivia and Peru. *Hydrological Processes*, 33(13), 1913-1925. <https://doi.org/10.1002/hyp.13446>
- 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>
- Dirección de Sustentabilidad, Medio Ambiente y Cambio Climático. (2018). *Manual de Aplicación de la Huella de Carbono*. Ministerio de Agroindustria Provincia de Buenos Aires. https://www.gba.gov.ar/sites/default/files/agroindustria/docs/Manual_aplicacion_Huella_de_Carbono.pdf
- FAO. (2017). *Mapa de carbono orgánico del suelo*. FAODocuments. <https://www.fao.org/documents/card/en?details=I8195ES>
- Flores, M. (2023). *Dinámica del flujo de dióxido de carbono del suelo en el bofedal de la Moya, en el distrito de Ayaviri—Melgar, 2022* [Tesis Pregrado, Universidad Privada San Carlos]. <http://repositorio.upsc.edu.pe/handle/UPSC/660>
- Flores, M., Cattanio, J. H., Jardim, M., Vasconcelos, S. S., Carvalho, C. J. R. de, Morais,

- R. S. de, & Maia, E. T. (2024). *Greenhouse Gas Fluxes in a Managed Forest in the Amazon Estuary* (SSRN Scholarly Paper No. 4772529). <https://doi.org/10.2139/ssrn.4772529>
- Formiga, L. D. A. da S., Andrade, A. P. de, Araujo, K. D., Santos, A. M. da S., Silva, D. S. da, & Lima, L. B. (2017). Dióxido de carbono liberado do solo em áreas de caatinga sob pastejo caprino. *Revista Biociências*, 23(2), Article 2. <http://revistas.unitau.br/ojs/index.php/biociencias/article/view/2472>
- Huaman, Y. E. (2022). *Reconstrucción paleoclimática y estimación de la acumulación de carbono en los bofedales alto-Andinos mediante estudios con datación C14 y su caracterización con fluorescencia de Rayos -X* [Tesis de Maestría, Universidad Nacional Mayor de San Marcos]. <https://cybertesis.unmsm.edu.pe/handle/20.500.12672/18099>
- 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. (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). https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/05/SYR_AR5_FINAL_full_wcover.pdf
- 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>

- 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>
- Ma, S., Bloom, A. A., Watts, J. D., Quetin, G. R., Donatella, Z., Euskirchen, E. S., Norton, A. J., Yin, Y., Levine, P. A., Braghieri, R. K., Parazoo, N. C., Worden, J. R., Schimel, D. S., & Miller, C. E. (2023). Resolving the Carbon-Climate Feedback Potential of Wetland CO₂ and CH₄ Fluxes in Alaska. *Global Biogeochemical Cycles*, 37(9), e2022GB007524. <https://doi.org/10.1029/2022GB007524>
- 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>
- Mamani, M. (2024). *Reserva de carbono y emisión de dióxido de carbono del bofedal en el sector Vizcachani, distrito de Capaso, El Collao—2022* [Tesis Pregrado, Universidad Privada San Carlos]. <http://repositorio.upsc.edu.pe/handle/UPSC/952>
- Metcalfe, D. B., Meir, P., Aragão, L. E. O. C., Malhi, Y., da Costa, A. C. L., Braga, A., Gonçalves, P. H. L., de Athaydes, J., de Almeida, S. S., & Williams, M. (2007). Factors controlling spatio-temporal variation in carbon dioxide efflux from surface litter, roots, and soil organic matter at four rain forest sites in the eastern Amazon. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*, 112(G4). <https://doi.org/10.1029/2007JG000443>
- MINAM. (2019). *Guía de evaluación del estado del ecosistema de bofedal*. <https://sinia.minam.gob.pe/documentos/guia-evaluacion-estado-ecosistema-bofedal>
- Nina, L. (2023). *Efecto de los usos del suelo en el flujo de dióxido de carbono del suelo en el C.E. Illpa Puno* [Tesis Pregrado, Universidad Nacional del Altiplano].

<https://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/20853>

- Pantoja, C. dos A., Araújo, A. C. de, Mendes, E. M. de O., Souza, C. M. de A., Santiago, A. V., Silva, J. A. de F., Ataíde, W. L. da S., Azevedo, C. M. B. C. de, Souza, G. N. B. de, & Yakuwa, J. C. P. (2020). Variação do CO₂ atmosférico e do efluxo de CO₂ do solo em iPF na Amazônia. *Agrometeoros*, 27(1), Article 1. <https://doi.org/10.31062/agrom.v27i1.26618>
- Planas, 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>
- Rojo, G. E., Jasso, J., & Velásquez, A. (2003). Las masas forestales como sumideros de CO₂ ante un cambio climático global. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 9(1), 57-67. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=62990106>
- 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>
- Shi, P., Qin, Y., Liu, Q., Zhu, T., Li, Z., Li, P., Ren, Z., Liu, Y., & Wang, F. (2020). Soil respiration and response of carbon source changes to vegetation restoration in the Loess Plateau, China. *Science of The Total Environment*, 707, 135507. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.135507>
- 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>

Suárez, E., Chimbolema, S., & Jaramillo, R. (2022). *Turberas de páramo en el Ecuador: Notas sobre la ecología, conservación, y restauración de un ecosistema estratégico*. Imprenta Don Bosco.

