



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGRONÓMICA



**EFECTO DE LOS USOS DEL SUELO EN EL FLUJO DE DIÓXIDO
DE CARBONO DEL SUELO EN EL C.E. ILLPA PUNO**

TESIS

PRESENTADA POR:

Bach. LUZDALIA NINA PARI

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO AGRÓNOMO

PUNO - PERÚ

2023



Reporte de similitud

NOMBRE DEL TRABAJO

**EFFECTO DE LOS USOS DEL SUELO EN EL
FLUJO DE DIÓXIDO DE CARBONO DEL S
UELO EN EL C.E. ILLPA PUNO**

AUTOR

LUZDALIA NINA PARI

RECuento DE PALABRAS

28165 Words

RECuento DE CARACTERES

121945 Characters

RECuento DE PÁGINAS

110 Pages

TAMAÑO DEL ARCHIVO

4.3MB

FECHA DE ENTREGA

Nov 27, 2023 10:43 AM GMT-5

FECHA DEL INFORME

Nov 27, 2023 10:45 AM GMT-5

● 17% de similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base de datos

- 16% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 8% Base de datos de trabajos entregados
- 4% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

● Excluir del Reporte de Similitud

- Material bibliográfico
- Material citado
- Coincidencia baja (menos de 9 palabras)



Mg. Flavio Ortiz Cajina
DOCENTE - UNA PUNO



M. Luzdalia Nina Pari
Investigadora

Resumen



DEDICATORIA

A mi querida madre Nemecia, que me cuida y protege desde el cielo; cuya dedicación y amor han sido la base de mi vida y éxito académico. Gracias por ser mi guía, mi refugio y mi inspiración en cada paso que doy, deseo que este logro sea un tributo a tu amor y memoria, Aunque no estás aquí para compartir este logro conmigo, siento tu presencia en cada paso de mi camino y el recuerdo de tu sonrisa siempre será una gran motivación para mí, te amo mamita y espero que este logro académico te haga sentir orgullosa.

A mi padre Gabino, que me formo con buenos modales, hábitos y valores. Su fortaleza y perseverancia han sido un ejemplo constante de lo que significa luchar por nuestros sueños. Gracias por siempre estar a mi lado y animarme a seguir adelante, incluso cuando las cosas se ponían difíciles, por enseñarme que, con trabajo duro y determinación, cualquier cosa es posible. Tu constante apoyo y consejos fueron invaluable para mí.

A mis hermanos Carlos y Fredy por ser una gran motivación para nunca rendirme en los estudios y poder llegar a ser un ejemplo para ellos.

A Morat por acompañarme siempre con un destello de esperanza con sus canciones incluso en momentos de desesperación, siempre hay refugio en un abrazo amoroso y una canción que te anima siempre el día. Hay más en la vida de lo que se ve a simple vista, Morat me enseñó que hay que darle más valor a las cosas que realmente importan, como las conexiones genuinas, el amor propio y el crecimiento personal.

Luzdalia Nina Pari



AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, agradezco a Dios por ser mi guía y sostén en la realización de mis proyectos y metas, por ser quien da sabiduría y capacidad para desarrollarme en esta profesión, y por permitirme llegar con salud hasta este punto para lograr mis objetivos, con su infinita bondad y amor.

A mi alma mater Universidad Nacional del Altiplano de Puno, Facultad de Ciencias Agrarias, Escuela Profesional de Ingeniería Agronómica, docentes que me brindaron conocimientos para mi desarrollo profesional. A mi asesor de tesis que gracias a sus consejos y correcciones, hoy puedo culminar el presente trabajo investigación.

A mi director Mg. Flavio Ortiz Calcina y miembros del jurado calificador por guiarme en el desarrollo de mi tesis: D.Sc. Eleodoro Plácido Chahuares Velasquez, M.Sc. Daniel Canaza Mamani y D.Sc. Juan Carlos Luna Quecaño.

Luzdalia Nina Pari



ÍNDICE GENERAL

Pág.

