

UNIVERSIDAD PRIVADA SAN CARLOS

FACULTAD DE INGENIERÍAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL



TESIS

**RESERVA DE CARBONO Y EMISIÓN DE DIÓXIDO DE CARBONO DEL
BOFEDAL EN EL SECTOR VIZCACHANI, DISTRITO DE CAPASO, EL**

COLLAO - 2022

PRESENTADA POR:

MAURO MAMANI MAMANI

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/)



12.57%

SIMILARITY OVERALL

SCANNED ON: 7 AUG 2024, 5:33 PM

Similarity report

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

● IDENTICAL
2.83%

● CHANGED TEXT
9.74%

Report #22365531

MAURO MAMANI MAMANI RESERVA DE CARBONO Y EMISIÓN DE DIÓXIDO DE CARBONO DEL BOFEDAL EN EL SECTOR VIZCACHANI, DISTRITO DE CAPASO, EL COLLAO - 2022 RESUMEN La medición de los flujos de dióxido de carbono (CO₂) en la biosfera es importante debido al aumento de gases de efecto invernadero en la atmósfera relacionado con el cambio climático. Con el objetivo de determinar las reservas de carbono y emisiones de dióxido de carbono del suelo en el bofedal del sector Vizcachani. El área de estudio fue de 7.26 ha; se recolectaron muestras de suelo del bofedal a una profundidad de (0-10 cm). Para determinar el contenido de COS y densidad aparente para ello se tomó una muestra para cada parámetro, con tres repeticiones por punto. Las muestras se analizaron en el Laboratorio de suelos Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional del Altiplano, la densidad aparente se determinó mediante el método del cilindro (volumen conocido) en g/cm³ y el carbono orgánico mediante el método de Walkley & Black. El resultado para el almacenamiento de carbono fue menor en época seca 52.82 TC/ha (0-10 cm) y mayor en época lluviosa 73.13 tC/ha (0-10 cm), la cantidad de dióxido de carbono capturado 193.68 TCO₂/ha en época seca y 268.14 TCO₂/ha en época lluviosa. Las emisiones de CO₂ del suelo, en la época (2.48 ± 0.7 7 mol CO₂ m⁻² s⁻¹) fue menor que en la época lluviosa (6.65 ± 2.2 0 mol CO₂ m⁻² s⁻¹). La emisión de CO₂ del suelo tiene una

Yudy Roxana ALANIA LAQUI

Oficina de Repositorio Institucional

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

**RESERVA DE CARBONO Y EMISIÓN DE DIÓXIDO DE CARBONO DEL
BOFEDAL EN EL SECTOR VIZCACHANI, DISTRITO DE CAPASO, EL
COLLAO - 2022**

PRESENTADA POR:

MAURO MAMANI MAMANI

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

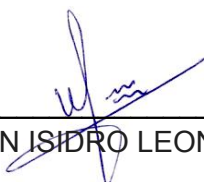
INGENIERO AMBIENTAL

APROBADA POR EL SIGUIENTE JURADO:

PRESIDENTE

: 
Mg. ELVIRA ANANI DURAND GOYZUETA

PRIMER MIEMBRO

: 
Dr. ESTEBAN ISIDRO LEON APAZA

SEGUNDO MIEMBRO

: 
Mg. KATIA ELIZABETH ANDRADE LINAREZ

ASESOR DE TESIS

: 
Mg. JULIO WILFREDO CANO OJEDA

Área: Ingeniería, Tecnología

Sub Área: Ingeniería Ambiental

Línea de investigación: Ciencias Ambientales.

Puno, 12 de agosto del 2024

DEDICATORIA

A Dios quien con amor me guía, protege y bendice cada día para cumplir mis objetivos personales y profesionales.

A mis queridos padres, quienes desde más allá me siguen iluminando con su amor y gratitud para hacer realidad mis sueños.

A mi esposa Milagros y mi hijo Yehison, por acompañarme en todos los momentos difíciles, por sus palabras de aliento día a día, su apoyo incondicional y paciencia

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Privada San Carlos, a la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental y su plana docente por todos los conocimientos compartidos por contribuir en mi formación profesional.

ÍNDICE GENERAL

| | Pág. |
|-------------------|------|
| DEDICATORIA | 1 |
| AGRADECIMIENTOS | 2 |
| ÍNDICE GENERAL | 3 |
| ÍNDICE DE TABLAS | 6 |
| ÍNDICE DE FIGURAS | 7 |
| ÍNDICE DE ANEXOS | 9 |
| 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 | 16 |
| 1.1.2. Problemas específicos | 16 |
| 1.2. ANTECEDENTES | 16 |
| 1.2.1. A nivel internacional | 16 |
| 1.2.2. A nivel nacional | 17 |
| 1.2.3. A nivel local o regional | 18 |
| 1.3. OBJETIVOS | 19 |
| 1.3.1. Objetivo general | 19 |
| 1.3.2. Objetivos específicos | 19 |

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO, CONCEPTUAL E HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

| | |
|---------------------------------------|-----------|
| 2.1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL | 21 |
|---------------------------------------|-----------|

| | |
|---------------------------------------------------------------|-----------|
| 2.1.1. Gases de efecto invernadero | 21 |
| 2.1.2. El ciclo del carbono terrestre | 21 |
| 2.1.3. Emisión de dióxido de carbono | 21 |
| 2.1.4. Ecosistema bofedal | 22 |
| 2.1.5. Procesos ecológicos en los bofedales | 22 |
| 2.1.6. Servicios ecosistémicos que proporcionan los bofedales | 23 |
| 2.1.7. Amenazas a los bofedales | 23 |
| 2.1.8. Degradación de bofedales | 23 |
| 2.1.9. Analizador de gases | 23 |
| 2.2. MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL | 24 |
| 2.2.1. Cambio climático | 24 |
| 2.2.2. Suelo | 24 |
| 2.2.3. Carbono orgánico del suelo (COS) | 24 |
| 2.2.4. Materia orgánica del suelo (MO) | 24 |
| 2.2.5. Captura de carbono | 25 |
| 2.3. HIPÓTESIS | 25 |
| 2.3.1 Hipótesis general | 25 |
| 2.3.2. Hipótesis específicas | 25 |
| CAPÍTULO III | |
| METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN | |
| 3.1. ZONA DE ESTUDIO | 26 |
| 3.2. TAMAÑO DE MUESTRA | 27 |
| 3.2.1. Población | 27 |
| 3.2.2. Muestra | 27 |
| 3.3. MÉTODOS Y TÉCNICAS | 27 |
| 3.3.1. Carbono orgánico del suelo (COS) | 28 |
| 3.3.2. Calcular la densidad aparente del suelo | 28 |
| 3.3.3. Cálculo de las reservas de carbono almacenado en suelo | 29 |

| | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 3.3.4. Estimación del stock de dióxido de carbono del suelo | 29 |
| 3.3.5. Medición de indicadores de campo | 30 |
| 3.3.6. Monitoreo de emisiones de CO ₂ | 30 |
| 3.3.7. Variables micro meteorológicas del suelo | 31 |
| 3.4. IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES DE ESTUDIO | 32 |
| 3.5. MÉTODO O DISEÑO ESTADÍSTICO | 32 |
| CAPÍTULO IV | |
| EXPOSICIÓN Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS | |
| 4.1. ESTIMACIÓN DE LA RESERVA DE CARBONO Y DIÓXIDO DE CARBONO DEL BOFEDAL DEL SECTOR VIZCACHANI | 33 |
| 4.1.1. Temperatura del suelo | 36 |
| 4.1.2. Variables atmosféricas | 37 |
| 4.2. CUANTIFICACIÓN DEL DIÓXIDO DE CARBONO EMITIDO DURANTE LA ESTACIÓN LLUVIOSA Y SECA POR EL BOFEDAL DEL SECTOR VIZCACHANI | 41 |
| 4.3. RELACIÓN DE LAS VARIABLES AMBIENTALES CON LA EMISIÓN DE DIÓXIDO DE CARBONO DURANTE LA ESTACIÓN LLUVIOSA Y SECA EN EL BOFEDAL DEL SECTOR VIZCACHANI | 44 |
| CONCLUSIONES | 46 |
| RECOMENDACIONES | 47 |
| BIBLIOGRAFÍA | 48 |
| ANEXOS | 56 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | Pág. |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| Tabla 01: Leyenda estructurada para el Mapa Nacional de Ecosistemas del Perú | 22 |
| Tabla 02: Unidades del Mapa Nacional de Ecosistemas y su superficie (ha) | 22 |
| Tabla 03: Sitios de medición y muestreo en el bofedal del sector Vizcachani | 27 |
| Tabla 04: Operacionalización de variables de investigación | 32 |
| Tabla 05: Reserva de carbono (TC/ha) y dióxido de carbono (TCO ₂ /ha) del bofedal del sector Vizcachani. | 33 |
| Tabla 06: Las condiciones ambientales en el bofedal del área Vizcachani durante los períodos de sequía y lluvia. | 37 |
| Tabla 07: Propiedades del suelo en bofedal del sector Vizcachani en la época seca y lluviosa. | 39 |
| Tabla 08: Correlación de Pearson entre las variables analizadas (Índice de significancia, p-valor < 0.05) en períodos seco y lluvioso. | 44 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | Pág. |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| Figura 01: Localización del área de estudio mostrando los puntos de muestreo (P1, P2, P3 y P4) | 26 |
| Figura 02: Las reservas de carbono almacenado del suelo en toneladas por hectárea. | 35 |
| Figura 03: Temperatura del suelo en época seca a) y época lluviosa (b; las barras representan las medias diarias y desviación estándar. | 36 |
| Figura 04: Nivel de la napa freática en el bofedal del sector Vizcachani en época seca y lluviosa | 38 |
| Figura 05: Emisiones de CO ₂ diaria por puntos de muestreo | 41 |
| Figura 06: Diferencia de emisión de CO ₂ en época seca y lluviosa. | 42 |
| Figura 07: Relación entre la emisión de CO ₂ del suelo y la temperatura del suelo en bofedales altoandinos. | 45 |
| Figura 08: Bofedal del sector Vizcachani en época seca | 68 |
| Figura 09: Equipos utilizados para medición de CO ₂ e variables ambientales | 68 |
| Figura 10: Equipos utilizados en medición de flujo de CO ₂ | 69 |
| Figura 11: Medición de variables ambientales en bofedal | 69 |
| Figura 12: Medición de temperatura del suelo | 70 |
| Figura 13: Medición y registro de temperatura, humedad, velocidad del viento, presión e iluminación del aire | 70 |
| Figura 14: Registro de diferentes variables ambientales | 71 |
| Figura 15: Medición de altura de las cámaras de flujo de CO ₂ | 71 |
| Figura 16: Cámaras utilizadas para medición de flujo de CO ₂ | 72 |
| Figura 17: Equipo EGM-4 | 72 |
| Figura 18: Medición de concentración de CO ₂ del suelo | 73 |
| Figura 19: Programación del equipo EGM-4 antes de la medición | 73 |
| Figura 20: Liberación de aire acumulado en medición anterior | 74 |
| Figura 21: Colocando equipo de medición de CO ₂ a los tubos de PVC | 74 |

| | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 22: Limpiando terreno para muestreo en cilindros para densidad aparente | 75 |
| Figura 23: Cilindros me muestreo para densidad aparente | 75 |
| Figura 24: Muestreadores inseridos al suelo | 76 |
| Figura 25: Muestreo de suelo y raíces para procesar en el laboratorio | 76 |
| Figura 26: Panel fotográfico época lluviosa | 77 |
| Figura 27: Bofedal del sector Vizcachani en época lluviosa | 77 |
| Figura 28: Insertando los tubos de PVC para medición de flujo de CO ₂ | 77 |
| Figura 29: Medición distancia del tubo para muestrear | 78 |
| Figura 30: Medición de pH del suelo | 78 |
| Figura 31: Tubos de PVC utilizados para medición de flujo de CO ₂ | 79 |
| Figura 32: Programando el equipo EGM-4 para medición | 79 |
| Figura 33: Liberando CO ₂ concentrado en medición anterior | 80 |
| Figura 34: Inserindo equipo EGM-4 para medición de concentración de CO ₂ | 80 |
| Figura 35: Equipo EGM-4 | 81 |
| Figura 36: Medición de flujo de CO ₂ | 81 |
| Figura 37: Medición de variables ambientales del aire con anemometro | 82 |
| Figura 38: Medición de pH del suelo | 82 |
| Figura 39: Medición de altura de tubos de PVC | 83 |
| Figura 40: Medición de altura del agua | 83 |
| Figura 41: Muestreo de suelos | 84 |
| Figura 42: Guardando suelos para ser analizado en laboratorio | 84 |
| Figura 43: Muestras de raíz y pesado en laboratorio | 85 |
| Figura 44: Muestras para medición y cálculo de densidad aparente | 85 |
| Figura 45: Procesamiento y pesado de muestras | 86 |
| Figura 46: Equipo de secado de muestras | 86 |
| Figura 47: Muestras para materia seca | 87 |
| Figura 48: Muestras en estufa para materia seca | 87 |

ÍNDICE DE ANEXOS

| | Pág. |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| Anexo 01: Matriz de consistencia: RESERVA DE CARBONO Y EMISIÓN DE DIÓXIDO DE CARBONO DEL BOFEDAL EN EL SECTOR VIZCACHANI, DISTRITO DE CAPASO, EL COLLAO - 2022 | 57 |
| Anexo 02: Datos de medición de un punto de muestreo por EGM-4 | 58 |
| Anexo 03: Gráfico lineal de concentración de CO ₂ medido por EGM-4, en un día de medición | 61 |
| Anexo 04: Gráfico lineal de concentración de CO ₂ medido por EGM-4, en un punto de medición (seis cámaras de medición) | 61 |
| Anexo 05: Cálculo de flujo de CO ₂ del suelos en bofedal del sector Vizcachani - Capaso | 62 |
| Anexo 06: Análisis de varianza de días de muestreo de CO ₂ | 62 |
| Anexo 07: Análisis de varianza de CO ₂ en época seca y lluviosa | 63 |
| Anexo 08: Cálculos de contenido de carbono por hectárea (TC/ha) y captura de dióxido de carbono (TCO ₂ /ha) en suelo en época seca | 64 |
| Anexo 09: Cálculos de contenido de carbono por hectárea (TC/ha) y captura de dióxido de carbono (TCO ₂ /ha) en suelo en época lluviosa | 64 |
| Anexo 10: Mapa de ubicación de los bofedales | 65 |
| Anexo 11: Ciclo del carbono (C) en humedales | 66 |
| Anexo 12: Modo de muestreo para la medición de la densidad aparente | 66 |
| Anexo 13: Componentes orgánicos presentes en el suelo | 67 |
| Anexo 14: Analizador de gases infrarrojo (PP-Systems EGM-4), cámara de respiración (SC-1 sistema IRGA) | 67 |
| Anexo 15: Panel fotográfico época seca | 68 |

| | |
|-------------------------------------------------------------------|----|
| Anexo 16: Resultado de análisis de suelo en época seca | 88 |
| Anexo 17: Resultado de análisis de suelo en época lluviosa | 89 |

RESUMEN

La medición de los flujos de dióxido de carbono (CO_2) en la biosfera es importante debido al aumento de gases de efecto invernadero en la atmósfera relacionado con el cambio climático. Con el objetivo de determinar las reservas de carbono y emisiones de dióxido de carbono del suelo en el bofedal del sector Vizcachani. El área de estudio fue de 7.26 ha; se recolectaron muestras de suelo del bofedal a una profundidad de (0-10 cm). Para determinar el contenido de COS y densidad aparente para ello se tomó una muestra para cada parámetro, con tres repeticiones por punto. Las muestras se analizaron en el Laboratorio de suelos Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional del Altiplano, la densidad aparente se determinó mediante el método del cilindro (volumen conocido) en g/cm^3 y el carbono orgánico mediante el método de Walkley & Black. El resultado para el almacenamiento de carbono fue menor en época seca 52.82 TC/ha (0-10 cm) y mayor en época lluviosa 73.13 tC/ha (0-10 cm), la cantidad de dióxido de carbono capturado 193.68 TCO_2/ha en época seca y 268.14 TCO_2/ha en época lluviosa. Las emisiones de CO_2 del suelo, en la época ($2.48 \pm 0.77 \text{ mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) fue menor que en la época lluviosa ($6.65 \pm 2.20 \text{ mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$). La emisión de CO_2 del suelo tiene una correlación significativa y positivamente con la humedad relativa, iluminación y temperatura del suelo; mostrando un gran potencial de secuestro de carbono en los bofedales, contribuyendo al servicio ambiental; es vital crear y ampliar iniciativas de conservación de bofedales por su capacidad de almacenar carbono en las zonas altoandinas.

Palabras claves: Bofedal, Carbono, Dióxido de carbono, Emisión, Suelo.

ABSTRACT

Measuring carbon dioxide (CO₂) fluxes in the biosphere is important because of the increase in greenhouse gases in the atmosphere related to climate change. With the objective of determining carbon stocks and carbon dioxide emissions from the soil in the Vizcachani wetlands. The study area was 7.26 ha; Soil samples from the bofedal were collected at a depth of (0-10 cm). To determine the COS content and apparent density for this, a sample was taken for each parameter, with three repetitions per point. The samples were analyzed in the Soil Laboratory of the Faculty of Agrarian Sciences of the National University of the Altiplano, the bulk density was determined by the cylinder method (known volume) in g/cm³ and organic carbon by the Walkley & Black method. The result for carbon storage was lower in the dry season 52.82 TC/ha (0-10 cm) and higher in the rainy season 73.13 TC/ha (0-10 cm), the amount of carbon dioxide captured 193.68 TCO₂/ ha in the dry season and 268.14 TCO₂/ha in the rainy season. The CO₂ emissions from the soil during the season ($2.48 \pm 0.77 \text{ mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) were lower than in the rainy season ($6.65 \pm 2.20 \text{ mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$). Soil CO₂ emission has a significant and positive correlation with relative humidity, illumination and soil temperature, showing a great potential for carbon sequestration in the wetlands, contributing to the environmental service; it is vital to create and expand wetland conservation initiatives for their ability to store carbon in the high Andean zones.

Keywords: Bofedal, Carbon, Carbon dioxide, Emission, Soil.

INTRODUCCIÓN

En los últimos años se ha prestado atención al aumento de la temperatura de la tierra debido al aumento de la concentración de gases de efecto invernadero (GEI) como el dióxido de carbono (CO_2) y el metano (CH_4), surge el interés de realizar investigaciones sobre las fuentes y sumideros de estos gases atmosféricos (Becerra, 2021).