<https://instituto-biosfera.org/blog/2022/11/07/lanzamiento-libro-turberas/>

Trespalacios, J., Blanquicett, C., & Carrillo, P. (2018). Gases y efecto invernadero. *Instituto de desarrollo sostenible*, 1-38. https://www.academia.edu/38002440/Gases_y_efecto_invernadero

Villanueva, B., Salvador, M., & Huelgas, R. (2019). Cambio climático y salud. *Revista Clínica Española*, 219(5), 260-265. <https://doi.org/10.1016/j.rce.2019.01.004>

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

WMO. (2019). *WMO Greenhouse Gas Bulletin: The State of Greenhouse Gases in the Atmosphere Based on Global Observations through 2018* (Boletín No. 15; p. 8). Global Atmosphere Watch. https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=10100

ANEXOS

Anexo 01: Matriz de consistencia: VARIABILIDAD ESPACIAL Y TEMPORAL DEL FLUJO DE DIÓXIDO DE CARBONO DEL BOFEDAL DEL SECTOR CCALLUCHANI, PICHACANI, PUNO - 2024

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	INDICADORES	INSTRUMENTOS	TÉCNICA DE PROCESAMIENTO DE DATOS
<p>GENERAL ¿Existe variabilidad espacial y temporal de los flujos de dióxido de carbono del suelo en el bofedal del sector Ccalluchani, Pichacani - Laraqueri, Puno - 2024?</p> <p>ESPECÍFICOS ¿Existe variabilidad espacial del flujo de dióxido de carbono del suelo en el bofedal del sector Ccalluchani? -¿Existirá variabilidad temporal del flujo de dióxido de carbono del suelo en el bofedal del sector Ccalluchani? ¿Las propiedades del suelo y variables ambientales influyen en el flujo de dióxido de carbono del suelo en el bofedal del sector Ccalluchani?</p>	<p>GENERAL Evaluar la variabilidad espacial y temporal de los flujos de dióxido de carbono del suelo en el bofedal del sector Ccalluchani, Pichacani - Laraqueri, Puno - 2024</p> <p>ESPECÍFICOS Cuantificar la variabilidad espacial del flujo de dióxido de carbono del suelo en el bofedal del sector Ccalluchani. -Medir la variabilidad temporal del flujo de dióxido de carbono del suelo en el bofedal del sector Ccalluchani. Analizar la influencia de las propiedades del suelo y variables ambientales en el flujo de dióxido de carbono del suelo en el bofedal del sector Ccalluchani</p>	<p>GENERAL Existe variabilidad espacial y temporal de los flujos de dióxido de carbono del suelo en el bofedal del sector Ccalluchani, Pichacani - Laraqueri, Puno - 2024</p> <p>ESPECÍFICOS El flujo de dióxido de carbono del suelo muestra variabilidad espacial en el bofedal del sector Ccalluchani. -El flujo de dióxido de carbono del suelo varía temporalmente en el bofedal del sector Ccalluchani. - Las propiedades del suelo y variables ambientales influyen en el flujo de dióxido de carbono del suelo en el bofedal del sector Ccalluchani</p>	<p>Independiente: Bofedales del sector Ccalluchani</p> <p>Dependiente: Variabilidad espacial y temporal del flujo de dióxido de carbono</p>	<p>Flujo positivo significa (emisión o fuente de CO₂).</p> <p>Flujo negativo significa (sumidero o absorción de CO₂).</p>	<p>Técnica: Muestreos y mediciones directas en campo</p> <p>Instrumento: Analizador de gases infrarrojos (EGM-4) Termómetro, anemómetro</p>	<p>Análisis estadístico Cálculo de reserva de carbono, emisión de CO₂ Método: Deductivo cuantitativo Diseño de investigación: No experimental y Longitudinal Tipo de investigación: Descriptivo correlacional</p>