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTOS

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE TABLAS

ÍNDICE DE FIGURAS

ÍNDICE DE ANEXOS

ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

RESUMEN 13

ABSTRACT..... 14

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 JUSTIFICACIÓN 16

1.2 OBJETIVO GENERAL 17

1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS 18

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 ANTECEDENTES 19

2.1.1 Internacional..... 19

2.1.2 Nacional 20



2.1.3	Local o regional.....	21
2.2	MARCO TEÓRICO	23
2.2.1	Flujo de dióxido de carbono del suelo	23
2.2.2	Procesos del suelo que desempeñan un papel en el intercambio de gases	24
2.2.3	Papel que desempeña el suelo en el intercambio de gases	25
2.2.4	Dióxido de carbono	26
2.2.5	Fuentes de emisión y aplicaciones del dióxido de carbono	27
2.2.6	Efectos sobre el medio ambiente.....	27
2.2.7	Impacto del cambio climático	28
2.2.8	Cambio climático, efecto invernadero y calentamiento global	28
2.2.9	Cambio de uso de suelo.....	29
2.2.10	Usos de suelo en el altiplano	30
2.2.11	Analizador de gases infrarrojo: EGM-4 (pp-systems, hitchin, uk, pps) EGM-4.....	31
2.3	MARCO CONCEPTUAL	32
2.3.1	Ciclo del carbono	32
2.3.2	Carbono orgánico del suelo (COS)	33
2.3.3	Sumidero de carbono.....	34
2.3.4	Sumideros de carbono y Protocolo de Kyoto.....	34
2.3.5	Cambio climático	35
2.3.6	Suelo.....	35



2.3.7	Materia orgánica del suelo (MO)	36
2.3.8	Captura de carbono.....	37

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1	ZONA DE ESTUDIO.....	38
3.2	MUESTRA.....	40
3.3	DISEÑO DE INVESTIGACIÓN	40
3.4	MEDICIÓN DE FLUJO DE DIÓXIDO DE CARBONO	40
3.5	CALCULO DE FLUJO DE DIÓXIDO DE CARBONO	41
3.6	CARBONO ORGÁNICO DEL SUELO (COS)	42
3.6.1	Muestreo de suelo.....	42
3.6.2	Análisis de laboratorio	43
3.6.3	Cálculo de concentración de carbono orgánico.....	43
3.6.4	Cálculo para determinar densidad aparente del suelo	44
3.6.5	Cálculo de reservas de carbono almacenado en suelo.....	44
3.6.6	Estimación del stock de dióxido de carbono del suelo.....	45
3.7	MEDICIÓN DE FACTORES BIÓTICOS Y ABIÓTICOS.....	45
3.8	DISEÑO ESTADÍSTICO	46

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1	CUANTIFICACIÓN DEL FLUJO DE DIÓXIDO DE CARBONO DEL SUELO EN SEIS USOS DE SUELOS EN ÉPOCA SECA Y LLUVIOSA .	47
4.1.1	Temperatura y humedad del suelo	51



4.1.2	Variables atmosféricas	53
4.1.2	Propiedades del suelo	55
4.2	ESTIMACIÓN DE LA RESERVA DE CARBONO Y DIÓXIDO DE CARBONO EN SEIS USOS DE SUELOS EN ÉPOCA SECA Y LLUVIOSA	57
4.3	INFLUENCIA DE FACTORES BIÓTICOS Y ABIÓTICOS CON DIÓXIDO DE CARBONO DEL SUELO	60
4.4	RELACIÓN ENTRE DIÓXIDO DE CARBONO DEL SUELO CON VARIABLES ATMOSFÉRICAS	62
V.	CONCLUSIONES	64
VI.	RECOMENDACIONES	66
VII.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	67
ANEXOS	80

Área: Ciencias agrarias

Línea: Cambio climático y agricultura

Fecha de sustentación: 30 de noviembre de 2023



ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Descripción de puntos de muestreo en diferentes usos de suelo en C.E. Illpa	39
Tabla 2. Flujos promedio y desviación estándar de CO ₂ del suelo en diferentes usos de suelo en el altiplano durante la temporada seca y lluviosa.	47
Tabla 3. Temperatura y humedad del suelo en diferentes usos de suelo en el altiplano durante la temporada seca y lluviosa.	52
Tabla 4. Variables ambientales del aire según diferentes usos del suelo en la época seca y lluviosa.	54
Tabla 5. Propiedades del suelo en época seca y lluviosa.	56
Tabla 6. Carbono y dióxido de carbono almacenado en los diferentes usos de suelo en época seca.	57
Tabla 7. Carbono almacenado (TnC/ha) y dióxido de carbono (TnCO ₂ /ha) en los diferentes usos de suelo en época lluviosa.	58
Tabla 8. Correlación de Pearson entre variables analizadas (Índice de significancia, p-valor <0.05) en época seca y lluviosa.	61
Tabla 9. Correlación de Pearson entre variables analizadas (Índice de significancia, p-valor <0.05) en época seca y lluviosa.	63



ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Analizador de gases infrarrojo (IRGA) (EGM-4, PP Systems, USA) y cámara de respiración (SRC-1, PP Systems, USA).....	31
Figura 2. Ciclo del carbono.....	33
Figura 3. Localización del área de estudio.....	38
Figura 4. Diferentes usos de suelo en el C.E. Illpa	39
Figura 5. Variación estacional de flujos de CO ₂ del suelo en diferentes usos de suelo en el altiplano durante la temporada seca y lluviosa (g CO ₂ m ⁻² h ⁻¹).	50
Figura 6. Reservas de carbono almacenado por diferentes usos de suelo expresado en toneladas de carbono por hectárea (TnC/ha).	59
Figura 7. Materiales y equipos utilizados para la medición de flujo de CO ₂ y variables ambientales	102
Figura 8. Diferentes muestras de suelo en laboratorio para análisis	104
Figura 9. Muestras de raíz colectas y lavados de cada uso de suelo.....	104
Figura 10. Codificación y pesado de muestras de suelo	105
Figura 11. Característica de diferentes usos de suelo	105



ÍNDICE DE ANEXOS

	Pág.
Anexo 1. Datos de medición por EGM-4 para dos usos de suelo.....	80
Anexo 2. Gráfico lineal de concentración de CO ₂ medido por EGM-4, en diferentes usos del suelo.....	97
Anexo 3. Gráfico lineal de concentración de CO ₂ medido por EGM-4, en seis cámaras de medición en un uso de suelo (Suelo cultivado con alfalfa)	97
Anexo 4. Cálculo de flujo de CO ₂ en diferentes usos del suelo.....	98
Anexo 5. Cuaderno de campo de mediciones ambientales	98
Anexo 6. Densidad aparente.....	99
Anexo 7. Cálculos de contenido de carbono por hectárea (TnC/ha) y captura de dióxido de carbono (TnCO ₂ /ha) en suelo en época seca	99
Anexo 8. Cálculos de contenido de carbono por hectárea (TnC/ha) y captura de dióxido de carbono (TnCO ₂ /ha) en suelo en época lluviosa	100
Anexo 9. Análisis de varianza de flujo de CO ₂ entre época seca y lluviosa.....	100
Anexo 10. Panel fotográfica época seca.....	103
Anexo 11. Panel fotográfica época lluviosa.....	103
Anexo 12. Análisis en laboratorio de aguas y suelos UNA – Puno.	104
Anexo 13. Resultado de análisis en época seca	107
Anexo 14. Resultado de análisis en época lluviosa.....	108
Anexo 15. Declaración jurada de autenticidad de tesis.....	109
Anexo 16. Autorización para el depósito de tesis en el repositorio institucional	110



ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

CO ₂ :	Dióxido de carbono
EGM-4:	Analizador de gases infrarrojo portátil
g CO ₂ m ⁻² h ⁻¹ :	Gramos de dióxido de carbono por metro cuadrado por hora
TC/ha:	Toneladas de carbono por hectárea
TCO ₂ /ha:	Toneladas de dióxido de carbono por hectárea
Da:	Densidad aparente
Ts:	Temperatura del suelo
Hs:	Humedad del suelo
pH:	Potencial de Hidrógeno
C.E.:	Conductividad eléctrica
COS:	Carbono orgánico del suelo
MO:	Materia orgánica del suelo
BR:	Biomasa de raíces
Tar:	Temperatura del aire
HR:	Humedad relativa
Vv:	Velocidad del viento
P:	Presión atmosférica
IPCC:	Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático
GEI:	Gases de efecto invernadero
WMO:	Organización Meteorológica Mundial



RESUMEN

La estructura física y la actividad biológica de los suelos son afectadas por cambios en su uso y manejo debido a la dinámica del dióxido de carbono. El objetivo principal fue determinar el impacto del uso del suelo en el flujo de dióxido de carbono del suelo en el altiplano C.E. Illpa, en seis usos de suelos: suelo cultivado con alfalfa, roturado, con restos de cultivo de avena, con pastizal natural, erosionado y suelo de bosque evaluado en época seca y lluviosa. El flujo de dióxido de carbono (CO_2) se midió con un analizador de gases infrarrojo portátil de dinámica cerrada, EGM-4. Las muestras de suelo fueron a una profundidad de 0-10 cm. Los resultados muestran que los suelos cultivados con alfalfa emiten mayor cantidad de CO_2 a la atmósfera ($0.91 \text{ g CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ en época seca y $1.18 \text{ g CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ en época lluviosa), por otro lado, la menor emisión de CO_2 fue en suelo erosionado ($0.09 \text{ g CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$) en época seca y el suelo de bosque ($0.24 \text{ g CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$) en época lluviosa. Por otro lado, la mayor cantidad de carbono almacenado fue en suelos de bosque (100.04 TnC/ha en época lluviosa). Las propiedades del suelo como el pH, carbono orgánico, materia orgánica del suelo, temperatura del suelo, humedad relativa e iluminación fueron determinantes en la producción de CO_2 en suelos del altiplano.