Los suelos son reservorios de gases de efecto invernadero (GEI), que desempeñan un papel enorme en los ciclos biogeoquímicos del carbono en la biosfera terrestre (IPCC, 2007). Sin embargo, los suelos también emiten dióxido de carbono (CO_2) a través de la respiración autotrofa y heterotrofa. El calentamiento de las temperaturas, los cambios en el hidroclima y los cambios en los patrones de circulación atmosférica afectan la dinámica y la hidrología de los bofedales, así también, alteran los servicios ecosistémicos como la captura de carbono (Anderson et al., 2021).

Una mejor comprensión de la dinámica de dióxido de carbono (CO_2) en el suelo ayuda a comprender los bofedales altoandinos en cuanto a su papel como fuente o sumidero de carbono y ayudar a aclarar las interacciones entre el suelo y la atmósfera. Comprender la dinámica de los flujos de gases en el sistema suelo es fundamental, además del desarrollo de estrategias de una relación entre los parámetros de la estructura del bofedal y la respiración para estimar las tasas de respiración del suelo. Con ello contribuye a una mejor gestión del uso sostenible de los recursos naturales y un mayor conocimiento sobre la emisiones de GEI del suelo.

Un ejemplo de esto son los bofedales altoandinos, que ha acumulado grandes cantidades de carbono orgánico a lo largo de los años y ha comenzado a cambiar su régimen de almacenamiento de carbono para convertirse en una fuente potencial de emisiones de gases de efecto invernadero debido a diversos tipos de perturbaciones. A pesar de su importancia, existe una gran incertidumbre sobre las emisiones de estos ecosistemas, lo que impacta directamente en el inventario de monitoreo de gases de efecto invernadero del país.

Los bofedales altoandinos son conocidos por su servicio ambiental de captura y almacenamiento de carbono en sus suelos, por lo que este estudio prioriza áreas vulnerables a los efectos del cambio climático.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA, ANTECEDENTES Y OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En las últimas décadas, el aumento de la concentración de gases de efecto invernadero (GEI), como el dióxido de carbono (CO_2), el metano (CH_4) y el óxido nitroso (N_2O), han promovido un cambio climático que ha tenido un gran impacto en los sistemas naturales en todos los continentes y océanos (IPCC, 2014). En ese escenario, los suelos pueden contribuir al equilibrio de CO_2 . El suelo se considera portador de infraestructura y medio de producción agrícola, pero los servicios ambientales que brinda son poco valorados y no reconocidos. Sobre todo, la captura y almacenamiento de carbono (C) ha sido foco de interés científico debido a la gran capacidad de almacenamiento del suelo (Ayala et al., 2018).

Los suelos se comportan como fuente y sumidero de gases de efecto invernadero (GEI) (Oertel et al., 2016). La magnitud del flujo de CO_2 puede variar mucho en el espacio y el tiempo debido a la variabilidad del suelo (Warner et al., 2018). El flujo de CO_2 del suelo contribuye a las emisiones de gases de efecto invernadero y depende de la topografía, la calidad del suelo, las características de la vegetación y el uso del suelo (Lopera, 2019).

El CO_2 liberado en la superficie del suelo se produce de forma natural a través de la actividad y respiración de los microorganismos, durante la descomposición aeróbica de la materia orgánica y la respiración del sistema radicular de las plantas (Formiga et al., 2017). La salida de CO_2 del suelo tiene una fuerte relación con la humedad del suelo, lo que puede explicar las variaciones estacionales en el flujo de CO_2 en el ecosistema

(Souza et al., 2017). En la actualidad, una gran cantidad de suelos que solían ser sumideros de gases de efecto invernadero (GEI), están experimentando un cambio en su comportamiento al almacenar carbono y convertirse en una fuente de CO₂.

Dado lo anterior, considerando que la respiración del suelo puede presentar gran variación en el tiempo y el espacio dentro de un ecosistema y que este proceso está influenciado, principalmente por la acción antrópica, a través del uso y manejo de los suelos. Los suelos de los bofedales altoandinos actualmente sufren los impactos del cambio climático, el uso y manejo inadecuado y sumado la escasez de agua está contribuyendo a al desequilibrio hídrico de estos ecosistemas. Por ello, es primordial comprender la dinámica de carbono en los bofedales.

En esta situación, nuestro objetivo es responder a las siguientes preguntas de investigación:

1.1.1. Problema general

¿Cuánto será la reserva de carbono y emisión de dióxido de carbono del bofedal en el sector Vizcachani, distrito de Capaso, El Collao - 2022?

1.1.2. Problemas específicos

- ¿Cuánto será la cantidad de reserva de carbono y dióxido de carbono existente en el bofedal del sector Vizcachani?
- ¿Qué cantidad de dióxido de carbono emite en la estación lluviosa y seca en el bofedal del sector Vizcachani?
- ¿Cómo se correlacionan las variables ambientales con la emisión de dióxido de carbono en estación lluviosa y seca en el bofedal del sector vizcachani?

1.2. ANTECEDENTES

1.2.1. A nivel internacional

Según Becerra (2021) Para explicar los factores que más influyen en estas fluctuaciones, ha utilizado tres tipos de cobertura en su investigación en Colombia. Hubo diferencias significativas en el flujo de CO₂ entre las tres capas, y el valor promedio de CO₂ en la cuenca hidromórfica fue de $20 \pm 0,40 \text{ mgC/m}^2\cdot\text{s}$. El tipo de recubrimiento, la temperatura

del suelo y el pH describen alrededor del 36,7 % de las variaciones de flujo del CO₂ para los factores que tienen un impacto significativo en las fluctuaciones de flujo.

En una revisión de la literatura existente sobre el almacenamiento y el flujo de carbono en los humedales de agua dulce de México. Los suelos de bosques inundados tienen los depósitos de carbono más altos (150 MgC ha⁻¹ a 650 MgC ha⁻¹). Solo se registraron datos para Veracruz para el flujo de carbono medido como desechos forestales inundables (6 Mg Cha⁻¹ año⁻¹ a 9 MgC ha⁻¹ año⁻¹). Los flujos de dióxido de carbono en Veracruz son de 1244 mg Cm⁻²d⁻¹ y 11 g Cm⁻²d⁻¹ en Tabasco, respectivamente. En humedales convertidos en praderas, las emisiones de dióxido de carbono aumentan hasta 10 veces. Se necesita legislación para proteger el almacenamiento de carbono de estos ecosistemas (Hernández et al., 2018).

En el estudio de Luna et al. (2023) reportan valores de flujos medios de CO₂ van de un mínimo de 6.31 hasta un máximo de a 8.86 μmol CO₂ m⁻² s⁻¹, los valores más altos y bajos de temperatura del suelo se presentaron en referencia y post incendio, por último, la humedad del suelo promedio fue de 44%. Debido, aparentemente, a las mínimas variaciones de temperatura durante el día, la variación diaria del flujo de CO₂ del suelo fue menos significativa que la variación espacial y estacional. Para comprender mejor la variación anual del flujo de CO₂ del suelo, es importante considerar las estaciones de transición, que son comunes en muchos bosques tropicales secos.

1.2.2. A nivel nacional

Según Aponte et al. (2021) indica que algunos estudios han demostrado que los humedales costeros son los principales sumideros de carbono. Como resultado se ha encontrado que el carbono almacenado en el humedal Pantanos de Villa Ramsar (Lima) puede almacenar 2,21 x 10⁻⁵ petagramos de carbono, esto corresponde a 8,12x10⁻⁵ petagramos de dióxido de carbono secuestrado. En cuanto al carbono del suelo, la cantidad mayor cantidad fue de 0 a 10 cm, y menor en 10 a 20 cm.

Luccini et al. (2018) resaltan la capacidad de una variedad de especies vegetales para capturar y almacenar CO₂ en la atmósfera es un parámetro importante evaluar en el

actual escenario del cambio climático global. En su investigación, evalúan y comparan la cantidad y la calidad de la flora nativa en tres regiones muy diversas de Perú, de las cuales algunas comparten especímenes en común. Estas regiones incluyen el humedal costero de Villa María, el Lago Titicaca, delimitaron áreas representativas ocupadas homogéneamente por cada especie mostrando los siguientes valores de cantidad de dióxido de carbono capturado abarcan desde 44 tCO₂/ha en la especie gramínea hinea del humedal costero hasta 644 tCO₂/ha en árboles grandes de la selva amazónica.

Huaman (2022) estudió los efectos del cambio climático en las reservas de carbono en los bofedales altoandinos, los resultados muestran evidencia de los cambios en las tasas de acumulación de carbono y el cambio climático regional, especialmente en los últimos 2.500 años hasta la fecha. Durante un período llamado Anomalía Climática Medieval, de 1040 a 1300 d. C., debido a la disminución de la capa freática, el clima seco redujo la acumulación de carbono, lo que resultó en una disminución en la producción de materia orgánica, lo que resultó en picos negativos en la concentración de carbono.

Los objetivos principales del proyecto de investigación fueron determinar los efectos de la materia orgánica y las fluctuaciones temporales en las emisiones de dióxido de carbono de las poblaciones bacterianas en los suelos agrícolas en Junín, la metodología para la respiración del suelo fue por el método de incubación-titulación. Las fluctuaciones en las emisiones de CO₂ están asociadas con la respiración del suelo, y el tratamiento E1 con estiércol de vaca arrojó los siguientes resultados de la concentración de 15.68, 15.67, 15.93, 16.07 y 15.99 mg.C.CO₂/Kg (Torres, 2015).

1.2.3. A nivel local o regional

Según Mamani (2017) en su estudio, que busca estimar las emisiones de gases de efecto invernadero en la bahía interior de la ciudad de Puno utilizando monitoreos de CO₂ y CH₄ utilizando la biodegradabilidad anaeróbica de muestras de lodos. Los parámetros de pH no tienen ningún impacto en las emisiones de gases de efecto invernadero, que se mantienen en un promedio de 6,20. Por otro lado, dado que se obtuvo el nivel de significancia de 0.162, se puede afirmar que la temperatura tiene alguna relación con la

producción de CO₂ y CH₄. En otras palabras, a medida que aumentan las temperaturas, también lo hace la producción de gases de efecto invernadero.

Mamani y Mamani (2019) en su tesis realizada en el distrito de Putina en ecosistema de Puya de Raimondi, pajonal con chillihuales y bofedal, evaluó Da, MO y COS con muestreó en 09 puntos aleatorios en 03 profundidades de 0-10, 20-30 y 30-60 cm. Los resultados muestran que no hay diferencia significativa entre los tres puntos de muestreo, pero si hay diferencia significativa en las profundidades. Entonces, el bofedal (501.96 TCO₂/ha) tuvo la mayor captura de carbono, seguido del pajonal con chillihuales (442.05 TCO₂/ha) y la menor captura fue en puyas de Raimondi (187.68 TCO₂/ha).

Un estudio de investigación realizado en Puno sobre un sistema agroforestal con café y suelo con pastura recibió 5 puntos aleatoriamente y se repitió dos veces para cada sistema. Se utilizó la metodología de Rosenzweig y Hillel para estimar el carbono orgánico del suelo (COS). El sistema a base de café tuvo mayor secuestro de carbono que el suelo a base de pastura, por lo que hubo una diferencia significativa en los resultados de contenido de carbono orgánico entre los dos sistemas. Así mismo, ocurre al caracterizar el suelo entre el sistema y la profundidad cuando hay una diferencia significativa. De los estudios realizados se concluyó que hubo una diferencia significativa entre los sistemas de café y pastura, ya que el carbono orgánico del suelo de café fue de 108,6 tc/ha y el carbono orgánico de la pastura fue de 38,3 TC/ha (Enriquez, 2018).

1.3. OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo general

Evaluar las reservas de carbono y emisiones de dióxido de carbono del bofedal del sector Vizcachani, distrito de Capaso, El Collao – 2022

1.3.2. Objetivos específicos

- Estimar la reserva de carbono y dióxido de carbono del bofedal del sector Vizcachani;
- Cuantificar el dióxido de carbono emitido durante la estación lluviosa y seca por el bofedal del sector Vizcachani;
- Correlacionar las variables ambientales con la emisión de dióxido de carbono en

estación lluviosa y seca en el bofedal del sector vizcachani.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO, CONCEPTUAL E HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

2.1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

2.1.1. Gases de efecto invernadero

Uno de los determinantes del cambio climático es la concentración de gases de efecto invernadero (GEI) en la atmósfera (Becerra, 2021) indica que tienen la capacidad de atrapar la radiación solar que llega a la superficie terrestre, el vapor de agua, el dióxido de carbono (CO_2), el metano (CH_4), el óxido nitroso (N_2O), entre otros gases. El dióxido de carbono es la fuente principal y las emisiones antropogénicas están asociadas principalmente con la quema de combustibles fósiles, los residuos de biomasa y los cambios en el uso del suelo (IPCC, 2007).

2.1.2. El ciclo del carbono terrestre

Todos los seres vivos participan en el ciclo del carbono: los humanos y los animales lo liberan al respirar, las plantas lo absorben a través de la fotosíntesis y se almacena como combustible fósil cuando se descompone (Anexo 11). Estas reservas se encuentran en la atmósfera, hidrosfera, biosfera y litosfera (Martín-Chivelet, 2010).

2.1.3. Emisión de dióxido de carbono

La respiración del suelo es un flujo de carbono de los ecosistemas terrestres a la atmósfera, y pequeños cambios en la respiración del suelo pueden afectar significativamente el ciclo global del carbono (C). El cambio de vegetación puede afectar directamente la respiración del suelo (Shi et al., 2020).

2.1.4. Ecosistema bofedal

El bofedal es un ecosistema hidromórfico con plantas herbáceas hidrofílicas que se encuentra en los Andes donde las plantas herbáceas hidrofílicas se encuentran en suelos planos, depresiones o ligeramente inclinados que están constantemente inundados o llenos de agua corriente (Anexo 10). La flora es abundante y compacta, con un aspecto constante de verde, con forma de almohada o en forma de cojín (MINAM, 2019a).

Tabla 01: Leyenda estructurada para el Mapa Nacional de Ecosistemas del Perú

| REGIÓN NATURAL | BIOCLIMA (MACRO PROVINCIA DE HUMEDAD) | FISONOMÍA (FORMACIÓN VEGETAL) | FISIOGRAFÍA | ECOSISTEMA |
|-------------------|---------------------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------------|------------|
| Andina | Humedad/superhúmed o | Plantas cojín (almohadillas) | Montaña (altiplanicies y laderas) | Bofedal |

Fuente: (MINAM, 2019b)

Tabla 02: Unidades del Mapa Nacional de Ecosistemas y su superficie (ha)

| REGIÓN | ECOSISTEMA | SIMBOLOGÍA | SUPERFICIE | |
|--------|------------|------------|------------|------|
| | | | ha | % |
| Andina | Bofedal | Bo | 548,174.41 | 0.42 |

Fuente: (MINAM, 2019b)

2.1.5. Procesos ecológicos en los bofedales

La acumulación de turba se produce cuando el material vegetal muerto se introduce en el suelo a un ritmo superior al de su descomposición y mineralización. Cuando el nivel freático está cerca de la superficie de la tierra y el suelo está saturado, la disponibilidad de oxígeno en el suelo se reduce y se promueve la descomposición anaeróbica, lo que ralentiza el proceso de descomposición. Las variaciones en la composición de las plantas

suelen estar relacionadas con cambios en las condiciones del suelo y el agua (MINAM, 2019a).

2.1.6. Servicios ecosistémicos que proporcionan los bofedales

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

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

2.1.7. Amenazas a los bofedales

Las principales amenazas que existen en los humedales en el Perú son aquellas amenazas que pueden degradar las áreas de los bofedales como: La ganadería, los cambios en el suministro y la cantidad de agua que alimenta a los humedales, la recolección de turba son las principales amenazas para los humedales, los cambios en la calidad de los humedales de suministro de agua y la quema (MINAM, 2019a).

2.1.8. Degradación de bofedales

Un ecosistema degradado es aquel en el que algunos de los factores de producción (componentes esenciales) se han perdido total o parcialmente, la estructura y la función han cambiado y disminuyendo la capacidad de proporcionar bienes y servicios como la captura y almacenamiento de carbono (MINAM, 2019a).

2.1.9. Analizador de gases

Las mediciones de la respiración del suelo (R_s) se realizan utilizando un analizador de gas de CO_2 infrarrojo acoplado a una cámara cerrada (EGM-4 e SRC-1 chamber, PP Systems, Hitchin, U.K.) (Anexo 14) (Metcalf et al., 2007), basado en sobre la absorción

de radiación en la banda infrarroja ($\lambda > 0,7 \text{ mm}$) por parte del CO_2 . La respiración del suelo toma la forma de un flujo obtenido a través de una cámara fija en el suelo, donde la concentración de CO_2 aumenta con el tiempo debido a la circulación de aire, generada por el ventilador de la cámara, en un volumen de control cerrado. R_s se calcula como la tasa de cambio de la concentración de CO_2 dentro del volumen de control de la cámara por unidad de tiempo y área sobre la región cubierta por la cámara (PP-Systems, 2010).

2.2. MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL

2.2.1. Cambio climático

La Tierra está pasando por un período de cambios climáticos tales como: cambios en los patrones de lluvia y patrones de sequía, desertificación, derretimiento de los glaciares, aumento del nivel del mar, etc. Uno de los fenómenos más notables de este gráfico es el aumento de las temperaturas medias del planeta, lo que da lugar a este conjunto de eventos también conocido como calentamiento global (IPCC, 2014).

2.2.2. Suelo

Minerales, materia orgánica, microorganismos vegetales y animales, aire y agua componen el suelo. Es una capa delgada que se forma poco a poco, durante muchos siglos, a medida que la roca superficial se desintegra bajo la influencia del agua, los cambios de temperatura y los vientos (FAO, 2008).

2.2.3. Carbono orgánico del suelo (COS)

Es el resultado del crecimiento de bacterias, el metabolismo de organismos vivos y la descomposición de las plantas. Incluye carbono orgánico en suelos minerales y orgánicos (Paz et al., 2015).

2.2.4. Materia orgánica del suelo (MO)

Los componentes orgánicos presentes en el suelo consisten en varias estructuras de diversa complejidad (Anexo 13) (Secaira, 2018). En su interior se encuentran restos de vegetales y animales, organismos vivos (macro y mesofauna y biomasa microbiana hongos y bacterias) y materia orgánica que han sufrido transformación (humificación) y tienen una estructura compleja (Rimski-Korsakov & Álvarez, 2015).

2.2.5. Captura de carbono

El almacenamiento de carbono en el suelo varía según el tipo de suelo, la composición de especies y el relieve (Galicia et al., 2016). La cantidad promedio de carbono orgánico presente en el suelo a profundidades entre 0-15 y 0-30 cm son de 51,4 t/ha y 108 t/ha, respectivamente (Fernández et al., 2019).