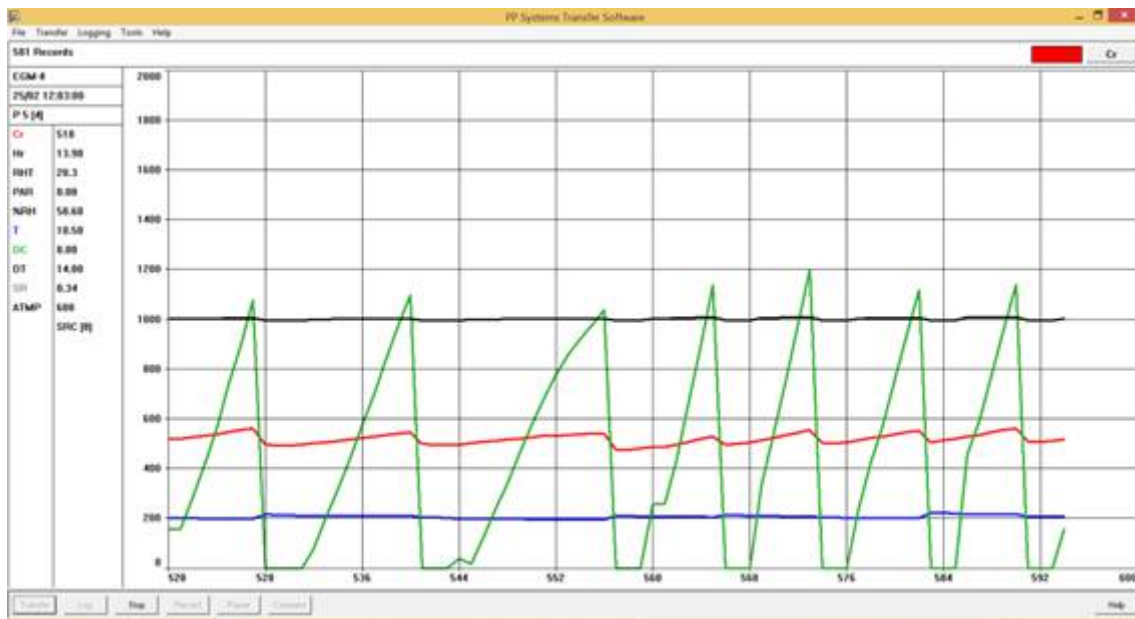
Anexo 02: Mapa de bofedales



Figura 08: Mapa de bofedales en el departamento de Puno, Perú

Fuente: INAIGEM (2023)

Anexo 03: Descarga de datos de campo con programa Transfer



Anexo 04: Datos de campo almacenados en equipo de medición de gases EGM-4

Plot	RecNo	Day	Month	CO ₂ Ref	mbR Temp	Input E	Input F	ATMP
1	1	17	3	528	21.9	0	0	589
1	2	17	3	528	21.9	4	0	589
1	3	17	3	532	22	9	0	588
1	4	17	3	536	22	14	0.34	588
1	5	17	3	538	22	19	0.33	589
1	6	17	3	544	22	24	0.39	588
1	7	17	3	548	22	28	0.42	588
1	8	17	3	551	22	33	0.43	589
1	9	17	3	556	22	38	0.44	589
1	10	17	3	560	22	43	0.45	589
1	11	17	3	565	22	48	0.46	589
1	12	17	3	571	22.1	52	0.48	588
1	13	17	3	576	22.1	57	0.49	588
2	1	17	3	522	22.1	0	0	589
2	2	17	3	525	22.2	4	0	589
2	3	17	3	528	22.1	9	0	589
2	4	17	3	533	22.1	14	0.41	589
2	5	17	3	539	22.1	19	0.48	588
2	6	17	3	543	22.1	24	0.51	588
2	7	17	3	547	22.1	28	0.51	588
2	8	17	3	549	22.1	33	0.49	589
2	9	17	3	555	22.1	38	0.49	588
2	10	17	3	559	22.1	43	0.49	588
2	11	17	3	561	22	48	0.48	589
2	12	17	3	565	22	52	0.47	589
2	13	17	3	571	22	57	0.48	588
2	14	17	3	575	22	62	0.48	588
3	1	17	3	528	22	0	0	588
3	2	17	3	529	22	4	0	588
3	3	17	3	530	22	9	0	588
3	4	17	3	532	22	14	0.17	588
3	5	17	3	535	21.9	19	0.2	588
3	6	17	3	538	22	24	0.24	588
3	7	17	3	540	22	28	0.25	589
3	8	17	3	546	21.9	33	0.28	588
3	9	17	3	549	22	38	0.31	588
3	10	17	3	553	22	43	0.33	588
3	11	17	3	558	22	48	0.35	588
3	12	17	3	562	22	52	0.37	588
3	13	17	3	566	22	57	0.38	588
3	14	17	3	571	21.9	62	0.4	588
3	15	17	3	576	22	67	0.41	588
3	16	17	3	581	21.9	72	0.42	588
4	1	17	3	522	21.9	0	0	589
4	2	17	3	523	21.8	4	0	589
4	3	17	3	524	21.8	9	0	589