Palabras Clave: Analizador de gases, Cambio climático, Carbono, Dióxido de carbono, Uso del suelo.



ABSTRACT

The physical structure and biological activity of soils are affected by changes in soil use and management due to carbon dioxide dynamics. The main objective was to determine the impact of land use on soil carbon dioxide flux in the C.E. Illpa Puno, in six soil uses: soil cultivated with alfalfa, ploughed, with oat crop residues, with natural pasture, eroded and forest soil evaluated in dry and rainy season. Carbon dioxide (CO₂) flux was measured with a portable closed dynamics infrared gas analyzer, EGM-4. Soil samples were at a depth of 0-10 cm. The results show that soils cultivated with alfalfa emit more CO₂ to the atmosphere (0.91 g CO₂ m⁻² h⁻¹ in dry season and 1.18 g CO₂ m⁻² h⁻¹ in rainy season), on the other hand, the lowest CO₂ emission was in eroded soil (0.09 g CO₂ m⁻² h⁻¹) in dry season and forest soil (0.24 g CO₂ m⁻² h⁻¹) in rainy season. On the other hand, the greatest amount of carbon stored was in forest soils (100.04 TnC/ha in the rainy season). Soil properties such as pH, organic carbon, soil organic matter, soil temperature, relative humidity and illumination were determinant in the production of CO₂ in highland soils.

Keywords: Gas analyzer, Climate change, Carbon, Carbon dioxide, Land use.



CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

La intensificación del calentamiento global ocasiona el cambio climático es el resultado del aumento promedio de la concentración de gases de efecto invernadero (GEI) en la atmósfera desde principios del siglo XX (WMO, 2019; IPCC, 2014). Entre los GEI, el dióxido de carbono (CO_2) es uno de los GEI con mayor potencial para aumentar su concentración y es más abundante en la atmósfera (IPCC, 2014). El CO_2 contribuyen aproximadamente con el 66 % forzamiento radiactivo (WMO, 2021). Cuando este gas aumenta en concentración en la atmósfera, altera el balance energético global, provocando un calentamiento del planeta tierra (IPCC, 2001).

Los suelos se comportan como fuente y sumidero de GEI (Oertel et al., 2016). La magnitud del flujo de CO_2 puede variar mucho en el espacio y el tiempo debido a la variabilidad del suelo (Warner et al., 2018). Esto ocurre porque los datos para los cálculos de flujo de gas son dispersos, espacial y temporalmente variable (Striegl et al., 2012). Actualmente aumenta el interés en comprender los potenciales de los ecosistemas terrestres, para reducir los niveles de CO_2 frente a la preocupación del cambio climático (Acosta et al., 2018).

Los suelos prestan servicios poco valorados y reconocidos como la captura y almacenamiento de carbono, siendo punto de interés científico por la enorme cantidad que los suelos almacenan (Ayala et al., 2018). Los eventos climáticos extremos actuales, afecta la estructura, la composición y el funcionamiento de los ecosistemas terrestres, causando cambios de sumidero para fuente de carbono (Frank et al., 2015). Los flujos de gases de efecto invernadero (GEI) de los suelos son influenciados por la temperatura, contenido de agua y el uso del suelo, así mismo, las perturbaciones en el ecosistema



alteran el intercambio de CO₂ entre el suelo y la atmósfera, siendo las magnitudes aún inciertas (Díaz, 2018). El flujo de CO₂ del suelo contribuye a las emisiones de gases de efecto invernadero y depende de la topografía, calidad del suelo, características de la vegetación y uso del suelo (Lopera, 2019). Los cambios de uso de suelo representan la segunda fuente antrópica de emisiones a la atmósfera (Cantú & Yáñez, 2018).

El altiplano peruano es considerado una de las zonas más sensibles y perturbadas por la variabilidad climática con implicancias diferentes actividades de sectores económicos (Quispe, 2015; Sanabria et al., 2009). En el futuro por el posible cambio climático, la vulnerabilidad y las condiciones de vida en general serán afectadas, especialmente la actividad agropecuaria que es el principal sustento de la población altiplánica (Sanabria et al., 2009). Con los cambios climáticos, muchos suelos que antes eran sumideros de GEI ahora son fuentes de GEI, por lo que es necesario realizar mediciones para comprender su comportamiento.