2.3. HIPÓTESIS

2.3.1 Hipótesis general

La emisión de dióxido de carbono del sector Vizcachani, distrito de Capaso, El Collao en 2022 es menor que la reserva de carbono.

2.3.2. Hipótesis específicas

- En el bofedal del sector Vizcachani almacena una cantidad apreciables de carbono y dióxido de carbono
- Existe diferencia de emisión de dióxido de carbono entre la estación lluviosa y seca en el bofedal del sector Vizcachani.
- Las variables ambientales se correlacionan con la emisión de dióxido de carbono durante la estación lluviosa y seca del bofedal del sector Vizcachani.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. ZONA DE ESTUDIO

El presente trabajo de investigación se desarrolló en el sector Vizcachani del distrito de Capaso, provincia de El Collao, departamento de Puno a 142 km de la ciudad de Ilave (Figura 01; Tabla 03). Ubicado en las coordenadas geográficas $17^{\circ} 09' 27.8''$ S y $69^{\circ} 46' 17.2''$ W. La investigación se desarrolló en la propiedad de un poblador ubicada a 4 km de la ciudad de Capaso.

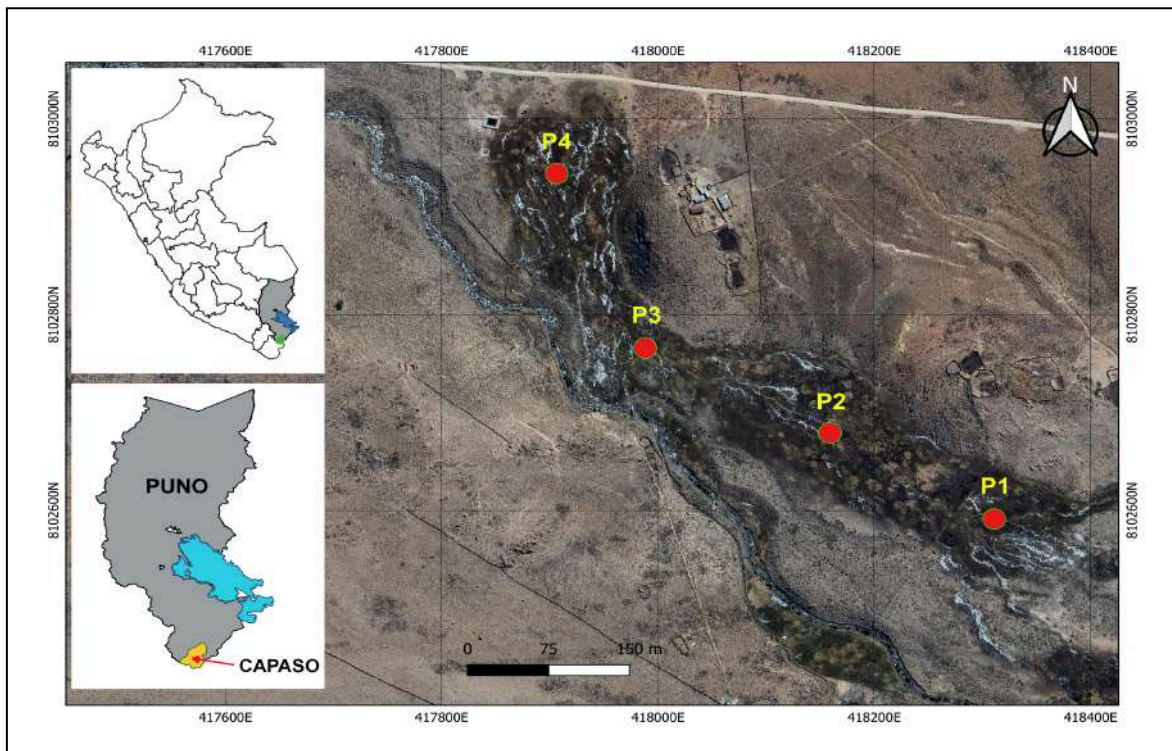


Figura 01: Localización del área de estudio mostrando los puntos de muestreo (P1, P2, P3 y P4)

Fuente: Elaboración propia, imagen de Google Satellite.

Tabla 03: Sitios de medición y muestreo en el bofedal del sector Vizcachani

| Abreviatura | Coordenadas geográficas | | Punto de muestreo y medición |
|-------------|-------------------------|------------|------------------------------|
| | X | Y | |
| P1 | 418304.40 | 8102595.50 | Punto uno |
| P2 | 418109,10 | 8102711,80 | Punto dos |
| P3 | 417968,30 | 8102796,70 | Punto tres |
| P4 | 417905,10 | 8102945,40 | Punto cuatro |

3.2. TAMAÑO DE MUESTRA

3.2.1. Población

Los suelos del bofedal en el sector Vizcachani del distrito de Capaso, provincia el Collao, con una extensión de 7.26 ha, conformaron la población.

3.2.2. Muestra

La muestra para medir la emisión de CO₂ estuvo conformada por cuatro puntos y seis repeticiones para cada punto de medición, totalizando 24 mediciones por día y un total de 96 mediciones en época lluviosa y 96 en época seca. Dichas mediciones son directas en campo y se realizaron mediciones en 7.26 ha.

Para estimar el carbono almacenado de los suelos de bofedales se recolectaron 04 muestras de suelo por cada punto de muestreo a una profundidad de 0-10 cm en cada época (MINAM, 2014; Rugnitz et al., 2009).

3.3. MÉTODOS Y TÉCNICAS

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

3.3.1. Carbono orgánico del suelo (COS)

a. Muestreo de suelo

Se recolectó suelo de bofedales, en una profundidad entre 0 y 10 cm. Se tomó una muestra para determinar el contenido de CO₂ y una muestra para determinar la densidad aparente (MINAM, 2014; Rugnitz et al., 2009).

b. Análisis en el laboratorio de suelos

El análisis de suelos se realizó en el Laboratorio de Suelos de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional del Altiplano, y las metodologías de análisis de suelos empleadas fueron:

- Primero se utilizó el método de cilindro (volumen conocido) para determinar la densidad aparente en g/cm³.
- Segundo, calcule el porcentaje de materia orgánica (MO) o carbono orgánico del suelo (COS) en porcentaje, que es el resultado de la oxidación con dicromato de potasio.

c. Calcular la cantidad de carbono orgánico

La metodología de Walkley & Black (1934) se utilizó para estimar la concentración de carbono orgánico (CCO) a partir de la MO analizada en laboratorio. La materia orgánica contiene el 58% de carbono orgánico, por lo que el CCO se obtuvo por la relación de MO y el factor 1.724 (Kalra & Maynard, 1991)..

$$\text{CCO} = \text{MO}/1.724$$

Donde:

CCO: Representa la concentración de carbono orgánico en el suelo (%)

MO: Es el contenido de materia orgánica (%)

1.724: Es el factor de conversión

3.3.2. Calcular la densidad aparente del suelo

Se calcula el peso seco del suelo de cada cilindro y las muestras de suelo se secan en una estufa de aire forzado a 105°C por el tiempo requerido (Rugnitz et al., 2009), los cálculos utilizados para calcular la densidad aparente son los siguientes:

$$Da = ms/v \text{ total}$$

En este caso, la densidad aparente del suelo (g/cm^3) se representa por la división entre la masa del suelo seco (ms, en gramos) y el volumen total del cilindro (v total, en cm^3).

El volumen del cilindro se calculó utilizando la siguiente fórmula:

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

En este caso, r representa el radio (cm) y h la altura (cm).

3.3.3. Cálculo de las reservas de carbono almacenado en suelo

El contenido de COS en toneladas por hectárea (TC/ha) se determinó mediante la fórmula propuesta por (Anexo 08 y 09) (Rosenzweig & Hillel, 2000; Jantalia et al., 2007).

$$COS = CCO * Da * P$$

Donde:

COS: Contenido de carbono orgánico del suelo (TC/ha)

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

Da: Densidad aparente (g/cm^3)

P: profundidad de suelo (cm)

Los resultados se calculan en g/m^2 , para la conversión a TC/ha se dividió el resultado total entre 100 (Alvis-Ccoropuna et al., 2021).

3.3.4. Estimación del stock de dióxido de carbono del suelo

El stock de CO_2 en el suelo de bofedal se estimó multiplicando el contenido de carbono del suelo (expresados en TC/ha) por 3,67 (el valor corresponde a la relación del peso molecular de CO_2 y carbono, es decir 44/12) (Anexo 08 y 09) (Cárdenas & Fernanda, 2020; Palomino C, 2007).

$$CO_2 \text{ Suelo} = COS * K$$

Donde:

CO_2 Suelo. = Toneladas de dióxido de carbono secuestrado en el suelo (TCO_2/ha)

COS = Contenido de carbono del suelo (TC/ha)

K = Factor de conversión (44/12) ó 3.6667

3.3.5. Medición de indicadores de campo

a. Materia orgánica (MO)

Primeramente se retira la vegetación de la superficie con apoyo de una cuchilla, posteriormente con barreno tipo copa se ha extraído muestras representativas de los primeros 10 cm de turba (MINAM, 2019a).

b. Densidad aparente (Da)

Se requiere un cilindro de metal de capacidad conocida para tomar la muestra. Se debe retirar la vegetación de la superficie del área que se va a muestrear, o se debe sacar la vegetación cuadrada. Se debe insertar un cilindro de metal en la capa de turba superficial aproximadamente a 4 o 5 cm de la superficie para garantizar que la muestra cubra todo el cilindro (Anexo 12) (MINAM, 2019a).

3.3.6. Monitoreo de emisiones de CO₂

Las emisiones de CO₂ se midieron a lo largo de conjuntos de 04 puntos de monitoreo de flujo de gas, ubicados aleatoriamente y con 06 repeticiones por punto.

Las emisiones de CO₂ del bofedal superficial se midió utilizando un analizador de gases infrarrojo portátil EGM-4 conectado a una unidad de cámara de respiración SRC-1 (PP Systems, Hitchin, United Kingdom) (Anexo 14). El área de medición estándar es de 10 cm de la cámara de la unidad SRC-1. Durante las mediciones, la cámara se colocaron de forma segura sobre la superficie del bofedal y las concentraciones de CO₂ se registraron automáticamente a intervalos de 1 s durante un período de medición total de 2 minutos para garantizar que las lecturas sean consistentes y que las cámaras fueran estables y no tuvieran fugas.

Las tasas de emisión de CO₂ se calcularon a partir del cambio lineal de la concentración de gas dentro de la cámara cerrada en función del tiempo de medición. Las mediciones se realizaron durante 4 días consecutivos en época lluviosa y seca.

Las emisiones de CO₂ se calcularon usando la ley de los gases ideales (Anexo 05) utilizando la siguiente fórmula desarrollada por (Metcalfé et al., 2007).

$$ECO_{2S} = \frac{\Delta C}{\Delta T} * \frac{P}{1000} * \frac{273}{T + 273} * \frac{44.01}{22.41} * \frac{Vd}{A}$$

$$ECO_{2sc} = Fs * \frac{Vd + Vc}{Vd}$$

ECO_{2S} = Emisión de dióxido de carbono sin corrección ($g\ CO_2\ m^{-2}\ h^{-1}$)

ECO_{2sc} = Emisión de dióxido de carbono corregido ($g\ CO_2\ m^{-2}\ h^{-1}$), la emisión de CO_2 se debe convertir a $\mu mol\ CO_2\ m^{-2}\ s^{-1}$ por ser la unidad más utilizada (Pinto-Junior et al., 2009).

$\Delta C / \Delta T$ = Muestra la variación de la concentración de dióxido de carbono en la cámara por unidad de tiempo (seg), $1\ ppm = 1\ \mu L / L$

T = Temperatura del suelo ($^{\circ}C$)

P = Presión atmosférica (Pa)

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

44.01 = Peso molecular del dióxido de carbono (g / mol)

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

Vd = Volumen de la cámara SRC-1 (m^3)

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

3.3.7. Variables micro meteorológicas del suelo

Las mediciones de las variables físicas y químicas del suelo comprenderán los perfiles verticales de temperatura y humedad volumétrica, pH, con mediciones directas e indirectas.

3.4. IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES DE ESTUDIO

Tabla 04: Operacionalización de variables de investigación

| Variables | Dimensiones | Indicadores |
|------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Independiente: Bofedal del sector Vizcachani | Propiedades físicas y químicas del suelo | Carbono orgánico del suelo, materia orgánica, biomasa de raíces y pH |
| Dependiente: Reserva de carbono y emisión de CO ₂ | Medición directa en campo con cámara dinámica cerrada de respiración (EGM-4). | Emisión o captura de CO ₂ Presión atmosférica Temperatura de la cámara Concentración de CO ₂ |

3.5. MÉTODO O DISEÑO ESTADÍSTICO

Inicialmente se utilizó el método de Shapiro-Wilk para probar la normalidad de los datos, cumpliendo este presupuesto se prosiguió con el análisis normal. Para los datos recolectados se realizaron promedios diarios y medias de las épocas (lluviosa y seca), con sus correspondientes desviaciones estándar y coeficientes de variación. Se utilizó la prueba t de Student para evaluar la diferencia estadística entre los promedios diarios de los puntos. Análisis de varianza (ANOVA) One-Way o Two-Way, según sea el caso, seguido de post-test de Tukey (para comparaciones múltiples) para las medias de las épocas y regresión lineal simple y múltiple para verificar la influencia de las variables independientes (temperatura del suelo y humedad del suelo) en la variable dependiente (respiración del suelo). Así mismo, se utilizó el coeficiente de correlación de Pearson para medir la relación entre variables. El nivel de significancia adoptado fue $p < 0.05$. Los análisis estadísticos se realizaron utilizando el software SigmaPlot 12.0 (Anexo 06 y 07).

CAPÍTULO IV

EXPOSICIÓN Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

4.1. ESTIMACIÓN DE LA RESERVA DE CARBONO Y DIÓXIDO DE CARBONO DEL BOFEDAL DEL SECTOR VIZCACHANI

Tabla 05: Reserva de carbono (TC/ha) y dióxido de carbono (TCO₂/ha) del bofedal del sector Vizcachani.

| Punto | P1 | P2 | P3 | P4 | Época Seca |
|----------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------------------------|
| Da | 0.27 | 0.19 | 0.41 | 0.14 | 0.25 ± 0.04 ^a |
| TC/ha | 54.52 | 44.71 | 78.33 | 33.72 | 52.82 ± 8.48 ^a |
| TCO ₂ /ha | 199.9 | 163.95 | 287.22 | 123.65 | 193.68 ± 31.10 ^a |
| Punto | P1 | P2 | P3 | P4 | Época Lluviosa |
| Da | 0.29 | 0.2 | 0.34 | 0.21 | 0.26 ± 0.02 ^a |
| TC/ha | 97.97 | 45.86 | 74.36 | 74.33 | 73.13 ± 7.55 ^a |
| TCO ₂ /ha | 359.2 | 168.16 | 272.65 | 272.55 | 268.14 ± 27.68 ^a |

P = punto de muestreo, Da = densidad aparente, TC/ha = toneladas de Carbono/hectárea, TCO₂/ha = toneladas de Dióxido de Carbono (Anexo 08 y 09). Se observa los promedios y sus desviaciones estándar (media ± D.E)

Los resultados de la tabla 05 muestran que la densidad aparente del suelo (Da) no varía entre época seca y lluviosa. La reserva de carbono orgánico del suelo de bofedales fue mayor en época lluviosa con (73.13 ± 7.55 TC/ha) y menor en época seca (52.82 ± 8.48 TC/ha) sin diferencia significativa entre épocas (p>0.05), asimismo, el almacenamiento de dióxido de carbono en el suelo fue mayor en época lluviosa (193.68 ± 31.10 TCO₂/ha) y menor en época seca (268.14 ± 27.68 TCO₂/ha) sin diferencia significativa entre épocas (p>0.05) (Tabla 05). Para calcular el carbono almacenado en el suelo fue a una

profundidad de 0 a 10 cm como sugiere (Bautista & Hernández, 2021).

Los valores obtenidos en la presente investigación fueron (52.82 TC/ha en época seca y 73.13 TC/ha en época lluviosa) los cuales son similares a los reportados por (Secaira, 2018), cuyos resultados reportan que el bofedal Lazabanza almacena 64,58 T/ha y el bofedal los Hieleros con 67,88 T/ha ya que poseen menor extensión, mientras que los bofedales que presentan mayor cantidad de carbono orgánico almacenado en suelo corresponde al bofedal Cruz del Arenal 1 con 435,5 T/ha, seguido por el bofedal Mechahuasca con 282,2 T/ha, pero menores que los encontrados por Sequeiros & Cazorla (2020) quienes reportaron valores de carbono total de 157,18 TC/ha, demostrándose el alto potencial que tienen los bofedales como aporte al servicio ambiental de captura de carbono. Además, se destaca que las bofedales ofrecen una variedad de beneficios para el ecosistema, siendo consideradas como sistemas importantes en las fluctuaciones del ciclo del carbono a nivel mundial. Ayala et al. (2018) reporta valores de 0.15 a 44.25 Mg ha⁻¹ para COS y 0.045 a 28.19 Mg ha⁻¹. Sin embargo, el suelo orgánico almacena la mayor cantidad de carbono con 218,3 TC/ha (90%), lo que indica una gran variación en la cantidad de carbono almacenado entre los reservorios, por su parte Sequeiros & Cazorla (2020) Se informó que el carbono almacenado por tipo de muestra es de 157.18 TC/ha para los bofedales del Centro Poblado Alto Perú, mientras que la cobertura vegetal es de 15.33 TC/ha, la turba/necromasa es de 26.20 TC/ha y el suelo orgánico es de 115.65 TC/ha. La cobertura vegetal tiene 12.30 y 18.36 TC/ha, la turba/necromasa tiene 22.52 y 29.89 TC/ha, y el suelo orgánico tiene 130.49 y 100.80 TC/ha.

Los resultados para almacenamiento de dióxido de carbono fueron de 193.68 TCO₂/ha en época seca y 268.14 TCO₂/ha estos son menores a los reportados por Alvis-Ccoropuna et al. (2021) quienes reportaron los siguientes valores en cuanto a la estimación de reserva de dióxido de carbono indicando que las reservas totales de dióxido de carbono del suelo es de 901.28 TCO₂/ha.