4	4	17	3	528	21.9	14	0.21	588
4	5	17	3	529	21.9	19	0.21	589
4	6	17	3	533	21.9	24	0.24	589
4	7	17	3	538	21.9	28	0.29	588
4	8	17	3	542	21.9	33	0.33	588
4	9	17	3	543	21.9	38	0.34	589
4	10	17	3	547	21.9	43	0.35	589
4	11	17	3	551	21.9	48	0.36	589
4	12	17	3	557	21.9	52	0.37	588
4	13	17	3	562	21.9	57	0.39	588
4	14	17	3	566	21.9	62	0.4	588
4	15	17	3	571	21.8	67	0.42	588
5	1	17	3	529	21.5	0	0	589
5	2	17	3	530	21.5	4	0	589
5	3	17	3	532	21.5	9	0	589
5	4	17	3	537	21.5	14	0.3	588
5	5	17	3	539	21.4	19	0.32	589
5	6	17	3	547	21.5	24	0.4	588
5	7	17	3	553	21.4	28	0.46	588
5	8	17	3	559	21.4	33	0.51	588
5	9	17	3	565	21.3	38	0.54	588
5	10	17	3	572	21.4	43	0.57	588
5	11	17	3	578	21.3	48	0.6	588
6	1	17	3	529	21	0	0	589
6	2	17	3	530	21	4	0	589
6	3	17	3	533	21	9	0	589
6	4	17	3	539	21	14	0.35	588
6	5	17	3	544	21	19	0.43	588
6	6	17	3	547	21	24	0.45	589
6	7	17	3	552	20.9	28	0.47	589
6	8	17	3	558	20.9	33	0.49	589
6	9	17	3	565	20.9	38	0.52	588
6	10	17	3	569	20.8	43	0.54	589
6	11	17	3	574	20.9	48	0.55	589
6	12	17	3	580	20.8	52	0.56	589
1	1	17	3	581	20.6	0	0	589
1	2	17	3	583	20.6	4	0	589
1	3	17	3	585	20.6	9	0	589
1	4	17	3	587	20.6	14	0.25	589
1	5	17	3	590	20.6	19	0.27	589
1	6	17	3	593	20.5	24	0.28	589
1	7	17	3	595	20.5	28	0.28	589
1	8	17	3	598	20.5	33	0.29	589
1	9	17	3	601	20.5	38	0.3	589
1	10	17	3	604	20.5	43	0.3	589
1	11	17	3	607	20.5	48	0.31	589
1	12	17	3	610	20.4	52	0.31	589
1	13	17	3	613	20.4	57	0.32	589
1	14	17	3	616	20.4	62	0.32	589

1	15	17	3	619	20.4	67	0.32	589
1	16	17	3	622	20.4	72	0.32	589
1	17	17	3	625	20.4	76	0.32	589
1	18	17	3	627	20.4	81	0.32	589
1	19	17	3	631	20.4	86	0.33	589
2	1	17	3	538	20.4	0	0	589
2	2	17	3	541	20.3	4	0	589
2	3	17	3	545	20.3	9	0	589
2	4	17	3	549	20.3	14	0.42	589
2	5	17	3	554	20.3	19	0.46	589
2	6	17	3	560	20.3	24	0.51	589
2	7	17	3	565	20.2	28	0.53	589
2	8	17	3	570	20.2	33	0.55	589
2	9	17	3	576	20.2	38	0.56	589
2	10	17	3	581	20.3	43	0.57	589
2	11	17	3	587	20.2	48	0.58	589
3	1	17	3	550	20.3	0	0	589
3	2	17	3	552	20.3	4	0	589
3	3	17	3	555	20.3	9	0	589
3	4	17	3	559	20.3	14	0.36	589
3	5	17	3	564	20.3	19	0.4	589
3	6	17	3	570	20.3	24	0.47	588
3	7	17	3	574	20.3	28	0.48	589
3	8	17	3	579	20.3	33	0.5	589
3	9	17	3	586	20.3	38	0.53	588
3	10	17	3	589	20.3	43	0.53	589
3	11	17	3	594	20.3	48	0.54	589
3	12	17	3	600	20.3	52	0.55	589
4	1	17	3	523	20.4	0	0	589
4	2	17	3	528	20.4	4	0	588
4	3	17	3	531	20.4	9	0	589
4	4	17	3	538	20.4	14	0.53	588
4	5	17	3	541	20.4	19	0.52	589
4	6	17	3	548	20.4	24	0.56	588
4	7	17	3	551	20.4	28	0.56	589
4	8	17	3	557	20.4	33	0.56	589
4	9	17	3	564	20.4	38	0.58	588
4	10	17	3	567	20.4	43	0.58	589
4	11	17	3	572	20.4	48	0.58	589
5	1	17	3	531	20.4	0	0	589
5	2	17	3	537	20.4	4	0	589
5	3	17	3	544	20.4	9	0	589
5	4	17	3	550	20.4	14	0.74	589
5	5	17	3	558	20.4	19	0.77	588
5	6	17	3	562	20.4	24	0.73	589
5	7	17	3	567	20.4	28	0.71	589
5	8	17	3	571	20.4	33	0.68	589
5	9	17	3	577	20.4	38	0.67	589
5	10	17	3	582	20.4	43	0.66	589