1.1 JUSTIFICACIÓN

En los ecosistemas naturales, la respiración del suelo es uno de los componentes importantes de las emisiones de carbono para la atmósfera (eflujo de CO₂). El eflujo de CO₂ del suelo tiene una variabilidad tanto temporal (debido a los cambios de temperatura y humedad) como espacial, que puede explicarse por los diferentes tipos de suelo, uso y manejo del suelo, y el impacto de la vegetación en las emisiones de CO₂ (Cunha et al., 2018), por ello son necesarios estudiar el uso de suelo y los factores ambientales para su mejor comprensión de los flujos de CO₂ suelo - atmósfera.

Los ecosistemas terrestres son importantes para comprender el intercambio de CO₂ entre la superficie y la atmósfera (Fonseca et al., 2018). Dentro de ellos, los suelos



juegan un papel clave en el ciclo del carbono y pueden retener 23,8 Gt de CO₂ equivalente (CO₂-eq) por año a nivel mundial (Bossio et al., 2020).

Varios estudios concuerdan que el uso del suelo influye en los flujos de CO₂ (Lopera, 2019; Díaz, 2018; González et al., 2018). Los flujos de CO₂ respiratorio del suelo son alterados por el uso de la tierra, y las tierras de pastoreo emitieron de 3 a 4 veces más CO₂ que los otros tipos de uso de la tierra (Wanyama et al., 2019). Hay poca información disponible sobre cambios en el carbono orgánico del suelo (COS) que influyen directamente en los flujos de CO₂, esto, debido a cambios en el uso del suelo de vegetación secundaria a sistema de labranza, cultivos, arbustos y sistemas de pastoreo.

Actualmente, se conoce que los diferentes usos de suelo son sumidero de GEI (captura y almacenamiento de carbono), Sin embargo, los cambios de temperatura y precipitación debidos a condiciones climáticas extremas y otros factores pueden hacer que estos suelos migren de sumideros de GEI a fuentes. En este contexto, es importante investigar los diferentes usos del suelo para cuantificar el flujo de CO₂.

La investigación aquí planteada adquiere importancia al considerar que hasta el momento no se ha realizado ninguna investigación sobre flujos de CO₂ en la región de Puno. Además, la zona a estudiar representa ecosistemas comunes en la zona debido a su uso agrícola y para forraje. Por lo tanto, este estudio contribuye a la información sobre estos ecosistemas en nuestra región y país referente a los flujos de CO₂.

1.2 OBJETIVO GENERAL

Determinar el efecto de los usos del suelo en el flujo de dióxido de carbono del suelo en el C.E. Illpa Puno



1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Cuantificar el flujo de dióxido de carbono del suelo en seis usos de suelos en época seca y lluviosa;
- Estimar la reserva de carbono y dióxido de carbono en seis usos de suelos en época seca y lluviosa;
- Determinar la influencia de los factores bióticos (carbono y materia orgánica del suelo y raíces finas) y abióticos (temperatura y humedad del suelo) con el dióxido de carbono en época seca y lluviosa;
- Analizar la relación entre el dióxido de carbono del suelo con las variables atmosféricas (temperatura del aire, humedad relativa, presión atmosférica, velocidad del viento e iluminación) en época seca y lluviosa.



CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 ANTECEDENTES

2.1.1 Internacional

Según Becerra (2021) en su investigación realizado en Colombia en tres tipos de cobertura de suelo, explica los factores que más influyen en estas fluctuaciones. En cuanto al flujo de CO₂ hubo diferencia significativa entre los flujos de las tres coberturas, y el valor promedio de CO₂ ($20 \pm 0,40 \text{ mgC/m}^2\cdot\text{s}$) en la cuenca hidromórfica. Para los factores que tienen un impacto significativo en las fluctuaciones de flujo, el tipo de recubrimiento, la temperatura del suelo y el pH describen alrededor del 36,7 % de las variaciones de flujo para el CO₂.

Según Lopera (2019) realizó estudios para cuantificar la variación del flujo de CO₂ del suelo bajo diferentes coberturas de la Reserva Forestal en Bogotá, encontró que el flujo de CO₂ del suelo era alto en las plantaciones de eucalipto y bajo en pastizales abiertos de Páramo, así mismo, alto en mayo (el mes con mayor precipitación) y bajo en septiembre. Encontrando relación positiva entre el flujo de CO₂ y la temperatura del ambiente, la temperatura del suelo y la altitud. Los resultados obtenidos indican que el tipo de cobertura vegetal y temperatura son dos factores que determinan el proceso de respiración y flujo de CO₂ del suelo.