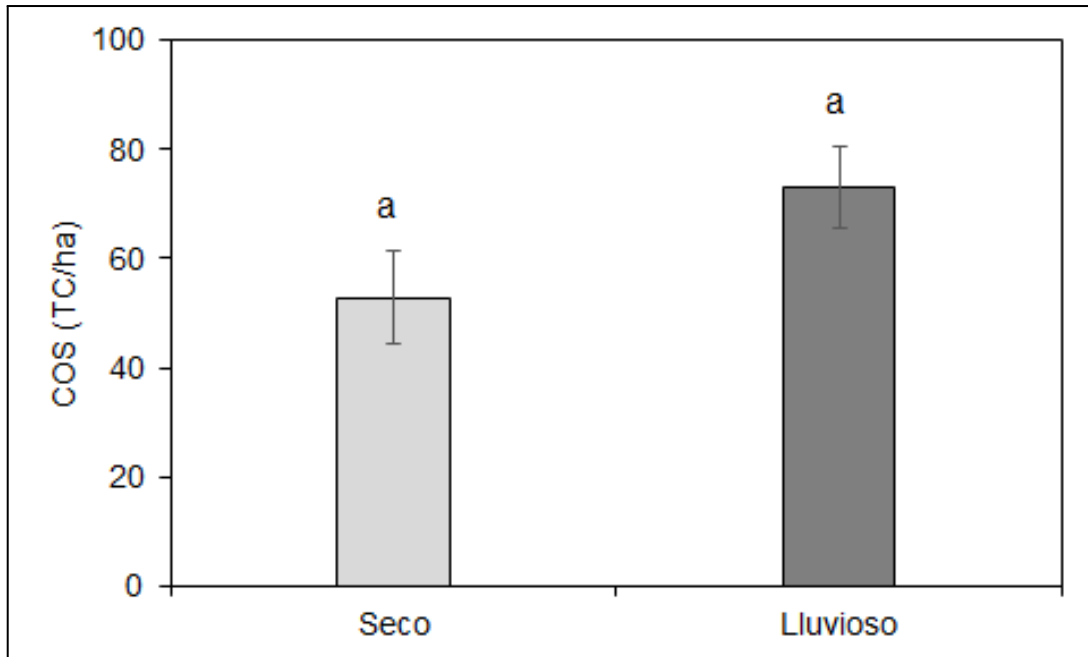


Figura 02: Las reservas de carbono almacenado del suelo en toneladas por hectárea.

El suelo de los bofedales altoandinos almacena más carbono en épocas lluviosas que en épocas secas, con una media de 52.82 TC/ha en épocas secas y 73.13 TC/ha en épocas lluviosas, con una diferencia estadísticamente significativa ($p > 0.05$) entre épocas secas y lluviosas (Tabla 05 y Figura 02).

Comparando los resultados de esta investigación son menores a los obtenidos por Palomino (2007) quien reporta el total de carbono almacenado de 99.00 TC/ha en suelo con junco, 9.57 TC/ha en suelo con totora, 11.55 TC/ha en suelo con grama salada y 5.61 TC/ha en suelo con salicornia. Alvis (2018) en los bofedales de Arequipa, reportando el 49 % de la fracción de carbono, mientras que en otra investigación en los humedales costeros, Palomino (2007) encontró 47% de carbono. Hernández (2010) llegó a los siguientes resultados el almacenamiento de carbono en suelos se determinó 774,76 TC/ha en pajonales y 684,58 TC/ha en bofedales, resultados similares a los reportados por Medrano et al. (2012) quien dentro del lago Chinchaycocha el suelo representa un importante sumidero de carbono, ya que en su interior fija 729,67 TC/ha en promedio, demostrándose así que el carbono orgánico del suelo es 2,7 veces más que la reserva biótica, ese resultado es mayor a los obtenidos en el presente

estudio.

4.1.1. Temperatura del suelo

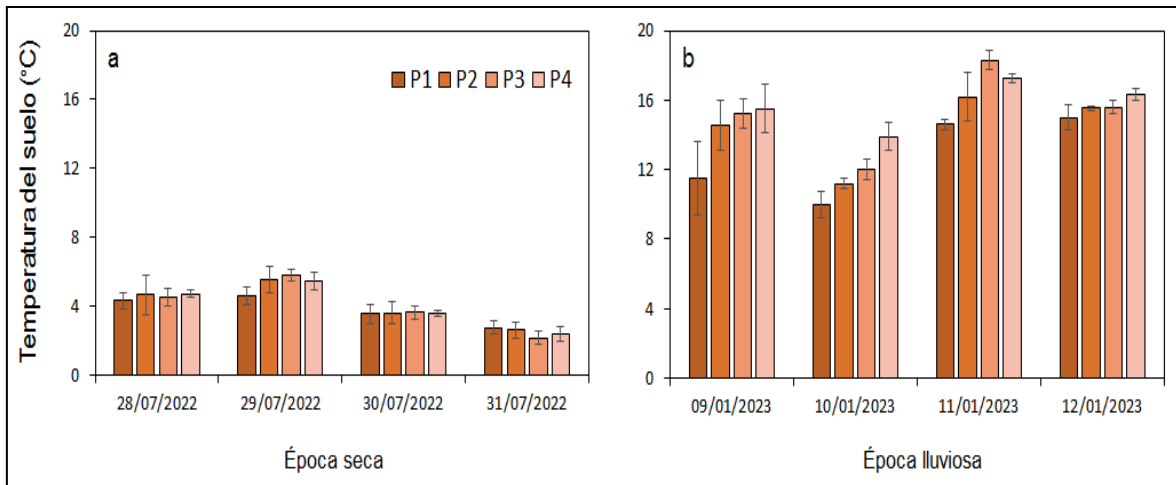


Figura 03: Temperatura del suelo en época seca a) y época lluviosa (b; las barras representan las medias diarias y desviación estándar.

La temperatura de suelo (T_s), fue menor en cuarto día de la época seca (2.48 ± 0.40 °C) y mayor el tercer día de la época lluviosa (16.59 ± 1.53 °C), la media de la época seca fue de 4.00 ± 1.22 °C y en la época lluviosa fue 14.54 ± 2.36 °C, siendo estadísticamente significativa entre épocas ($p < 0.05$) (Figura 03 a;b).

4.1.2. Variables atmosféricas

Tabla 06: Las condiciones ambientales en el bofedal del área Vizcachani durante los períodos de sequía y lluvia.

| Época | Tar (°C) | HR (%) | Vv (m/s) | P (hPa) | Iluminación (Lux) |
|-----------------|-------------------------------------|-------------------------------------|------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------------|
| | Media ± D.E | Media ± D.E | Media ± D.E | Media ± D.E | Media ± D.E |
| 28/07/202 2 | 12.29 ± 0.70 | 23.38 ± 0.95 | 2.04 ± 0.50 | 598.01 ± 0.43 | 1560 ± 181.11 |
| 29/07/202 2 | 22.35± 1.67 | 15.75 ± 0.80 | 2.18 ± 0.95 | 599.26 ± 0.50 | 14951.5 ± 17346.63 |
| 30/07/202 2 | 15.15 ± 1.10 | 21.90 ± 1.79 | 1.80 ± 0.40 | 600.03 ± 0.16 | 3135.75 ± 826.95 |
| 31/07/202 2 | 15.04 ± 0.57 | 21.91 ± 2.38 | 1.98 ± 0.25 | 599.23 ± 0.60 | 23011 ± 26176.59 |
| Seco | 16.21 ± 3.93^a | 20.73 ± 3.36^b | 2.00 ± 0.57^a | 599.13 ± 0.85^a | 10664.56 ± 17405.01^b |
| 09/01/202 3 | 16.96 ± 0.72 | 35.68 ± 2.02 | 2.29 ± 1.29 | 597.81 ± 0.88 | 46876 ± 12632.12 |
| 10/01/202 3 | 15.73 ± 1.66 | 42.65 ± 3.62 | 2.31 ± 1.29 | 592.13 ± 14.37 | 48392.41 ± 9833.86 |
| 11/01/202 3 | 16.06 ± 1.09 | 41.85 ± 5.48 | 2.20 ± 1.14 | 598.70 ± 0.52 | 54612 ± 0.00 |
| 12/01/202 3 | 15.83 ± 0.71 | 42.01 ± 2.86 | 2.64 ± 0.52 | 596.10 ± 7.37 | 50306.56 ± 8109.26 |
| Lluvioso | 16.14 ± 1.17^a | 40.55 ± 4.56^a | 2.36 ± 1.07^a | 596.18 ± 8.11^b | 50046.74 ± 9022.99^a |

Dónde: Temperatura del aire (Tar; °C), humedad relativa (HR; %), velocidad del viento (Vv; m/s), Presión atmosférica (P; hPa) e iluminación (lux). Las letras minúsculas

comparan la época seca y lluviosa. Letras diferentes indican diferencia estadística (Tukey, $p < 0,05$).

La temperatura del aire (Tar) fue mayor en la época seca (16.21 ± 3.93), que en la época lluviosa (16.14 ± 1.17); la velocidad del viento (Vv) fue mayor en la época lluviosa que en la época seca (2.36 ± 1.07 y 2.00 ± 0.57) respectivamente, entre las dos épocas no existe diferencia significativa estadísticamente. La humedad relativa (HR) fue mayor en época lluviosa a diferencia de la época seca (40.55 ± 4.56 y de 20.73 ± 3.36) respectivamente; la presión atmosférica (P) fue mayor en la época seca y menor en la lluviosa con (599.13 ± 0.85 y 596.18 ± 8.11) respectivamente, la iluminación fue mayor en la época lluviosa y menor en la época seca con (50046.74 ± 9022.99 y 10664.56 ± 17405.01) respectivamente; existe diferencia significativa entre época lluviosa y la época seca (Tabla 06)

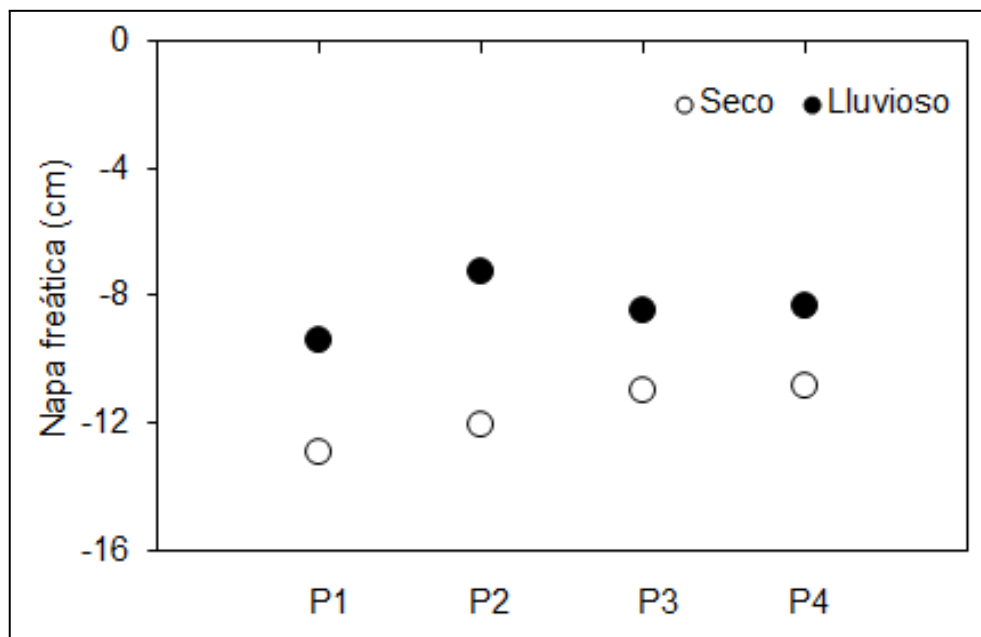


Figura 04: Nivel de la napa freática en el bofedal del sector Vizcachani en época seca y lluviosa

La napa freática muestra diferencia significativa ($p < 0.05$) entre época seca y lluviosa, con mayor profundidad durante la época seca y menor profundidad en época lluviosa por la influencia de las lluvias (Figura 04).

El nivel freático en el bofedal ubicado en El Collao fue de 22.51 cm y 7.61 cm en época

seca y lluviosa Checalla (2023), siendo similar en época seca y menor en época lluviosa. Es importante estudiar el nivel freático porque juega un papel importante como conductor de la emisión o absorción de gases de efecto invernadero (Hoyos-Santillan et al., 2019).

4.1.3. Propiedades del suelo, raíz y napa freática

Tabla 07: Propiedades del suelo en bofedal del sector Vizcachani en la época seca y lluviosa.

| Punto | COS | MO | HS | C.E. | pH | MS_RAIZ | Napa freática |
|-----------------|-------------------------|--------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| | % | % | % | mS/cm | | % | cm |
| P1 | 19.55 | 33.7 | 82.22 | 0.21 | 6.07 | 48.42 | 12.93 |
| P2 | 23.96 | 41.3 | 83.51 | 0.21 | 5.97 | 44.68 | 12.03 |
| P3 | 19.33 | 33.33 | 82.44 | 0.2 | 6.06 | 37.96 | 10.98 |
| P4 | 23.93 | 41.25 | 83.84 | 0.19 | 5.96 | 38.74 | 10.85 |
| Época | 21.69 ± | 37.39 ± | 83 ± | 0.2 ± | 6.01 ± | 42.45 ± | 11.69 ± |
| Seca | 3.49^b | 6.01^b | 1.78^a | 0.08^a | 0.08^a | 4.98^a | 0.95^a |
| P1 | 34.22 | 59 | 86.75 | 0.21 | 5.96 | 28.12 | 9.38 |
| P2 | 23.77 | 40.97 | 85.2 | 0.21 | 5.78 | 13.28 | 7.23 |
| P3 | 21.87 | 37.71 | 89.21 | 0.2 | 5.9 | 15.08 | 8.45 |
| P4 | 36.51 | 62.94 | 78.37 | 0.19 | 5.87 | 20.36 | 8.3 |
| Época | 29.09 ± | 50.15 ± | 84.88 ± | 0.2 ± | 5.87 ± | 19.21 ± | 8.34 ± |
| Lluviosa | 7.16^a | 12.34^a | 4.53^a | 0.08^a | 0.09^b | 6.66^b | 0.90^b |

Carbono orgánico del suelo (COS; %), materia orgánica (MO; %), humedad del suelo (HS; %), conductividad eléctrica (C.E.; mS/cm), pH, materia seca de raíz (MS_RAIZ; %) altura de napa freática (cm). Las letras minúsculas comparan la época seca y lluviosa. Letras diferentes indican diferencia estadística (Tukey, $p < 0,05$).

El carbono orgánico del suelo (COS) fue mayor en la época lluviosa a diferencia de la época seca (seco de 21.69 ± 3.49 y lluvioso de 29.09 ± 7.16); la materia orgánica del suelo (MO) fue mayor en la época lluviosa que en la época seco (seco de 37.39 ± 6.01 y

lluvioso de 50.15 ± 12.34), el COS y la MO muestran diferencia significativa entre épocas. La humedad del suelo (HS) fue mayor en época lluviosa a diferencia de la época seca (seco de 83 ± 1.78 y lluvioso de 84.88 ± 4.53); la conductividad eléctrica (C.E) fue igual en época seca y lluviosa (seco y lluvioso de 0.2 ± 0.08), el pH fue mayor en la época seca y menor en la época lluviosa (seco de 6.01 ± 0.08 y lluvioso de 5.87 ± 0.09) existe diferencia significativa entre época seca y lluviosa, la materia seca de la raíz (MS_RAIZ) fue mayor en época seca y menor en época lluviosa (seco de 42.45 ± 4.98 y lluvioso de 19.21 ± 6.66) y la altura de la napa freática fue mayor en época seca y menor en época lluviosa (seco de 11.69 ± 0.95 y lluvioso de 8.34 ± 0.90), la MS_RAIZ y napa freática muestran diferencia significativa en épocas (Tabla 07).

Comparando los resultados de la presente investigación con trabajos de investigación son similares en bosque tropical de la amazonía peruana el contenido de carbono del suelo en los primeros 30 cm de profundidad es de 70.42%, 58.50% y 55.75% en bosque con plantaciones, terraza alta y varillal, respectivamente (Porlles, 2011). En el ecosistema de Bofedal, en Putina – Puno, en una profundidad de 0 - 10 cm encontraron %MO = 7.8, pH = 4.98 (Mamani & Mamani, 2019). Por otro lado Baldoceda et al. (2021) en su investigación se analizaron los porcentajes de humedad, materia orgánica y porosidad del suelo en dos tipos diferentes de bofedales y se descubrió que el bofedal Tambo Real tenía el mayor porcentaje de materia orgánica (84,96 % a 35 cm de profundidad) durante la época húmeda. Por otro lado, durante la transición de la época de lluvia a la época seca, se registró el porcentaje mínimo de materia orgánica en el punto PB7 (0,70 %) a 35 cm de profundidad, en Huachipampa, se registraron los niveles más altos de humedad en la región media del bofedal, que oscila entre 56,52 y 91,18%, donde predominaron los colchones de *Distichia muscoides*. Se indica que en la región cercana al río la humedad es más alta que en otras áreas, alcanzando un 87%. Así mismo León (2016) reportó que en todos los horizontes, hubo un alto contenido de materia orgánica (36%, 17% y 23%), lo que contribuyó a la baja densidad aparente. Cuando el pH es de fuerte a moderadamente ácido, la disponibilidad de nutrientes disminuye..

4.2. CUANTIFICACIÓN DEL DIÓXIDO DE CARBONO EMITIDO DURANTE LA ESTACIÓN LLUVIOSA Y SECA POR EL BOFEDAL DEL SECTOR VIZCACHANI

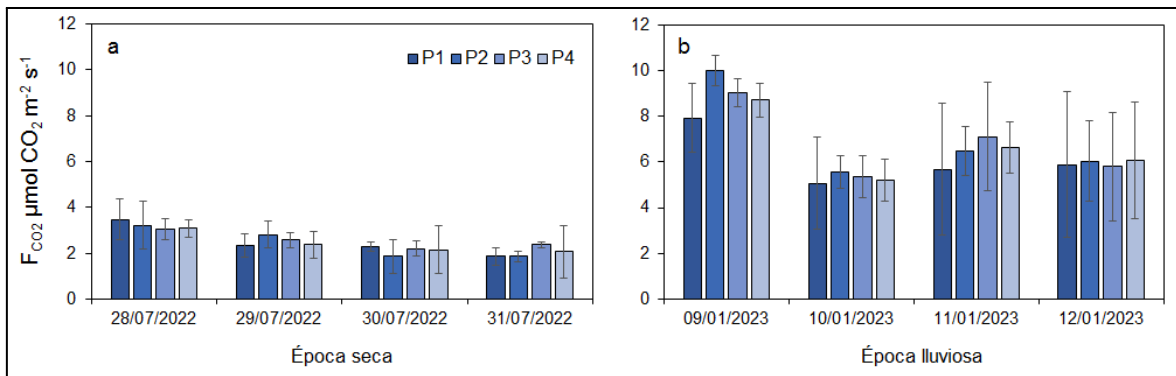


Figura 05: Emisiones de CO₂ diaria por puntos de muestreo

a) época seca y b) época lluviosa. P1 (punto de muestreo 1), P2 (punto de muestreo 2), P3 (punto de muestreo 3), P4 (punto de muestreo 4).