6	1	17	3	526	20.3	0	0	589
6	2	17	3	531	20.3	4	0	589
6	3	17	3	535	20.3	9	0	589
6	4	17	3	541	20.2	14	0.54	589
6	5	17	3	545	20.2	19	0.55	589
6	6	17	3	551	20.2	24	0.57	589
6	7	17	3	557	20.2	28	0.58	589
6	8	17	3	563	20.1	33	0.6	589
6	9	17	3	568	20.1	38	0.61	589
6	10	17	3	574	20.1	43	0.62	589
6	11	17	3	580	20.1	48	0.63	589
1	1	17	3	531	19.1	0	0	589
1	2	17	3	533	19.1	4	0	589
1	3	17	3	536	19.1	9	0	589
1	4	17	3	539	19.1	14	0.29	589
1	5	17	3	542	19.1	19	0.31	589
1	6	17	3	545	19.1	24	0.32	589
1	7	17	3	548	19.1	28	0.32	589
1	8	17	3	551	19.1	33	0.33	589
1	9	17	3	554	19.1	38	0.34	589
1	10	17	3	557	19.1	43	0.34	589
1	11	17	3	561	19.1	48	0.35	589
1	12	17	3	564	19.1	52	0.35	589
1	13	17	3	567	19.1	57	0.35	589
1	14	17	3	570	19.2	62	0.35	589
1	15	17	3	574	19.2	67	0.36	589
1	16	17	3	577	19.1	72	0.36	589
1	17	17	3	580	19.1	76	0.36	589
1	18	17	3	584	19.1	81	0.36	589
2	1	17	3	526	19.1	0	0	589
2	2	17	3	529	19.1	4	0	589
2	3	17	3	532	19.1	9	0	589
2	4	17	3	534	19.1	14	0.31	589
2	5	17	3	538	19.1	19	0.33	589
2	6	17	3	542	19.1	24	0.35	589
2	7	17	3	545	19.1	28	0.36	589
2	8	17	3	548	19	33	0.37	589
2	9	17	3	552	19	38	0.38	589
2	10	17	3	556	19	43	0.38	589
2	11	17	3	559	19	48	0.39	589
2	12	17	3	563	19	52	0.39	589
2	13	17	3	567	19	57	0.4	589
2	14	17	3	571	19	62	0.4	589
2	15	17	3	575	19	67	0.41	589
2	16	17	3	578	18.9	72	0.41	589
3	1	17	3	520	19	0	0	589
3	2	17	3	522	19	4	0	589
3	3	17	3	525	19	9	0	589
3	4	17	3	529	19	14	0.36	589

3	5	17	3	534	19	19	0.41	589
3	6	17	3	538	19	24	0.44	589
3	7	17	3	543	19	28	0.47	589
3	8	17	3	548	19	33	0.49	589
3	9	17	3	553	19	38	0.5	589
3	10	17	3	558	19.1	43	0.51	589
3	11	17	3	562	19	48	0.51	589
3	12	17	3	567	19.1	52	0.52	589
3	13	17	3	572	19	57	0.53	589
4	1	17	3	523	19	0	0	589
4	2	17	3	523	19	4	0	589
4	3	17	3	525	19	9	0	589
4	4	17	3	528	19	14	0.19	589
4	5	17	3	531	18.9	19	0.23	589
4	6	17	3	534	18.9	24	0.26	589
4	7	17	3	537	18.8	28	0.27	589
4	8	17	3	539	18.8	33	0.28	589
4	9	17	3	542	18.8	38	0.29	589
4	10	17	3	545	18.9	43	0.3	589
4	11	17	3	548	18.9	48	0.31	589
4	12	17	3	551	18.9	52	0.31	589
4	13	17	3	554	18.9	57	0.31	589
4	14	17	3	557	18.9	62	0.32	589
4	15	17	3	561	18.8	67	0.32	589
4	16	17	3	564	18.8	72	0.33	589
4	17	17	3	567	18.8	76	0.33	589
4	18	17	3	570	18.8	81	0.33	589
4	19	17	3	573	18.8	86	0.34	589
5	1	17	3	524	18.8	0	0	589
5	2	17	3	551	18.8	4	0	589
5	3	17	3	556	18.8	9	0	589
5	4	17	3	561	18.7	14	1.33	589
5	5	17	3	564	18.7	19	1.04	589
5	6	17	3	568	18.6	24	0.87	589
5	7	17	3	572	18.6	28	0.76	589
5	8	17	3	575	18.5	33	0.69	589
5	9	17	3	579	18.5	38	0.64	589
5	10	17	3	582	18.6	43	0.6	589
5	11	17	3	586	18.6	48	0.56	589
5	12	17	3	589	18.6	52	0.54	589
6	1	17	3	520	18.7	0	0	589
6	2	17	3	522	18.8	4	0	589
6	3	17	3	526	18.8	9	0	589
6	4	17	3	530	18.8	14	0.36	589
6	5	17	3	534	18.8	19	0.4	589
6	6	17	3	539	18.8	24	0.44	589
6	7	17	3	544	18.8	28	0.46	589
6	8	17	3	549	18.8	33	0.49	589
6	9	17	3	555	18.8	38	0.51	589