Ayala-Niño et al. (2018) realizaron estudio en México para cuantificar el almacenamiento y flujo de carbono en suelos áridos, indica que solo se registraron valores positivos de respiración después de lluvias extraordinarias; los valores de flujo de CO₂ obtenidos durante 22 meses de mediciones mensuales fueron muy



variables (-0.058 a $0.828 \mu\text{mol s}^{-1} \text{m}^{-2}$). Los valores bajos están relacionados con la captura de CO_2 a través de organismos fotosintéticamente activos como las costras biológicas del suelo. Estas costras biológicas, junto con los microorganismos del suelo, muestran su funcionamiento como fuente y sumidero de carbono en condiciones de humedad y temperatura específicas.

El investigador Díaz (2018) indica que los flujos de CO_2 y CH_4 en suelos de matorrales y bosques en Chile concluye que el flujo de CO_2 en el suelo fue menor en verano ($1.818 \pm 0.15 \mu\text{mol CO}_2 \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$) que en invierno ($4.884 \pm 0.38 \mu\text{mol CO}_2 \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$), y hubo diferencia en niveles de degradación ($P < 0.001$), la tasa de emisión de CO_2 más alta se encuentra en la situación menos degradada. El flujo de GEI del suelo está fuertemente influenciado por el contenido de agua, la temperatura y el uso del suelo.

Abreu (2017) en Brasil estudió el flujo de CO_2 del suelo de diferentes clones de *Eucalyptus spp.*, los resultados variaron según las posiciones en las que se midió la respiración, y los valores aumentaron con la proximidad de los árboles, la respiración del suelo disminuyó lentamente a medida que aumentaba el aumento promedio anual. Según estos hallazgos, la inversión en productividad primaria neta por encima del suelo disminuye a medida que aumenta el flujo de CO_2 del suelo debido a la actividad de las raíces.

2.1.2 Nacional

Lent et al. (2019) en su artículo de emisiones de gases de efecto invernadero a lo largo de un gradiente de degradación forestal de pantanos de turba en la Amazonía peruana: efectos de la humedad del suelo y la raíz de la palma, indica que los suelos de sitios degradados produjeron constantemente más



CO₂ que los suelos del sitio intacto durante las incubaciones in vitro. La respuesta de la producción de CO₂ a los cambios en el espacio poroso lleno de agua siguió una relación polinomial cúbica con máximos de 60-70% en los tres sitios.

Según Planas-Clarke et al. (2020) realizó investigación sobre el método de cámara estática en el Parque Nacional Huascarán, Perú. El intercambio neto del ecosistema al mediodía fue mayor ($1,07 \pm 0,06$ vs $0,76 \pm 0,11$ g CO₂ m⁻² h⁻¹) y el punto de compensación de luz para la absorción de CO₂ fue menor en comparación con los criterios para condiciones de flujo alto. El flujo de gas fue relativamente estable en los tratamientos húmedos y de referencia y tuvo una pequeña respuesta positiva del intercambio de ecosistema neto al aumento del nivel freático.

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 de Huancán-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. El tratamiento E2 con estiércol de ovino se obtuvo 13,13; 12,69; 13,11; 13,49 y 13,81 mg.C.CO₂/Kg (Torres, 2015).

2.1.3 Local o regional

El monitoreo de CO₂ y CH₄ basado en la biodegradación anaeróbica de muestras de lodos en la Bahía Interior de Puno, se han estimado las emisiones de GEI, en el muelle de Quta Patxa y frente de la UNA Puno, concentración de GEI



de 4.52% de CO₂ y 1.97% de CH₄, fueron obtenidos en la isla Espinar con emisiones de 12.82% de CO₂ y 25.27% para el CH₄ actuando como fuente de GEI, un pH promedio de 6.20 no tiene efecto sobre las emisiones de CO₂ y CH₄, pero la temperatura influye en la generación de CH₄ (Mamani, 2017).

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 muestreo 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. Por lo tanto, el sumidero que reportó mayor secuestro de carbono fue Bofedal (501.96 (44 %) TCO₂/ha), seguido de Pajonal con chillihuales (442.05 (39 %) TCO₂/ha) y finalmente puyas de Raimondi (187.68 (17 %) TCO₂/ha). Por lo tanto, se ha demostrado que los suelos en el distrito de Putina tienen un gran potencial para secuestrar dióxido de carbono, contribuyendo así a los esfuerzos para mitigar el cambio climático.

Estudio sobre el cambio climático en la agricultura de la cuenca Ramis por Quispe (2015) con base en datos históricos de 46 años de temperaturas y precipitación, llegó a la conclusión que, las temperaturas máximas tienden a aumentar en 0.04°C por año mientras que las precipitaciones pluviales tienden a disminuir, lo que tiene un efecto perjudicial en los ecosistemas. Escenarios de cambio climático con modelos regionales sobre el altiplano Peruano, estiman incrementos entre 2 a 4 °C y un máximo al norte del lago Titicaca de 6 °C para el 2071 – 2100 (Sanabria et al., 2009).