La emisión de CO₂ de los suelos de bofedal variaron entre épocas, con mayor emisión en época lluviosa y menor en época seca. En la época seca la mayor emisión de CO₂ fue el primer día con $3.47 \pm 0.88 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ y el menor fue el tercer y cuarto día con $1.86 \pm 0.33 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (Figura 05a). En la época lluviosa, la mayor emisión de CO₂ fue el primer día con $9.99 \pm 2.03 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ y el menor fue el segunda día con $5.07 \pm 0.65 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (Figura 05b).

Checalla (2023) encontró que durante la época lluviosa, el flujo de CO₂ en los cuatro puntos de muestreo osciló entre $1.24 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ en el segundo día y $21.47 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ en el primer día, con un flujo promedio de $7.87 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ en ese momento. El tercer día mostró los valores medios más bajos ($6.02 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), mientras que el primer día mostró los valores más altos ($10.16 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$).

La temperatura del suelo fue directamente proporcional a las emisiones de CO₂ de los suelos de bofedal; una temperatura más baja del suelo resultó en emisiones de CO₂ más bajas, mientras que una temperatura más alta resultó en emisiones de CO₂ más altas (Figura 02 y 05a;b).

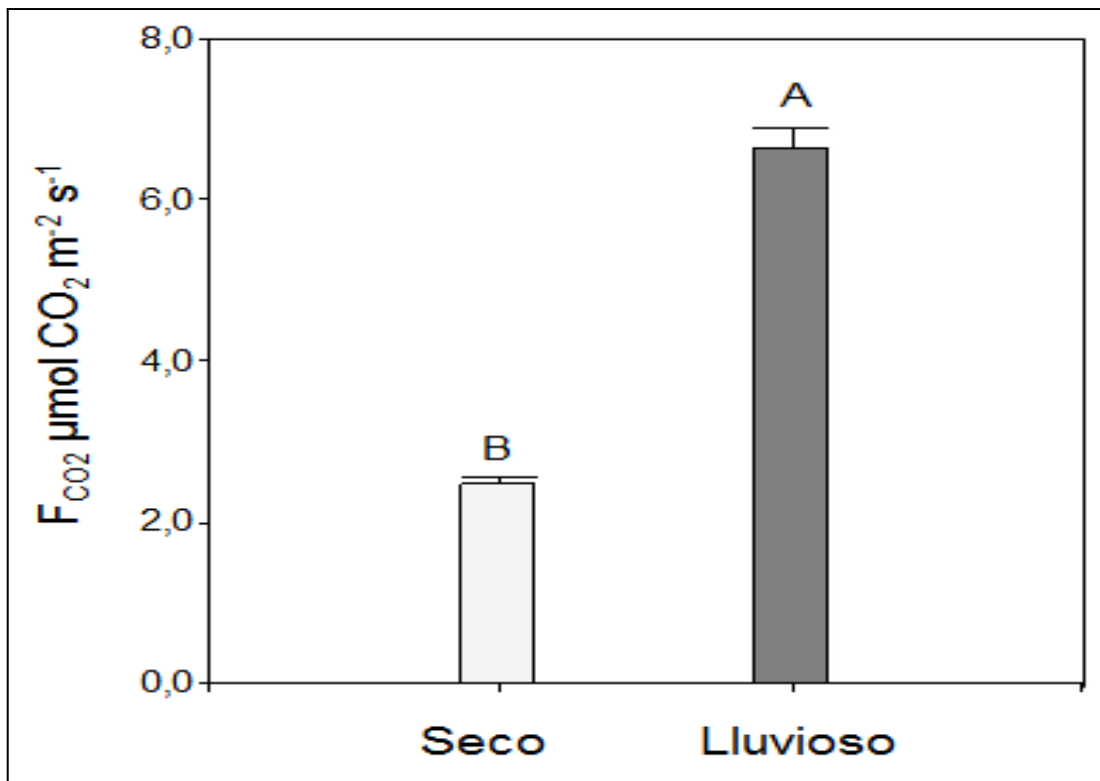


Figura 06: Diferencia de emisión de CO_2 en época seca y lluviosa.

Medias con una letra diferente son significativamente diferentes ($p < 0.05$).

La emisión de CO_2 del suelo es impulsados por la época, en la época seca, la emisión de CO_2 del suelo (media \pm desviación estándar: $2.48 \pm 0.77 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) fue menor que en la época lluviosa ($6.65 \pm 2.20 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$). Hubo diferencia estadística significativa ($p < 0.05$) entre las épocas (Figura 06).

En bofedal del distrito de Capaso el flujo de CO_2 fue mayor en época lluviosa ($7.87 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) en comparación a la época seca ($3.97 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), estos valores son muy similares al presente estudio en suelo de bofedales del sector Vlscachani (Checalla, 2023). Los resultados de esta investigación son similares a los reportados por Díaz (2018) quien indicó que en suelos de matorrales y bosques esclerófilos en Chile, para verano, la tasa de emisión del suelo es de $1.818 \pm 0.15 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, mientras que en invierno es de $4.884 \pm 0.38 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ por otro lado en bosque tropical de la amazonía peruana (Porlles, 2011) reporta emisiones de 1.39, 1.05 y $0.94 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ en bosque con plantaciones, terraza alta y varillal, respectivamente mayores a los

reportados por (Niño et al., 2018) se descubrió que los valores de flujo de CO₂ se obtuvieron durante 22 meses de mediciones mensuales y fueron muy variables (-0.058 a 0.828 μmol s⁻¹ m⁻²). Solo se registraron valores positivos de respiración después de lluvias extremas, lo que resalta que los valores negativos se relacionan con la captura de CO₂ por organismos fotosintéticamente activos como las costras biológicas del suelo, las cuales, bajo condiciones específicas de humedad y temperatura, Por su parte Salinas (2018) indica que el promedio de emisión de CO₂ fue mayor en la temporada de lluvias en comparación a la temporada de sequía. Urrutia (2017) reporta valores similares al nuestro cuyos valores fueron obtenidos en suelos de Colombia. Los flujos de CO₂ en Chile indican emisiones forestales de 1,4 a 6,3 μmol CO₂ m⁻² s⁻¹ y en una turbera de 0,3 a 1,9 μmol CO₂ m⁻² s⁻¹, por su lado Pinto-Junior et al. (2009) en suelos brasileños con pasto, el flujo promedio de CO₂ fue de 4,95 ± 1,59 μmol CO₂ m⁻² s⁻¹.

4.3. RELACIÓN DE LAS VARIABLES AMBIENTALES CON LA EMISIÓN DE DIÓXIDO DE CARBONO DURANTE LA ESTACIÓN LLUVIOSA Y SECA EN EL BOFEDAL DEL SECTOR VIZCACHANI

Tabla 08: Correlación de Pearson entre las variables analizadas (Índice de significancia, p-valor < 0.05) en períodos seco y lluvioso.

| Variabes | Tar | HR | Vv | Presión atm | Iluminación |
|------------------|--------------------|---------------|--------------------|---------------------|---------------|
| FCO ₂ | 0.01 ^{NS} | 0.66** | 0.12 ^{NS} | -0.14 ^{NS} | 0.62** |

| Variabes | Ts | Hs | pH | COS | Napa freática |
|------------------|---------------|-------|---------|---------------|---------------|
| FCO ₂ | 0.78** | 0.26* | -0.52** | 0.38** | -0.71** |

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

FCO₂- emisión de CO₂ del suelo; Tar: temperatura del aire, HR: humedad relativa, Vv: velocidad del viento.

La emisión de CO₂ del suelo se correlacionó significativamente y positiva con la humedad relativa, iluminación, temperatura del suelo y se correlaciona significativamente y negativa con el pH y napa freática (Tabla 08). La relación entre la emisión de CO₂ del suelo y la temperatura del suelo se muestra en la Figura 07.

El nivel freático actúa como un fuerte impulsor de los flujos de CO₂, los flujos de CO₂ aumentan cuando el nivel freático estaba por debajo de la superficie del suelo (Hoyos-Santillan et al., 2019). Cuando el nivel freático está cerca de la superficie y satura el suelo, el proceso de degradación se ralentiza a medida que disminuye la disponibilidad de oxígeno en el suelo y se favorece la degradación anaeróbica (MINAM, 2019a).

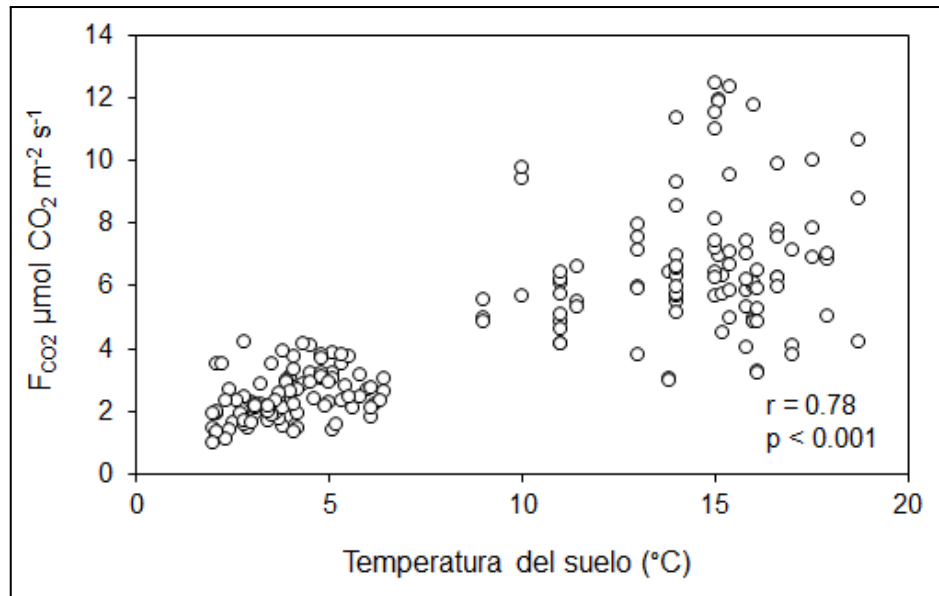


Figura 07: Relación entre la emisión de CO₂ del suelo y la temperatura del suelo en bofedales altoandinos.

Checalla (2023) encontró una correlación positiva entre el flujo de CO₂ y la temperatura del suelo ($r = 0.62$; $p < 0,05$), la humedad del suelo y la altura del agua ($r = 0.62$; $p < 0,05$) y la humedad relativa del aire ($r = 0.42$; $p < 0,05$) y la iluminación en todos los puntos y momentos, siendo estos resultados similares al presente estudio. En otros ecosistemas reportaron resultados similares al presente estudio, donde la emisión de CO₂ tuvo correlación significativa positiva con la temperatura y humedad del suelo (Díaz, 2018; Silva et al., 2016).

Lopera (2019) Con respecto a las variables ambientales, encontró correlaciones significativas entre todos los factores, siendo la más alta entre la humedad relativa y la temperatura ambiente También encontró correlaciones negativas entre la precipitación y el flujo de CO₂ del suelo en los meses de mayo ($r_s = -0,39$; $p < 0,05$) y julio ($r_s = -0,27$; $p > 0,05$).

CONCLUSIONES

PRIMERA: La reserva de carbono orgánico del suelo total almacenado en época seca del bofedal es 52.82 TC/ha y para época lluviosa 73.13 TC/ha y la captura de dióxido de carbono se tiene valores de 193.69 TCO₂/ha en época seca y 268.14 TCO₂/ha para época lluviosa, es evidente que durante las épocas de lluvia, se producen las reservas de carbono más altas, y la densidad aparente del suelo juega un papel importante en esto. Como resultado, se acepta la hipótesis nula.

SEGUNDA: La emisión de CO₂ del suelo es impulsados por la época climática, en la época seca, la emisión de CO₂ del suelo ($2.48 \pm 0.77 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) fue menor que la época lluviosa ($6.65 \pm 2.20 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$). Estos resultados permiten predecir el comportamiento de los procesos de captación de carbono y emisión de CO₂ en diferentes épocas y la mitigación de gases de efecto invernadero. Por lo tanto, la hipótesis nula se acepta para épocas secas y la hipótesis nula se rechaza para época lluviosa.

TERCERA: La emisión de CO₂ del suelo se correlaciona significativa y positivamente con la humedad relativa, iluminación, temperatura del suelo y carbono orgánico del suelo. Los resultados obtenidos sugieren que las estaciones del año, las variables ambientales son factores que determinan los procesos de respiración y flujo de CO₂ del suelo. Los flujos de CO₂ en el bofedal, requieren de un monitoreo continuo para identificar las complejas relaciones con los distintos factores que influyen a este flujo. Por lo tanto, se acepta la hipótesis nula para las variables de iluminación, COS, HR y Ts.

RECOMENDACIONES

PRIMERA: Realizar investigaciones sobre la cantidad y calidad de C y CO₂ almacenados en el suelo de bofedales en diferentes condiciones para el pastoreo sistematizado en la región, el cual nos conlleva a aumentar la confiabilidad de los resultados obtenidos, con la premisa de conservar, respetar y valorizar los bofedales del sector vizcachani, distrito de Capaso mediante la defensa de la armonía con la naturaleza y las normas de conservación establecidas en la Convención Ramsar y el convenio de diversidad biológica mediante la promoción y la difusión de la información a la población.

SEGUNDA: Realizar evaluaciones de emisión de dióxido de carbono en diferentes épocas del año el cual además, nos permitirá contribuir directamente a la mitigación del fenómeno conocido como cambio climático en el largo plazo.

TERCERA: Realizar trabajos de investigación enfocando el grado de perturbación que sufren los bofedales altoandinos por diferentes factores.

BIBLIOGRAFÍA

- Alvis, T. (2018). *Almacenamiento de carbono en los humedales altoandinos del centro poblado Chalhuanca, Caylloma – Arequipa, 2017* [Tesis Pregrado, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa]. <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/8214>
- Alvis-Ccoropuna, T., Villasante-Benavides, J. F., Pauca-Tanco, G. A., Quispe-Turpo, J. del P., & Luque-Fernández, C. R. (2021). Cálculo y valoración del almacenamiento de carbono del humedal altoandino de Chalhuanca, Arequipa (Perú). *Revista de Investigaciones Altoandinas*, 23(3), 139–148. <https://doi.org/10.18271/ria.2021.314>
- Anderson, T. G., Christie, D. A., Chávez, R. O., Olea, M., & Anchukaitis, K. J. (2021). Spatiotemporal Peatland Productivity and Climate Relationships Across the Western South American Altiplano. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*, 126(6), e2020JG005994. <https://doi.org/10.1029/2020JG005994>
- Aponte, H., Corvacho, M. F., Lertora, G., & Ramírez, D. W. (2021). Reserva de carbono en un humedal del desierto costero de Sudamérica. *Gayana Botanica*, 78(2), Artículo 2. <https://gayanabotanica.cl/index.php/gb/article/view/221>
- 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>
- Baldoceda, Á., Maldonado, M., & Alcántara, F. (2021). Análisis del porcentaje de humedad, materia orgánica y porosidad del suelo de dos tipos de bofedales. *Ciencia & Desarrollo*, 20(2), Artículo 2. <https://doi.org/10.33326/26176033.2021.2.1204>
- Bautista, J. I., & Hernández, J. J. A. (2021). Determinación del carbono orgánico por el método químico y por calcinación. *Ingeniería y Región*, 26, 20–28. http://portal.amelica.org/ameli/jatsRepo/238/2382460002/html/#redalyc_2382460002_ref8
- Becerra, A. F. (2021). *Emisiones de dióxido de carbono (CO₂) y metano (CH₄)*

- suelo-atmósfera en tres coberturas de un paisaje de turberas de la Amazonía Nororiental Colombiana* [Tesis Pregrado, Pontificia Universidad Javeriana]. <http://repository.javeriana.edu.co/handle/10554/58982>
- Cárdenas, C., & Fernanda, M. (2020). Estimación del carbono almacenado en los totorales y gramadales del Refugio de Vida Silvestre los Pantanos de Villa, Lima, Perú. *Universidad Científica del Sur*. <https://doi.org/10.21142/tl.2020.1203>
- 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>
- Díaz, M. A. (2018). *Flujos de CO₂ y CH₄ en suelos de matorrales y bosques esclerófilos en la Reserva Nacional Roblería del Cobre de Loncha, Región Metropolitana* [Tesis Pregrado, Universidad de Chile]. <http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/152404>
- Enriquez, A., & Cremona, M. V. (2017). *Humedales patagónicos como reservorios de carbono: Una función poco reconocida en un mundo cambiante* (Serie de Divulgación N°3 Presencia N°67-2017; p. 5).
- Enriquez, L. M. (2018). *Determinación de captura de carbono en suelos de un sistema agroforestal con café (Coffea arábica) en el Valle Esquilaya—Región Puno, 2018* [Tesis Pregrado, Universidad Peruana Unión]. <https://repositorio.upeu.edu.pe/handle/20.500.12840/1712>
- FAO. (2008). El suelo. Em *Ecología y enseñanza rural: Nociones ambientales básicas para profesores rurales y extensionistas*. https://www.fao.org/3/w1309s/w1309s04.htm#P5_56
- Fernández, C. J., Cely, G. E., & Serrano, P. A. (2019). Cuantificación de la captura de carbono y análisis de las propiedades del suelo en coberturas naturales y una plantación de pino en el páramo de Rabanal, Colombia. *Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía*, 28(1), 121–133. <https://doi.org/10.15446/rcdg.v28n1.66152>

- Formiga, L. D. A. da S., Andrade, A. P. de, Araujo, K. D., Santos, A. M. da S., Silva, D. S. da, & Lima, L. B. (2017). Dióxido de carbono liberado do solo em áreas de caatinga sob pastejo caprino. *Revista Biociências*, 23(2), Artigo 2. <http://revistas.unitau.br/ojs/index.php/biociencias/article/view/2472>
- Galicia, L., Cáceres, A. M. G., Cram, S., Vergara, B. C., Ramírez, V. P., Saynes, V., & Siebe, C. (2016). Almacén y dinámica del carbono orgánico del suelo en bosques templados de México. *Terra Latinoamericana*, 34(1), 1–29. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0187-57792016000100001&script=sci_arttext
- Hernández, M. E. (2010). Suelos de humedales como sumideros de carbono y fuentes de metano. *Terra Latinoamericana*, 28(2), 139–147. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0187-57792010000200005&lng=es&nrm=iso&tlng=es
- Hernández, M. E., Moreno-Casasola Barceló, P., Hernández, M. E., & Moreno-Casasola Barceló, P. (2018). Almacenes y flujos de carbono en humedales de agua dulce en México. *Madera y bosques*, 24(SPE). <https://doi.org/10.21829/myb.2018.2401881>
- Hoyos-Santillan, J., Lomax, B. H., Large, D., Turner, B. L., Lopez, O. R., Boom, A., Sepulveda-Jauregui, A., & Sjögersten, S. (2019). Evaluation of vegetation communities, water table, and peat composition as drivers of greenhouse gas emissions in lowland tropical peatlands. *Science of The Total Environment*, 688, 1193–1204. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.06.366>
- 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>
- IPCC. (2007). *Climate change 2007: The physical science basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on*