6	10	17	3	560	18.8	43	0.53	589
6	11	17	3	566	18.8	48	0.54	589
6	12	17	3	572	18.8	52	0.56	589
1	1	17	3	537	18.5	0	0	589
1	2	17	3	537	18.5	4	0	589
1	3	17	3	539	18.6	9	0	589
1	4	17	3	540	18.6	14	0.14	589
1	5	17	3	542	18.6	19	0.16	589
1	6	17	3	545	18.6	24	0.18	589
1	7	17	3	547	18.6	28	0.2	589
1	8	17	3	550	18.6	33	0.22	589
1	9	17	3	552	18.7	38	0.23	589
1	10	17	3	554	18.7	43	0.24	589
1	11	17	3	557	18.7	48	0.24	589
1	12	17	3	560	18.7	52	0.25	589
1	13	17	3	562	18.7	57	0.26	589
1	14	17	3	565	18.8	62	0.26	589
1	15	17	3	567	18.8	67	0.27	589
1	16	17	3	570	18.8	72	0.27	589
1	17	17	3	573	18.8	76	0.27	589
1	18	17	3	576	18.8	81	0.28	589
1	19	17	3	577	18.8	86	0.28	589
1	20	17	3	580	18.8	91	0.28	589
1	21	17	3	583	18.8	96	0.28	589
1	22	17	3	586	18.8	100	0.28	589
2	1	17	3	532	19	0	0	589
2	2	17	3	537	19	4	0	589
2	3	17	3	540	19	9	0	589
2	4	17	3	542	19.1	14	0.38	589
2	5	17	3	544	19.1	19	0.33	589
2	6	17	3	546	19	24	0.3	589
2	7	17	3	548	19.1	28	0.29	589
2	8	17	3	551	19.1	33	0.28	589
2	9	17	3	553	19.1	38	0.28	589
2	10	17	3	555	19.1	43	0.27	589
2	11	17	3	558	19.1	48	0.27	589
2	12	17	3	560	19.1	52	0.27	589
2	13	17	3	563	19.2	57	0.27	589
2	14	17	3	565	19.2	62	0.27	589
2	15	17	3	568	19.2	67	0.28	589
2	16	17	3	570	19.2	72	0.28	589
2	17	17	3	572	19.2	76	0.28	589
2	18	17	3	575	19.2	81	0.28	589
2	19	17	3	577	19.3	86	0.28	589
2	20	17	3	580	19.3	91	0.28	589
2	21	17	3	582	19.3	96	0.28	589
2	22	17	3	585	19.3	100	0.28	589
3	1	17	3	531	19.5	0	0	589
3	2	17	3	528	19.4	4	0	589