Checalla (2023), en su tesis desarrollado con el objetivo de determinar el



flujo de CO₂ del suelo en el bofedal del sector Pampa Uta, en el distrito de Capaso - El Collao, 2022, en dos épocas climáticas (seco y lluvioso). Un analizador de gases infrarrojos portátil de dinámica cerrada, EGM-4, se utilizó para medir el flujo de CO₂. Se conectó a una cámara de respiración del suelo, SRC-1, y un sensor de temperatura del suelo. En la época seca, el flujo de CO₂ osciló entre 0,12 y 9,80 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, con un promedio de $3,97 \pm 1,57 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$. Durante la época lluviosa, los niveles oscilaron entre 1.24 y 21.47 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, con un promedio de $7,87 \pm 3,06 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$. La temperatura del suelo, la humedad del suelo y la altura del agua tienen una correlación positiva.

2.2 MARCO TEÓRICO

2.2.1 Flujo de dióxido de carbono del suelo

El flujo de dióxido de carbono (CO₂) del suelo es la liberación y absorción de CO₂ desde y hacia el suelo, considerado como un proceso natural que ocurre debido a la actividad biológica, química y física en el suelo y algunos aspectos clave sobre el flujo de CO₂ del suelo son la respiración del suelo, los microorganismos, bacterias y hongos, así como las raíces de las plantas, realizan la respiración del suelo (Albíter-Pineda et al., 2020). Este proceso implica la descomposición de la materia orgánica en el suelo para obtener energía y liberar CO₂ como subproducto, es similar a la respiración de los seres vivos, pero ocurre en el suelo. El gas de efecto invernadero más importante y representativo es el dióxido de carbono (CO₂) aportando el 77% de las emisiones de gases antropogénicos (Abbas et al., 2020). Las emisiones netas de CO₂ del suelo son producidas por el proceso metabólico de respiración del suelo, la respiración



microbiana y radicular, tanto aeróbica como anaeróbica y la descomposición de la materia orgánica (Sun et al., 2019).

La principal fuente de emisiones de CO₂ en la atmósfera son los procesos erosivos y oxidativos asociados a los cultivos agrícolas y sus prácticas agrícolas que alteran el balance a largo plazo de C y N orgánico del suelo, también las variantes en las prácticas agrícolas pueden causar variación en las cantidades del material orgánico del suelo, lo que causa fluctuación, espacial, temporal e interanual en la emisión de CO₂ (Muñoz et al., 2010).

El suelo contribuye con un 20% de la emisión total de CO₂ a la atmósfera a través de la respiración, modifica el presupuesto energético de la Tierra, la emisión de CO₂ a partir del suelo da como resultado una disminución en la concentración de C orgánico del suelo, la fertilidad del suelo y la productividad, La biósfera en particular es uno de los componentes menos comprendido en el ciclo de C, los procesos involucrados en el intercambio de CO₂ entre el suelo y la atmósfera no han sido completamente identificados y en principio, ya que se tiene que distinguir entre los procesos que producen o consumen este gas (Salinas, 2018).

2.2.2 Procesos del suelo que desempeñan un papel en el intercambio de gases

a. Proceso de respiración biótica del suelo: Actividad biológica de respiración presente en las raíces y microorganismos, ambas contribuyen con aproximadamente 50% de la respiración total del suelo (Raich et al., 2002).

b. Procesos químicos: El proceso ocurre en el suelo, donde la producción de CO₂ aumenta con la temperatura de acuerdo con la ley de Arrhenius sin llegar a una temperatura óptima, lo que demuestra que la producción de CO₂ está sujeta a



procesos fisicoquímicos. Además, el CO_2 se produce a partir de la descomposición térmica de los ácidos húmicos y otros materiales orgánicos, donde el intercambio de este gas entre el suelo y la atmósfera depende

c. Procesos enzimáticos del suelo: Las únicas enzimas que son esenciales para el intercambio de gases traza entre el suelo y la atmósfera son las hidrogenasas del suelo.