- Climate Change* (p. 996) [Report]. Cambridge University Press.
- IPCC. (2014). *Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (p. 151).
- Jantalia, C. P., Resck, D. V. S., Alves, B. J. R., Zotarelli, L., Urquiaga, S., & Boddey, R. M. (2007). Tillage effect on C stocks of a clayey Oxisol under a soybean-based crop rotation in the Brazilian Cerrado region. *Soil and Tillage Research*, 95(1–2), 97–109. <https://doi.org/10.1016/j.still.2006.11.005>
- Kalra, Y. P., & Maynard, D. G. (1991). *Methods manual for forest soil and plant analysis* (Vol. 319E). Information Report NOR-X-319E. <http://scf.rncan.gc.ca/publications?id=11845>
- León, A. Y. (2016). *Reserva de carbono en bofedales y su relación con la florística y condición del pastizal* [Tesis de Postgrado, Universidad Agraria La Molina]. <http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/20.500.12996/2749>
- Lopera, M. C. (2019). Flujo de CO₂ del suelo bajo diferentes coberturas de la Reserva Forestal Protectora Bosque Oriental de Bogotá. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 43(167), 234. <https://doi.org/10.18257/raccefyn.823>
- Luccini, E., Flores, M., Ramírez, K., Pérez Pinedo, H., Herrera, L. A., Parodi, M., Matar, M., Gómez Insausti, J., Barrea, L., Mechini, M., & Calcagno, G. (2018). Análisis comparativo de la captura y almacenamiento de CO₂ por especies vegetales de tres ecosistemas en Perú. *Energeia*, 15(15), 13–21. <https://repositorio.uca.edu.ar/handle/123456789/5870>
- Luna, E. O., Cantú, I., Hernández, F. J., & Bejar, S. J. (2023). Efectos del manejo forestal en la emisión de CO₂ de un suelo umbrisol en bosques de Durango, México. *Polibotánica*, 56, 101–114. <https://doi.org/10.18387/polibotanica.56.6>
- Mamani, D. M., & Mamani, H. O. (2019). *Determinación del secuestro de dióxido de carbono (CO₂) en el suelo mediante sumideros de carbono: Puyas de Raimondi*

- (*Puya raimondii Harms*), *Pajonal con Chillihuares y Bofedal, en el distrito de Putina* – Puno, 2018 [Tesis Pregrado, Universidad Peruana Unión].
<https://repositorio.upeu.edu.pe/handle/20.500.12840/2181>
- Mamani, R. (2017). *Estimación de factores de emisión de gases de efecto invernadero en la bahía interior de Puno* [Tesis de Postgrado, Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco]. <http://repositorio.unsaac.edu.pe/handle/UNSAAC/2845>
- Martín-Chivelet, J. (2010). Ciclo del carbono y clima: La perspectiva geológica. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 18(1), Artículo 1.
<https://raco.cat/index.php/ECT/article/view/200083>
- Medrano, R., Chupan, L., & Vila, M. (2012). Almacenamiento de carbono en especies predominantes de flora en el lago Chinchaycocha. *Apuntes de Ciencia & Sociedad*, 2(2), Artículo 2. <https://doi.org/10.18259/acs.2012013>
- Metcalf, 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. (2014). *Guía para el muestreo de suelos*. MAVET IMPRESIONES E.I.R.L.
<https://www.minam.gob.pe/calidadambiental/wp-content/uploads/sites/22/2013/10/GUIA-PARA-EL-MUESTREO-DE-SUELOS-final.pdf>
- MINAM. (2019a). *Guía de evaluación del estado del ecosistema de bofedal*.
<https://sinia.minam.gob.pe/documentos/guia-evaluacion-estado-ecosistema-bofedal>
- MINAM. (2019b). *Mapa Nacional de Ecosistemas del Perú: Memoria descriptiva*. Ministerio del Ambiente.
<https://sinia.minam.gob.pe/mapas/mapa-nacional-ecosistemas-peru>
- Oertel, C., Matschullat, J., Zurba, K., Zimmermann, F., & Erasmi, S. (2016). Greenhouse

- gas emissions from soils-A review. *Geochemistry*, 76(3), 327–352.
<https://doi.org/10.1016/j.chemer.2016.04.002>
- Palomino, D. (2007). *Estimación del servicio ambiental de captura del CO2 en la flora de Los Humedales de Puerto Viejo* [Tesis de Postgrado, Universidad Nacional Mayor de San Marcos]. <https://cybertesis.unmsm.edu.pe/handle/20.500.12672/800>
- Paz, F., Wong, J. C., & Torres, R. (2015). *Estado Actual del Conocimiento del Ciclo del Carbono y sus Interacciones en México: Síntesis a 2015*. Programa Mexicano del Carbono en colaboración con el Centro del Cambio Global y la Sustentabilidad en el Sureste, A.C y el Centro Internacional de Vinculación y Enseñanza de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.
- Pinto-Junior, O. B., Sanches, L., Dalmolin, A. C., & Nogueira, J. S. de. (2009). Eflujo de CO2 do solo em floresta de transição Amazônia Cerrado e em área de pastagem. *Acta Amazonica*, 39, 813–821.
<https://doi.org/10.1590/S0044-59672009000400009>
- Porlles, M. A. (2011). *Flujo y stock de carbono de suelos en tres tipos de bosques de la amazonía peruana Jenaro Herrera—Loreto* [Tesis Pregrado, Universidad Agraria La Molina]. <http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/UNALM/1655>
- PP-Systems. (2010). *Pp systems EGM-4 Manuals | ManualsLib*.
<https://www.manualslib.com/products/Pp-Systems-Egm-4-9049787.html>
- Rimski-Korsakov, H., & Álvarez, C. R. (2015). *Manejo de la fertilidad del suelo en planteos orgánicos* (Vol. 59). Universidad de Buenos Aires.
https://www.ciaorganico.net/documypublic/126_libro_fertilidad_de_suelos-pvo_isbn.pdf#page=59
- Rosenzweig, C., & Hillel, D. (2000). Soil and global climate change: Challenges and opportunities. *Soil Science*, 165(1), 47–56.
https://journals.lww.com/soilsci/Abstract/2000/01000/SOILS_AND_GLOBAL_CLIMATE_CHANGE__CHALLENGES_AND.7.aspx
- Rugnitz, M. T., Chacón, M. L., & Porro, R. (2009). *Guía para la Determinación de Carbono*

- en Pequeñas Propiedades Rurales* (1° ed). Centro Mundial Agroflorestal (ICRAF) / Consórcio Iniciativa Amazônica (IA).
- Salinas, L. (2018). *Emisión de CO2 en suelos de pastizales y bosques* [Tesis de Maestría, Universidad Autónoma del Estado de México]. <http://ri.uaemex.mx/handle/20.500.11799/98956>
- Secaira, S. K. (2018). *Modelo de compensación para la conservación de los bofedales en la Reserva de Producción de Fauna Chimborazo, basado en el carbono orgánico almacenado en suelo y vegetación* [Tesis Pregrado, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo]. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/9361>
- Sequeiros, D. A., & Cazorla, J. O. (2020). Servicio ambiental de captura de carbono de los bofedales del Centro Poblado Alto Perú, Tacna. *INGENIERÍA INVESTIGA*, 2(2), Artículo 2. <https://doi.org/10.47796/ing.v2i2.411>
- 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, C. M. da, Vasconcelos, S. S., Mourão Júnior, M., Bispo, C. J. C., Kato, O. R., Silva Junior, A. C. da, & Castellani, D. C. (2016). Variação temporal do efluxo de CO2 do solo em sistemas agroflorestais com palma de óleo na Amazônia Oriental. *Acta Amazonica*, 46(1), 1–12. <https://doi.org/10.1590/1809-4392201500193>
- Souza, G. N. B. de, Araujo, A. C. de, Vasconcelos, S. S., Leal, L. do S. M., Pinto, C. a. D., & Costa, A. C. L. da. (2017). Influência da umidade do solo sobre a variação do efluxo de CO2 do solo na floresta nacional de Caxiuanã-PA. *X Workshop Brasileiro de Micrometeorologia*, 1–6. <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/handle/doc/1084932>
- Torres, C. D. (2015). *Influencia de la materia orgánica en la emisión de dióxido de carbono de la población bacteriana del suelo agrícola en Huancán—Junín* [Tesis Pregrado, Universidad Alas Peruanas].

<https://repositorio.uap.edu.pe/xmlui/handle/20.500.12990/1916>

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

Walkley, A., & Black, I. A. (1934). An examination of the degtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science*, 37(1), 29–38. https://journals.lww.com/soilsci/Citation/1934/01000/An_Examination_of_the_Degtjareff_Method_for.3.aspx3

Warner, D. L., Vargas, R., Seyfferth, A., & Inamdar, S. (2018). Transitional slopes act as hotspots of both soil CO₂ emission and CH₄ uptake in a temperate forest landscape. *Biogeochemistry*, 138(2), 121–135. <https://doi.org/10.1007/s10533-018-0435-0>

ANEXOS

Anexo 01: Matriz de consistencia: RESERVA DE CARBONO Y EMISIÓN DE DIÓXIDO DE CARBONO DEL BOFEDAL EN EL SECTOR VIZCACHANI, DISTRITO DE CAPASO, EL COLLAO - 2022

| PROBLEMA | OBJETIVOS | HIPÓTESIS | VARIABLES | INDICADORES | INSTRUMENTOS | TÉCNICA DE PROCESAMIENTO DE DATOS |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>GENERAL ¿Cuánto será la reserva de carbono y emisión de dióxido de carbono del bofedal en el sector Vizcachani, distrito de Capaso, El Collao - 2022? ESPECÍFICOS ¿Cuánto será la cantidad de reserva de carbono y dióxido de carbono existente en el bofedal del sector Vizcachani? ¿Qué cantidad de dióxido de carbono emite en la estación lluviosa y seca en el bofedal del sector Vizcachani? ¿Cómo se correlacionan las variables ambientales con la emisión de dióxido de carbono en estación lluviosa y seca en el bofedal del sector vizcachani?</p> | <p>GENERAL Evaluar las reservas de carbono y emisiones de dióxido de carbono del bofedal del sector Vizcachani, distrito de Capaso, El Collao – 2022 ESPECÍFICOS Estimar la reserva de carbono y dióxido de carbono del bofedal del sector Vizcachani; Cuantificar el dióxido de carbono emitido durante la estación lluviosa y seca por el bofedal del sector Vizcachani; Correlacionar las variables ambientales con la emisión de dióxido de carbono en estación lluviosa y seca en el bofedal del sector vizcachani.</p> | <p>GENERAL La reserva de carbono es menor que la emisión de dióxido de carbono del bofedal del sector Vizcachani, distrito de Capaso, El Collao - 2022. ESPECÍFICOS En el bofedal del sector Vizcachani almacena una cantidad apreciable de carbono y dióxido de carbono. Existe diferencia de emisión de dióxido de carbono entre la estación lluviosa y seca en el bofedal del sector Vizcachani. Las variables ambientales se correlacionan con la emisión de dióxido de carbono durante la estación lluviosa y seca del bofedal del sector Vizcachani.</p> | <p>Independiente: Bofedal del sector vizcachani. Dependiente : Reserva de carbono y emisión de CO₂</p> | <p>Humedad del suelo Temperatura del suelo pH Carbono orgánico (TC/ha) emisión de CO₂ (g m⁻² d⁻¹)</p> | <p>Técnica: Medición directa en campo Instrumento: Cámara dinámica cerrada de respiración (SRC-1, PP Systems, USA) conectado a un sensor infrarrojo (IRGA) (EGM-4, PP Systems, USA)</p> | <ul style="list-style-type: none"> • Análisis estadístico • Cálculo de reserva de carbono, emisión de CO₂ • Tablas de resultados y gráficos. • Tipo de investigación: Descriptivo correlacional, • Diseño de investigación: No experimental, - Longitudinal, • Método: Deductivo cuantitativo |

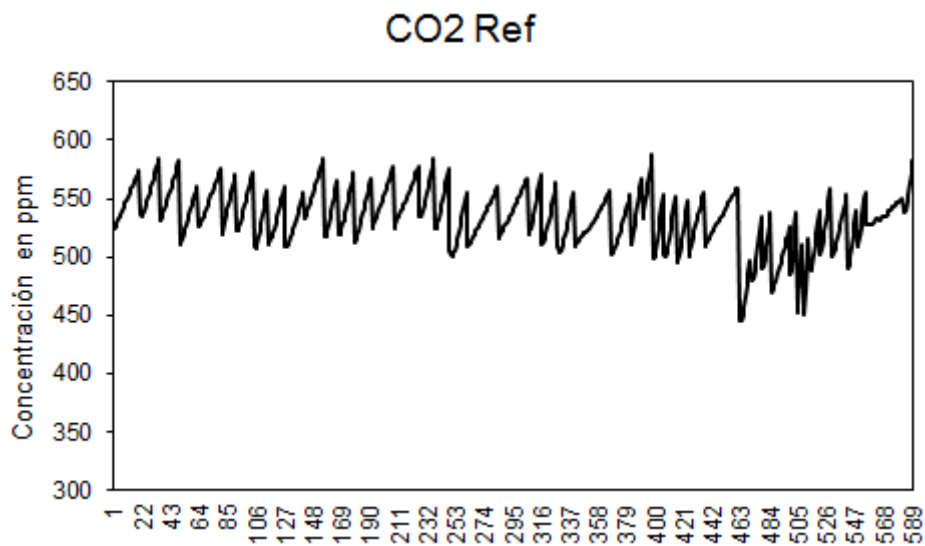
Anexo 02: Datos de medición de un punto de muestreo por EGM-4

| ;Plot | RecNo | CO2 Ref | mbR Temp | Input E | Input F | ATMP |
|--------------|--------------|----------------|---------------------|----------------|----------------|-------------|
| 1 | 1 | 508 | 20.2 | 0 | 0 | 606 |
| 1 | 2 | 510 | 20.2 | 4 | 0 | 606 |
| 1 | 3 | 512 | 20.2 | 9 | 0 | 606 |
| 1 | 4 | 514 | 20.2 | 14 | 0.24 | 606 |
| 1 | 5 | 515 | 20.2 | 19 | 0.23 | 606 |
| 1 | 6 | 517 | 20.2 | 24 | 0.21 | 606 |
| 1 | 7 | 519 | 20.2 | 28 | 0.22 | 606 |
| 1 | 8 | 520 | 20.2 | 33 | 0.21 | 606 |
| 1 | 9 | 521 | 20.2 | 38 | 0.21 | 606 |
| 1 | 10 | 523 | 20.2 | 43 | 0.2 | 606 |
| 1 | 11 | 523 | 20.1 | 48 | 0.19 | 606 |
| 1 | 12 | 525 | 20.1 | 52 | 0.19 | 606 |
| 1 | 13 | 527 | 20 | 57 | 0.19 | 606 |
| 1 | 14 | 529 | 20 | 62 | 0.19 | 606 |
| 1 | 15 | 530 | 20 | 67 | 0.19 | 606 |
| 1 | 16 | 532 | 20 | 72 | 0.19 | 606 |
| 1 | 17 | 535 | 20 | 76 | 0.2 | 606 |
| 1 | 18 | 537 | 20 | 81 | 0.2 | 606 |
| 1 | 19 | 539 | 20 | 86 | 0.2 | 606 |
| 1 | 20 | 541 | 20 | 91 | 0.21 | 606 |
| 1 | 21 | 543 | 20 | 96 | 0.21 | 606 |
| 1 | 22 | 545 | 20 | 100 | 0.21 | 606 |
| 1 | 23 | 548 | 20 | 105 | 0.21 | 606 |
| 1 | 24 | 550 | 20 | 110 | 0.22 | 606 |