3	3	17	3	528	19.4	9	0	589
3	4	17	3	529	19.5	14	-0.07	589
3	5	17	3	530	19.5	19	0	589
3	6	17	3	532	19.5	24	0.06	589
3	7	17	3	535	19.5	28	0.1	589
3	8	17	3	538	19.5	33	0.14	589
3	9	17	3	540	19.5	38	0.16	589
3	10	17	3	543	19.5	43	0.19	589
3	11	17	3	546	19.5	48	0.21	589
3	12	17	3	549	19.4	52	0.23	589
3	13	17	3	552	19.4	57	0.24	589
3	14	17	3	554	19.4	62	0.25	589
3	15	17	3	556	19.5	67	0.25	589
3	16	17	3	559	19.5	72	0.26	589
3	17	17	3	561	19.6	76	0.26	589
3	18	17	3	564	19.6	81	0.27	589
3	19	17	3	567	19.6	86	0.27	589
3	20	17	3	571	19.6	91	0.27	589
3	21	17	3	575	19.5	96	0.28	589
3	22	17	3	578	19.5	100	0.29	589
4	1	17	3	527	19.8	0	0	589
4	2	17	3	527	19.9	4	0	589
4	3	17	3	531	19.9	9	0	589
4	4	17	3	535	19.9	14	0.34	589
4	5	17	3	540	19.9	19	0.4	589
4	6	17	3	545	19.9	24	0.44	589
4	7	17	3	550	19.8	28	0.47	589
4	8	17	3	555	19.8	33	0.49	589
4	9	17	3	559	19.8	38	0.5	589
4	10	17	3	564	19.8	43	0.51	589
4	11	17	3	570	19.9	48	0.52	589
4	12	17	3	574	20	52	0.53	589
5	1	17	3	526	20.2	0	0	589
5	2	17	3	530	20.2	4	0	589
5	3	17	3	532	20.2	9	0	589
5	4	17	3	533	20.2	14	0.29	589
5	5	17	3	535	20.3	19	0.26	589
5	6	17	3	537	20.3	24	0.25	589
5	7	17	3	539	20.3	28	0.24	589
5	8	17	3	542	20.3	33	0.24	589
5	9	17	3	544	20.4	38	0.24	589
5	10	17	3	547	20.4	43	0.25	589
5	11	17	3	548	20.4	48	0.25	589
5	12	17	3	551	20.4	52	0.25	589
5	13	17	3	553	20.4	57	0.25	589
5	14	17	3	556	20.4	62	0.25	589
5	15	17	3	558	20.5	67	0.26	589
5	16	17	3	561	20.5	72	0.26	589
5	17	17	3	563	20.5	76	0.26	589

5	18	17	3	566	20.6	81	0.26	589
5	19	17	3	568	20.6	86	0.26	589
5	20	17	3	571	20.6	91	0.27	589
5	21	17	3	573	20.6	96	0.27	589
5	22	17	3	576	20.6	100	0.27	589
5	23	17	3	578	20.6	105	0.27	589
6	1	17	3	527	20.6	0	0	589
6	2	17	3	523	20.7	4	0	589
6	3	17	3	520	20.7	9	0	589
6	4	17	3	522	20.8	14	-0.21	589
6	5	17	3	526	20.8	19	-0.03	589
6	6	17	3	531	20.9	24	0.1	589
6	7	17	3	537	20.8	28	0.21	589
6	8	17	3	543	20.8	33	0.3	589
6	9	17	3	549	20.9	38	0.37	589
6	10	17	3	556	20.9	43	0.43	589
6	11	17	3	562	20.9	48	0.47	589
6	12	17	3	568	21	52	0.51	589
6	13	17	3	575	21	57	0.54	589

Anexo 05: Cálculo de flujo de CO₂

Camara	Altura da camara (cm)					Vc (m3)	Vd	Cn - C1 tn - t1	Presion (P) (mb)	Temperatura °C	Temperatura K	P t + 273.15
	1	2	3	4	Média							
C1	6.5	6.4	6.8	7.1	6.7	0.00052622	0.0012287	0.54166667	589.00	19.87	293.02	2.0101
C2	7.3	7.8	8.0	7.4	7.625	0.00059887	0.0012287	0.52083333	589.00	19.23	292.38	2.0145
C3	7.5	8.0	8.0	7.6	7.775	0.00061065	0.0012287	0.60416667	589.00	19.51	292.66	2.0126
C4	7.3	8.5	7.8	7.6	7.8	0.00061261	0.0012287	0.97916667	589.00	19.87	293.02	2.0101
C5	6.8	7.1	8.0	6.9	7.2	0.00056549	0.0012287	0.52083333	589.00	20.70	293.85	2.0045
C6	8.0	7.5	8.1	8.3	7.975	0.00062635	0.0012287	1.14583333	589.00	20.86	294.01	2.0033

Área suelo cam m ² (A)	Vd A	Peso molecular CO2 44 g/mol	R	44.01*0.36 R	Fs CO2 g m ⁻² h ⁻¹	Vd + Vc Vd	Fsc CO2 g m ⁻² h ⁻¹	Flujo CO2 umol m ⁻² s ⁻¹	
									R
0.00785	0.15644298	44.01	0.36	8.314	1.90565312	0.3246	1.4283	0.46362371	2.9264
0.00785	0.15644298	44.01	0.36	8.314	1.90565312	0.3128	1.4874	0.46526199	2.9367
0.00785	0.15644298	44.01	0.36	8.314	1.90565312	0.3625	1.4970	0.54265992	3.4253
0.00785	0.15644298	44.01	0.36	8.314	1.90565312	0.5868	1.4986	0.87932958	5.5503
0.00785	0.15644298	44.01	0.36	8.314	1.90565312	0.3112	1.4602	0.45448148	2.8687
0.00785	0.15644298	44.01	0.36	8.314	1.90565312	0.6843	1.5098	1.03318978	6.5215

Anexo 06: Panel fotográfico de las diferentes mediciones en bofedal



Figura 09: Bofedal del Sector Ccalluchani vista al norte



Figura 10: Bofedal del Sector Ccalluchani vista al sur



Figura 11: Analizador de gas de CO₂ modelo (EGM-4)



Figura 12: Punto de medición (P1)



Figura 13: Cámaras de medición (C1 y C2)



Figura 14: Cámaras de medición (C3 y C4)



Figura 15: Cámaras de medición (C5 y C6)



Figura 16: Realizando la programación de en el equipo EGM-4



Figura 17: Colocando la cámara de respiración a las cámaras



Figura 18: Liberando la concentración de CO₂ medido en la anterior medición



Figura 19: Medición de CO₂ del suelo



Figura 20: Observando el cambio de concentración de CO₂



Figura 21: Medición de CO₂, indica concentración, temperatura, tiempo



Figura 22: Cámara de medición y termómetro



Figura 23: Midiendo altura de cámaras para conocer volumen



Figura 24: Midiendo variables ambientales con anemómetro digital

Anexo 07: Análisis de la varianza

Temperature (°C)

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Temperature (°C)	40	0.74	0.71	16.39

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	636.37	4	159.09	24.62	<0.0001
Data	636.37	4	159.09	24.62	<0.0001
Error	226.19	35	6.46		
Total	862.56	39			

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=3.65444

Error: 6.4626 gl: 35

Data	Medias	n	E.E.	
1	22.59	8	0.90	A
2	15.99	8	0.90	B
5	14.70	8	0.90	B
3	13.86	8	0.90	B C
4	10.43	8	0.90	C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Humidity (%RH)

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Humidity (%RH)	40	0.89	0.88	9.41

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	6414.40	4	1603.60	72.34	<0.0001
Data	6414.40	4	1603.60	72.34	<0.0001
Error	775.83	35	22.17		

Total 7190.23 39

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=6.76809

Error: 22.1666 gl: 35

Data	Medias	n	E.E.	
4	69.21	8	1.66	A
5	56.86	8	1.66	B
3	48.01	8	1.66	C
2	44.96	8	1.66	C
1	31.13	8	1.66	D

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Wind SPD (m/s)

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Wind SPD (m/s)	40	0.05	0.00	46.57

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	2.42	4	0.60	0.46	0.7666
Data	2.42	4	0.60	0.46	0.7666
Error	46.31	35	1.32		
Total	48.72	39			

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=1.65347

Error: 1.3230 gl: 35

Data	Medias	n	E.E.	
4	2.76	8	0.41	A
3	2.66	8	0.41	A
2	2.46	8	0.41	A
1	2.41	8	0.41	A
5	2.05	8	0.41	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

BARO (hPa)

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
BARO (hPa)	40	0.09	0.00	1.28

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	204.03	4	51.01	0.91	0.4670
Data	204.03	4	51.01	0.91	0.4670
Error	1954.65	35	55.85		
Total	2158.68	39			

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=10.74279

Error: 55.8471 gl: 35

Data	Medias	n	E.E.	
1	587.81	8	2.64	A
2	583.88	8	2.64	A
4	583.71	8	2.64	A
3	583.60	8	2.64	A
5	580.73	8	2.64	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

ILLUM (lx)

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
ILLUM (lx)	40	0.48	0.43	48.04

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	5376378219.85	4	1344094554.96	8.21	0.0001
Data	5376378219.85	4	1344094554.96	8.21	0.0001
Error	5727818898.13	35	163651968.52		

Total 11104197117.98 39

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=18389.82468

Error: 163651968.5179 gl: 35

Data	Medias	n	E.E.		
1	46768.50	8	4522.89	A	
4	29657.63	8	4522.89	A	B
5	25445.75	8	4522.89		B
2	18272.63	8	4522.89		B
3	12989.13	8	4522.89		B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

pH

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
pH	40	0.49	0.44	6.77

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	5.09	4	1.27	8.51	0.0001
Data	5.09	4	1.27	8.51	0.0001
Error	5.23	35	0.15		
Total	10.32	39			

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.55573

Error: 0.1494 gl: 35

Data	Medias	n	E.E.		
1	6.23	8	0.14	A	
5	5.98	8	0.14	A	B
4	5.67	8	0.14		B C
3	5.43	8	0.14		B C
2	5.24	8	0.14		C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)