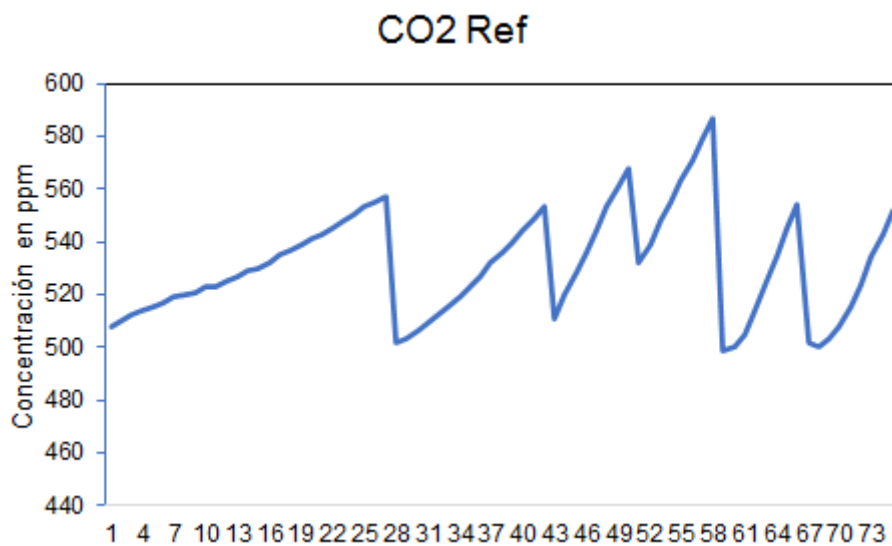
| | | | | | | |
|---|----|-----|------|-----|------|-----|
| 1 | 25 | 553 | 19.9 | 115 | 0.22 | 606 |
| 1 | 26 | 555 | 19.9 | 120 | 0.22 | 606 |
| 1 | 27 | 557 | 19.9 | 124 | 0.23 | 606 |
| 2 | 1 | 502 | 20 | 0 | 0 | 606 |
| 2 | 2 | 503 | 20 | 4 | 0 | 606 |
| 2 | 3 | 506 | 20.1 | 9 | 0 | 606 |
| 2 | 4 | 509 | 20.1 | 14 | 0.29 | 606 |
| 2 | 5 | 512 | 20.2 | 19 | 0.31 | 606 |
| 2 | 6 | 515 | 20.2 | 24 | 0.33 | 606 |
| 2 | 7 | 519 | 20.2 | 28 | 0.34 | 606 |
| 2 | 8 | 523 | 20.2 | 33 | 0.36 | 606 |
| 2 | 9 | 527 | 20.2 | 38 | 0.38 | 606 |
| 2 | 10 | 532 | 20.1 | 43 | 0.4 | 606 |
| 2 | 11 | 536 | 20.1 | 48 | 0.41 | 606 |
| 2 | 12 | 540 | 20.1 | 52 | 0.43 | 606 |
| 2 | 13 | 544 | 20.1 | 57 | 0.44 | 606 |
| 2 | 14 | 549 | 20.2 | 62 | 0.45 | 606 |
| 2 | 15 | 553 | 20.2 | 67 | 0.45 | 606 |
| 3 | 1 | 511 | 20.4 | 0 | 0 | 606 |
| 3 | 2 | 520 | 20.4 | 4 | 0 | 606 |
| 3 | 3 | 528 | 20.4 | 9 | 0 | 606 |
| 3 | 4 | 536 | 20.4 | 14 | 0.97 | 606 |
| 3 | 5 | 544 | 20.4 | 19 | 0.97 | 606 |
| 3 | 6 | 553 | 20.4 | 24 | 0.98 | 606 |
| 3 | 7 | 561 | 20.4 | 28 | 0.99 | 606 |
| 3 | 8 | 568 | 20.4 | 33 | 0.98 | 606 |

| | | | | | | |
|---|---|-----|------|----|------|-----|
| 4 | 1 | 532 | 20.2 | 0 | 0 | 606 |
| 4 | 2 | 539 | 20.2 | 4 | 0 | 606 |
| 4 | 3 | 548 | 20.1 | 9 | 0 | 606 |
| 4 | 4 | 555 | 20.2 | 14 | 0.95 | 606 |
| 4 | 5 | 563 | 20.2 | 19 | 0.94 | 606 |
| 4 | 6 | 571 | 20.1 | 24 | 0.94 | 606 |
| 4 | 7 | 579 | 20.1 | 28 | 0.95 | 606 |
| 4 | 8 | 587 | 20.1 | 33 | 0.94 | 606 |
| 5 | 1 | 499 | 20.3 | 0 | 0 | 606 |
| 5 | 2 | 500 | 20.2 | 4 | 0 | 606 |
| 5 | 3 | 505 | 20.3 | 9 | 0 | 606 |
| 5 | 4 | 514 | 20.3 | 14 | 0.57 | 606 |
| 5 | 5 | 525 | 20.3 | 19 | 0.77 | 606 |
| 5 | 6 | 534 | 20.4 | 24 | 0.88 | 606 |
| 5 | 7 | 545 | 20.4 | 28 | 0.96 | 606 |
| 5 | 8 | 554 | 20.4 | 33 | 1.01 | 606 |
| 6 | 1 | 502 | 20.6 | 0 | 0 | 606 |
| 6 | 2 | 500 | 20.6 | 4 | 0 | 606 |
| 6 | 3 | 503 | 20.6 | 9 | 0 | 606 |
| 6 | 4 | 508 | 20.6 | 14 | 0.24 | 606 |
| 6 | 5 | 515 | 20.6 | 19 | 0.41 | 606 |
| 6 | 6 | 524 | 20.6 | 24 | 0.55 | 606 |
| 6 | 7 | 534 | 20.6 | 28 | 0.66 | 606 |
| 6 | 8 | 543 | 20.7 | 33 | 0.75 | 606 |
| 6 | 9 | 552 | 20.7 | 38 | 0.8 | 606 |

Anexo 03: Gráfico lineal de concentración de CO₂ medido por EGM-4, en un día de medición



Anexo 04: Gráfico lineal de concentración de CO₂ medido por EGM-4, en un punto de medición (seis cámaras de medición)



Anexo 05: Cálculo de flujo de CO₂ del suelos en bofedal del sector Vizcachani - Capaso

| Cámara | Altura da câmara (cm) | | | | | Vc (m3) | Vd | Variación CO2 ppm/s | Presión (mb) | Presión/1000 (pa) | Temperatura °C | Tempe (273/t+273) |
|--------|-----------------------|-----|-----|-----|-------|------------|-----------|------------------------|-----------------|----------------------|-------------------|----------------------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | Média | | | | | | | |
| C1 | 6 | 7 | 7.3 | 7.3 | 6.9 | 0.00054192 | 0.0012287 | 0.96976744 | 602.00 | 0.602 | 16.19 | 0.9440 |
| C2 | 7 | 7.3 | 8 | 6.8 | 7.275 | 0.00057138 | 0.0012287 | 0.85416667 | 602.00 | 0.602 | 16.58 | 0.9427 |
| C3 | 7.6 | 6.5 | 6.8 | 6.7 | 6.9 | 0.00054192 | 0.0012287 | 0.85416667 | 602.00 | 0.602 | 17.55 | 0.9396 |
| C4 | 6.9 | 6.5 | 7 | 7 | 6.85 | 0.000538 | 0.0012287 | 0.85416667 | 602.00 | 0.602 | 18.77 | 0.9357 |
| C5 | 7.9 | 8 | 8 | 7.7 | 7.9 | 0.00062046 | 0.0012287 | 0.70833333 | 602.00 | 0.602 | 20.03 | 0.9317 |
| C6 | 6.8 | 7.2 | 6.6 | 6.5 | 6.775 | 0.00053211 | 0.0012287 | 1.08333333 | 602.00 | 0.602 | 20.66 | 0.9296 |

| Peso molecular CO2 44 g/mol | Área cob cam m^2 | Vd/A | hora a seg | RUC FCO2 g m^-2 h^-1 | Va + Vd | Rc = FCO2 g m^-2 h^-1 | Flujo CO2 umol m-2 s-1 |
|--------------------------------|---------------------|------------|------------|-------------------------|------------|--------------------------|---------------------------|
| | | 1000 | | | Vd | | |
| 1.96386 | 0.00785 | 0.00015644 | 3600 | 0.60955119 | 1.44105528 | 0.8784 | 5.5444 |
| 1.96386 | 0.00785 | 0.00015644 | 3600 | 0.53616511 | 1.46502567 | 0.7855 | 4.9580 |
| 1.96386 | 0.00785 | 0.00015644 | 3600 | 0.53437012 | 1.44105528 | 0.7701 | 4.8606 |
| 1.96386 | 0.00785 | 0.00015644 | 3600 | 0.53213907 | 1.43785923 | 0.7651 | 4.8296 |
| 1.96386 | 0.00785 | 0.00015644 | 3600 | 0.43939676 | 1.50497633 | 0.6613 | 4.1740 |
| 1.96386 | 0.00785 | 0.00015644 | 3600 | 0.67056233 | 1.43306515 | 0.9610 | 6.0656 |

Anexo 06: Análisis de varianza de días de muestreo de CO₂

Análisis de la varianza

| Época | Variable | N | R ² | R ² Aj | CV |
|-------|------------|----|----------------|-------------------|-------|
| 1 | FCO2 Mauro | 96 | 0,36 | 0,34 | 25,22 |

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
|--------|-------|----|------|-------|---------|
| Modelo | 20,13 | 3 | 6,71 | 17,22 | <0,0001 |
| Fecha | 20,13 | 3 | 6,71 | 17,22 | <0,0001 |
| Error | 35,85 | 92 | 0,39 | | |
| Total | 55,98 | 95 | | | |

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=0,47152

Error: 0,3897 gl: 92

| Fecha | Medias | n | E.E. | |
|-------|--------|----|------|-----|
| 1 | 3,20 | 24 | 0,13 | A |
| 2 | 2,53 | 24 | 0,13 | B |
| 3 | 2,13 | 24 | 0,13 | B C |
| 4 | 2,05 | 24 | 0,13 | C |

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

| Época | Variable | N | R ² | R ² Aj | CV |
|-------|------------|----|----------------|-------------------|-------|
| 2 | FCO2_Mauro | 96 | 0,39 | 0,37 | 26,21 |

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
|--------|--------|----|-------|-------|---------|
| Modelo | 180,19 | 3 | 60,06 | 19,75 | <0,0001 |
| Fecha | 180,19 | 3 | 60,06 | 19,75 | <0,0001 |
| Error | 279,85 | 92 | 3,04 | | |
| Total | 460,04 | 95 | | | |

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=1,31739

Error: 3,0418 gl: 92

| Fecha | Medias | n | E.E. | |
|-------|--------|----|------|---|
| 5 | 8,92 | 24 | 0,36 | A |
| 7 | 6,47 | 24 | 0,36 | B |
| 8 | 5,94 | 24 | 0,36 | B |
| 6 | 5,29 | 24 | 0,36 | B |

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

Anexo 07: Análisis de varianza de CO₂ en época seca y lluviosa

Análisis de la varianza

| Variable | N | R ² | R ² Aj | CV |
|------------|-----|----------------|-------------------|-------|
| FCO2_Mauro | 192 | 0,62 | 0,62 | 36,10 |

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
|--------|---------|-----|--------|--------|---------|
| Modelo | 838,34 | 1 | 838,34 | 308,68 | <0,0001 |
| Época | 838,34 | 1 | 838,34 | 308,68 | <0,0001 |
| Error | 516,01 | 190 | 2,72 | | |
| Total | 1354,35 | 191 | | | |

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=0,46677

Error: 2,7159 gl: 190

| Época | Medias | n | E.E. | |
|-------|--------|----|------|---|
| 2 | 6,65 | 96 | 0,17 | A |
| 1 | 2,48 | 96 | 0,17 | B |

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

Anexo 08: Cálculos de contenido de carbono por hectárea (TC/ha) y captura de dióxido de carbono (TCO₂/ha) en suelo en época seca

| Punto | % CCO | Da (g/m ³) | P (m) | TC/ha | TCO ₂ /ha |
|-------|-------|------------------------|-------|--------|----------------------|
| P1-1 | 22.75 | 350000 | 0.1 | 79.625 | 291.96 |
| P1-2 | 16.34 | 180000 | 0.1 | 29.412 | 107.84 |
| P2-1 | 22.81 | 260000 | 0.1 | 59.306 | 217.46 |
| P2-2 | 25.1 | 120000 | 0.1 | 30.12 | 110.44 |
| P3-1 | 22.4 | 380000 | 0.1 | 85.12 | 312.11 |
| P3-2 | 16.26 | 440000 | 0.1 | 71.544 | 262.33 |
| P4-1 | 22.79 | 120000 | 0.1 | 27.348 | 100.28 |
| P4-2 | 25.06 | 160000 | 0.1 | 40.096 | 147.02 |

Anexo 09: Cálculos de contenido de carbono por hectárea (TC/ha) y captura de dióxido de carbono (TCO₂/ha) en suelo en época lluviosa

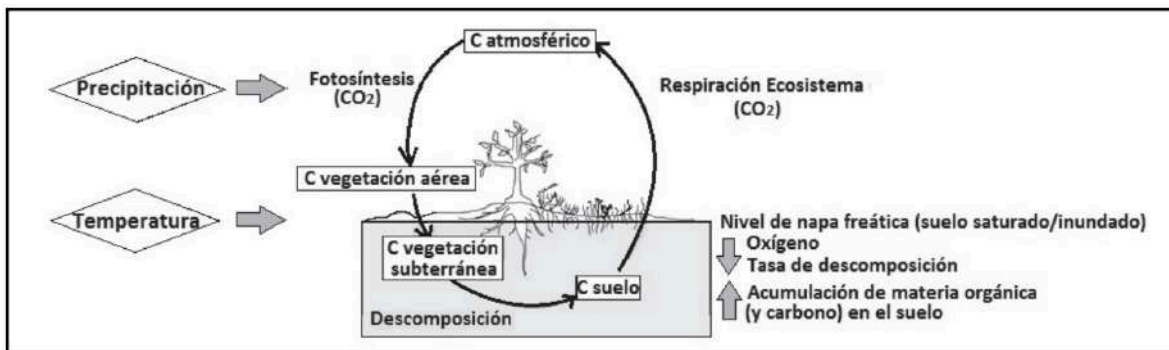
| Punto | % CCO | Da (g/m ³) | P (m) | TC/ha | TCO ₂ /ha |
|-------|-------|------------------------|-------|--------|----------------------|
| P1-1 | 35.96 | 310000 | 0.1 | 111.48 | 408.75 |
| P1-2 | 32.48 | 260000 | 0.1 | 84.45 | 309.64 |
| P2-1 | 22.39 | 230000 | 0.1 | 51.50 | 188.82 |
| P2-2 | 25.14 | 160000 | 0.1 | 40.22 | 147.49 |
| P3-1 | 20.7 | 340000 | 0.1 | 70.38 | 258.06 |
| P3-2 | 23.04 | 340000 | 0.1 | 78.34 | 287.23 |
| P4-1 | 39.87 | 190000 | 0.1 | 75.75 | 277.76 |
| P4-2 | 33.14 | 220000 | 0.1 | 72.91 | 267.33 |

Anexo 10: Mapa de ubicación de los bofedales



Fuente: (MINAM, 2019a).

Anexo 11: Ciclo del carbono (C) en humedales



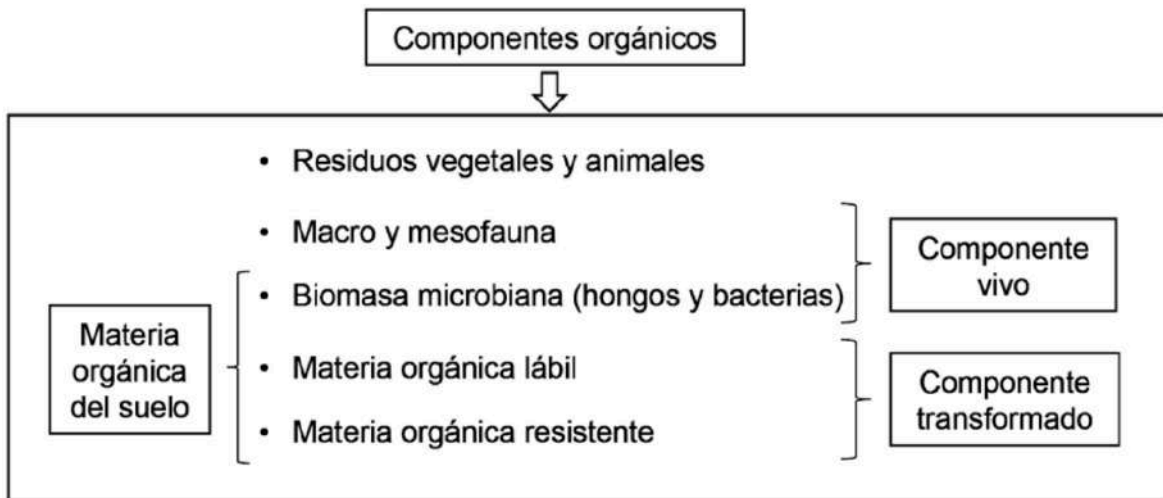
Fuente: (Enriquez & Cremona, 2017).

Anexo 12: Modo de muestreo para la medición de la densidad aparente



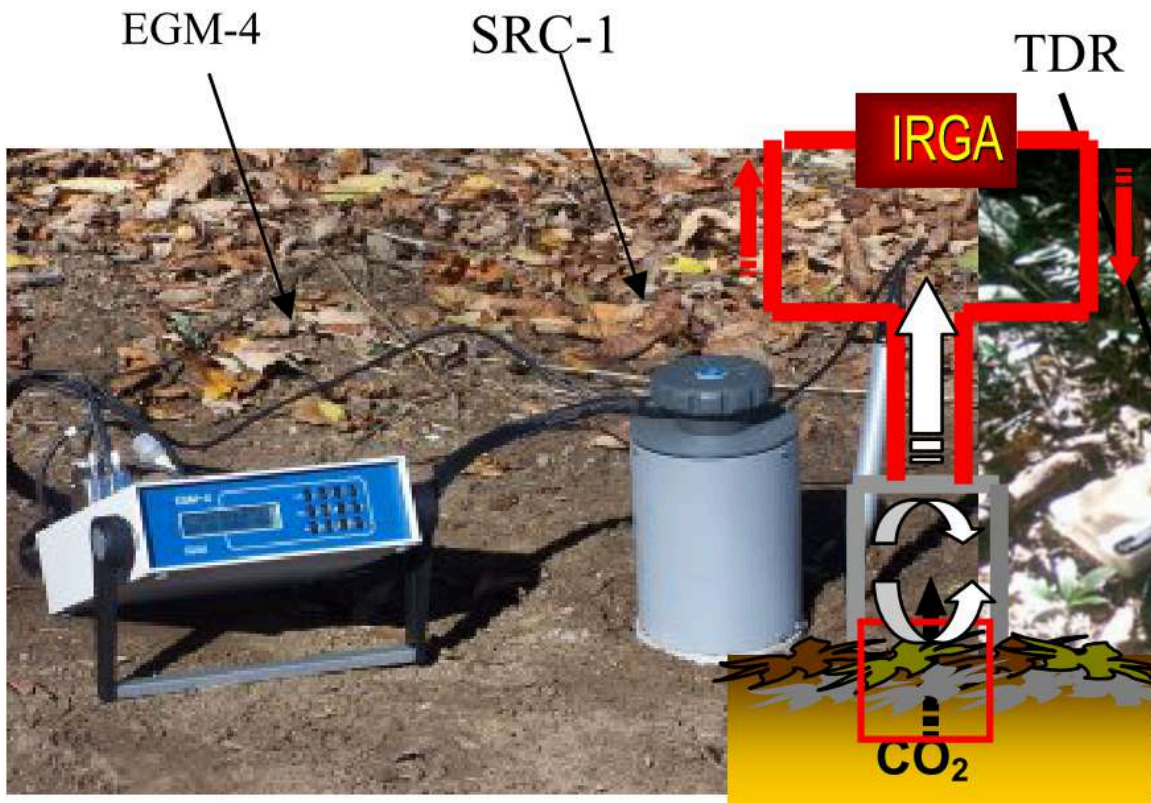
Fuente: (MINAM, 2019a).

Anexo 13: Componentes orgánicos presentes en el suelo



Fuente: (Rimski-Korsakov & Álvarez, 2015)

Anexo 14: Analizador de gases infrarrojo (PP-Systems EGM-4), cámara de respiración (SC-1 sistema IRGA)



Fuente: (PP-Systems, 2010).

Anexo 15: Panel fotográfico época seca



Figura 08: Bofedal del sector Vizcachani en época seca



Figura 09: Equipos utilizados para medición de CO₂ e variables ambientales



Figura 10: Equipos utilizados en medición de flujo de CO₂



Figura 11: Medición de variables ambientales en bofedal

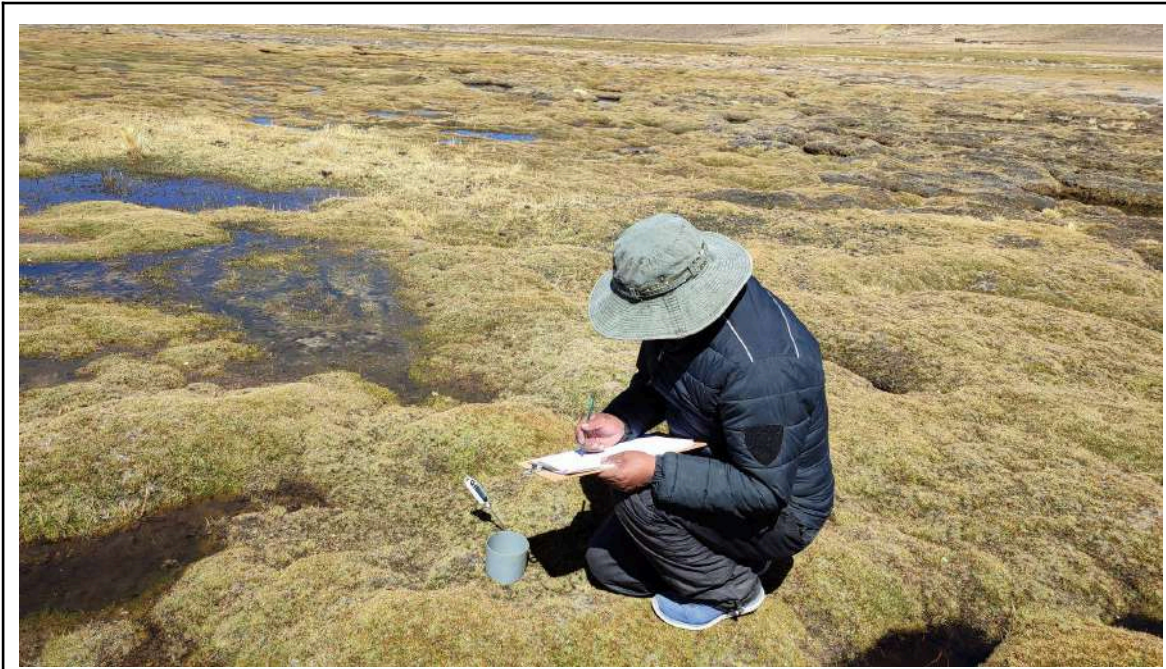


Figura 12: Medición de temperatura del suelo



Figura 13: Medición y registro de temperatura, humedad, velocidad del viento, presión e iluminación del aire



Figura 14: Registro de diferentes variables ambientales



Figura 15: Medición de altura de las cámaras de flujo de CO₂



Figura 16: Cámaras utilizadas para medición de flujo de CO₂



Figura 17: Equipo EGM-4



Figura 18: Medición de concentración de CO₂ del suelo



Figura 19: Programación del equipo EGM-4 antes de la medición



Figura 20: Liberación de aire acumulado en medición anterior



Figura 21: Colocando equipo de medición de CO₂ a los tubos de PVC



Figura 22: Limpiando terreno para muestreo en cilindros para densidad aparente



Figura 23: Cilindros me muestreo para densidad aparente



Figura 24: Muestreadores inseridos al suelo



Figura 25: Muestreo de suelo y raíces para procesar en el laboratorio

Figura 26: Panel fotográfico época lluviosa



Figura 27: Bofedal del sector Vizcachani en época lluviosa



Figura 28: Insertando los tubos de PVC para medición de flujo de CO₂



Figura 29: Medición distancia del tubo para muestrear



Figura 30: Medición de pH del suelo



Figura 31: Tubos de PVC utilizados para medición de flujo de CO₂

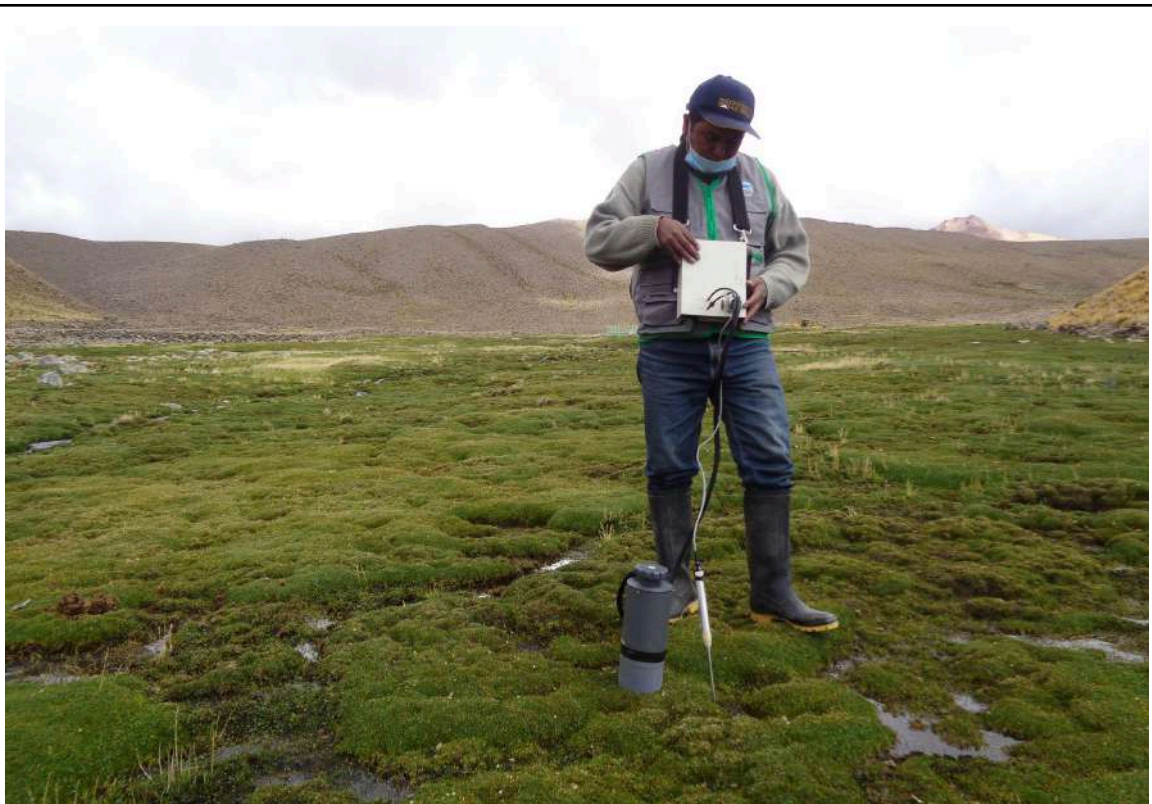


Figura 32: Programando el equipo EGM-4 para medición



Figura 33: Liberando CO₂ concentrado en medición anterior



Figura 34: Inserindo equipo EGM-4 para medición de concentración de CO₂

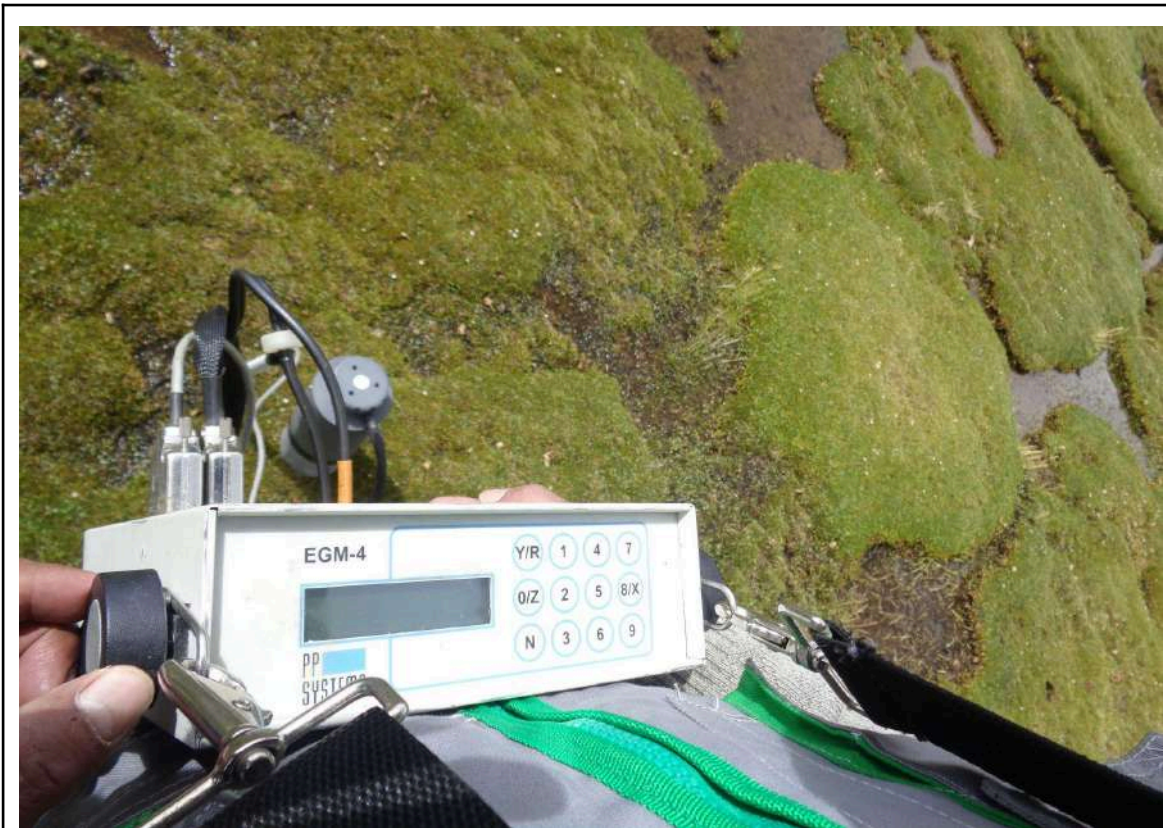


Figura 35: Equipo EGM-4

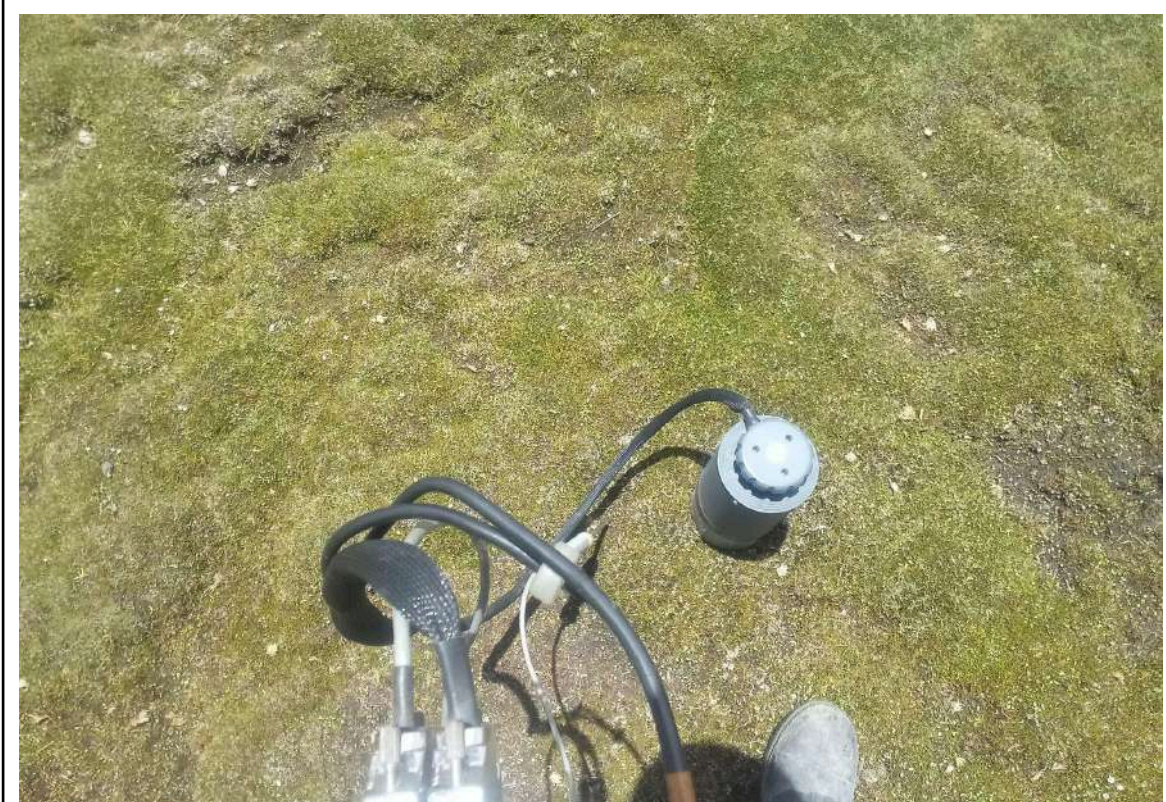


Figura 36: Medición de flujo de CO₂



Figura 37: Medición de variables ambientales del aire con anemometro



Figura 38: Medición de pH del suelo



Figura 39: Medición de altura de tubos de PVC



Figura 40: Medición de altura del agua



Figura 41: Muestreo de suelos



Figura 42: Guardando suelos para ser analizado en laboratorio



Figura 43: Muestras de raíz y pesado en laboratorio



Figura 44: Muestras para medición y cálculo de densidad aparente



Figura 45 Procesamiento y pesado de muestras



Figura 46: Equipo de secado de muestras



Figura 47: Muestras para materia seca



Figura 48: Muestras en estufa para materia seca

Anexo 16: Resultado de análisis de suelo en época seca



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



RESULTADO DE ANÁLISIS

ASUNTO: ANALISIS DE CARBONO ORGANICO, MATERIA ORGANICA, HUMEDAD, CONDUCTIVIDAD ELECTRICA, pH Y HUMEDAD DE RAIZ

| | |
|-------------------|-------------------------------------------------------|
| PROCEDENCIA | : VIZCACHANI – DIST. CAPASO – PROV. EL COLLAO - ILAVE |
| INTERESADO | : MAMANI MAMANI MAURO |
| FECHA DE MUESTREO | : 31/07/2022 (ÉPOCA SECA) |
| FECHA DE ANALISIS | : 10/08/2022 |

RESULTADOS:
DETERMINACIONES FÍSICO-QUÍMICA DE SUELO

| CODIGO DE MUESTRAS | (P1-1) | (P1-2) | (P2-1) | (P2-2) | (P3-1) | (P3-2) | (P4-1) | (P4-2) |
|-------------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| CARBONO ORGANICO % | 22.75 | 16.34 | 22.81 | 25.10 | 22.40 | 16.26 | 22.79 | 25.06 |
| MATERIA ORGANICA % | 39.22 | 28.17 | 39.32 | 43.27 | 38.62 | 28.03 | 39.29 | 43.20 |
| HUMEDAD DE SUELO % | 84.45 | 79.98 | 83.43 | 83.59 | 84.45 | 80.43 | 84.28 | 83.39 |
| CONDUCTIVIDAD ELECTRICA mS/cm | 0.29 | 0.13 | 0.14 | 0.28 | 0.27 | 0.12 | 0.12 | 0.26 |
| PH DE SUELO | 6.01 | 6.13 | 6.06 | 5.88 | 6.04 | 6.07 | 6.01 | 5.90 |
| DENSIDAD APARENTE g/cm ³ | 0.35 | 0.18 | 0.26 | 0.12 | 0.38 | 0.44 | 0.12 | 0.16 |


| CODIGO DE MUESTRAS | (P1) | (P2) | (P3) | (P4) |
|------------------------|-------|-------|-------|-------|
| HUMEDAD DE RAIZ % | 51.58 | 55.32 | 62.04 | 61.26 |
| MATERIA SECA DE RAIZ % | 48.42 | 44.68 | 37.96 | 38.74 |




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



Anexo 17: Resultado de análisis de suelo en época lluviosa



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



RESULTADO DE ANÁLISIS

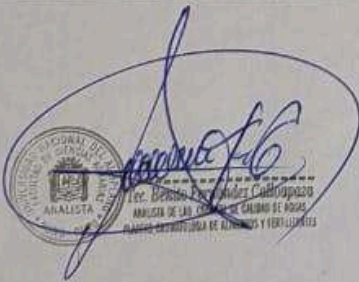
ASUNTO: ANALISIS DE CARBONO ORGANICO, MATERIA ORGANICA, HUMEDAD, CONDUCTIVIDAD ELECTRICA, pH Y HUMEDAD DE RAIZ

| | |
|-------------------|-------------------------------------------------------|
| PROCEDENCIA | : VIZCACHANI – DIST. CAPASO – PROV. EL COLLAO - ILAVE |
| INTERESADO | : MAMANI MAMANI MAURO |
| FECHA DE MUESTREO | : 12/01/2023 (ÉPOCA LLUVIOSA) |
| FECHA DE ANALISIS | : 16/01/2023 |


RESULTADOS:
DETERMINACIONES FÍSICO-QUÍMICA DE SUELO

| CODIGO DE MUESTRAS | (P1-1) | (P1-2) | (P2-1) | (P2-2) | (P3-1) | (P3-2) | (P4-1) | (P4-2) |
|-------------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| CARBONO ORGANICO % | 35.96 | 32.48 | 22.39 | 25.14 | 20.70 | 23.04 | 39.87 | 33.14 |
| MATERIA ORGANICA % | 62.00 | 56.00 | 38.60 | 43.34 | 35.69 | 39.72 | 68.74 | 57.13 |
| HUMEDAD DE SUELO % | 86.38 | 87.12 | 84.36 | 86.04 | 90.96 | 87.45 | 76.62 | 80.12 |
| CONDUCTIVIDAD ELECTRICA mS/cm | 0.29 | 0.13 | 0.14 | 0.28 | 0.27 | 0.12 | 0.12 | 0.26 |
| PH DE SUELO | 5.86 | 6.05 | 5.76 | 5.80 | 5.89 | 5.90 | 5.81 | 5.92 |
| DENSIDAD APARENTE g/cm ³ | 0.31 | 0.26 | 0.23 | 0.16 | 0.37 | 0.34 | 0.19 | 0.22 |


| CODIGO DE MUESTRAS | (P1) | (P2) | (P3) | (P4) |
|------------------------|-------|-------|-------|-------|
| HUMEDAD DE RAIZ % | 71.88 | 86.72 | 84.92 | 79.64 |
| MATERIA SECA DE RAIZ % | 28.12 | 13.28 | 15.08 | 20.36 |



ANALISTA
Ing. Evaristo Mamani Mamani
 ANALISTA DE LABORATORIO DE SUELOS Y AGUAS
 LABORATORIO DE SUELOS Y AGUAS



JEFATURA
LABORATORIO DE SUELOS Y AGUAS
 PUNO - PERU



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