2.2.3 Papel que desempeña el suelo en el intercambio de gases

Los principales factores determinantes de la respiración del suelo y el flujo del CO_2 hacia la atmósfera son la temperatura y la humedad del suelo estos influyen en la actividad microbiana y la diversidad de la comunidad de microorganismos, estos dos factores varían espacialmente, también existen otros factores abióticos que influyen en la respiración, entre los cuales son importantes algunas propiedades físicas del suelo como la textura y la densidad aparente (Lopera, 2019).

a. Temperatura del suelo: Es un parámetro fundamental de la agricultura, es un valor cambiante, los valores de temperatura varían en función de la estación y la radiación solar, con lo cual los agricultores deben buscar el momento ideal para programar sus actividades, la temperatura del suelo no es un valor universal y depende de una serie de características, como el color, la pendiente, la cubierta vegetal, la compactación, la humedad y la luz solar disponible (Mendiara, 2012).

b. Humedad del suelo: El contenido de agua o humedad representa el porcentaje del peso de agua en una determinada masa de suelo con respecto al peso de partículas sólidas a la vez es la cantidad de agua concentrada en un material, como



suelo, rocas, cerámica o madera, medida a través de análisis volumétrico o gravimétrico (Mendiara, 2012).

2.2.4 Dióxido de carbono

Compuesto químico compuesto por dos átomos de oxígeno y un átomo de carbono tiene una fórmula química CO_2 y es uno de los gases más importantes en la atmósfera terrestre (Pacheco, 2020).

El CO_2 es uno de los gases de efecto invernadero (GEI) que más contribuye al calentamiento global, las emisiones de dióxido de carbono (CO_2) se han ido incrementado de una manera alarmante y uno de tantos esfuerzos que se están realizando por reducir las emisiones de este gas contaminante, es incrementar el uso de las energías renovables, pero la transición será muy lenta debido a que se seguirán emitiendo grandes cantidades antes de que dicha transición sea significativa (Saldívar-Esparza et al., 2017).

El CO_2 se incrementó a raíz de la revolución Industrial, por otra parte, indican que sólo la mitad del CO_2 antropógeno está presente en la atmósfera y la otra mitad está en el océano, dado que ese gran reservorio absorbe CO_2 de la atmósfera por medio de un mecanismo y a una tasa no bien conocida; pero afortunadamente falta mucho para que el océano se sature de CO_2 (Salinas, 2009).

El dióxido de carbono es un gas inodoro, incoloro, ligeramente ácido no inflamable, soluble en agua cuando la presión se mantiene constante está formado por una molécula lineal de un átomo de carbono ligado a dos átomos de oxígeno, de la forma $\text{O} = \text{C} = \text{O}$ a pesar de que a temperatura y condiciones ordinarias se encuentra en forma gaseosa, puede solidificarse si se somete a temperaturas inferiores de -79°C , y licuarse cuando se disuelve en agua, esta sustancia se



descompone al calentarla intensamente por encima de 2000° C, produciendo humos tóxicos de monóxido de carbono, y reaccionando violentamente con bases fuertes y metales alcalinos (Manzanares, 2014).

2.2.5 Fuentes de emisión y aplicaciones del dióxido de carbono

Los procesos fotosintéticos, particularmente la respiración, son una importante fuente de emisión porque los alimentos de animales y plantas se oxidan para obtener energía, liberando dióxido de carbono y agua en la reacción, los incendios forestales también son un importante foco de emisiones de dióxido de carbono, debido a la quema de combustibles fósiles, complejos industriales y el sector energético. El sector energético es responsable del 91,8 % de las emisiones totales, mientras que el transporte representa el 29,9 %, debido principalmente a la quema de gasolina, gas y otros derivados del petróleo.

2.2.6 Efectos sobre el medio ambiente

El principal factor que contribuye al efecto invernadero es el dióxido de carbono, que absorbe una gran cantidad de la radiación solar, la retiene cerca de la superficie terrestre y contribuye al calentamiento global (Manzanares, 2014). La Organización Meteorológica Mundial (WMO) informa que la concentración de CO₂ en la atmósfera ha aumentado desde el comienzo de la revolución industrial de 280 ppm a 419,51 ppm a junio de 2023. Es importante destacar que es difícil calcular la vida media del CO₂ en la atmósfera, debido a que el carbono se elimina temporalmente de la biósfera antes de regresar a la atmósfera, como CO₂ producido por la respiración o como resultado de los incendios (National Oceanic & Atmospheric Administration, Earth System Research Laboratory (NOAA/ESRL), 2023).



2.2.7 Impacto del cambio climático

El cambio climático es un fenómeno global que tiene un impacto significativo en todo el planeta (Berberian & Rosanova, 2012) está impulsado principalmente por actividades humanas, como la quema de combustibles fósiles, la deforestación y la agricultura intensiva, que aumentan las concentraciones de gases de efecto invernadero en la atmósfera, los principales impactos del cambio climático son el aumento de las temperaturas, el calentamiento global es uno de los efectos más evidentes del cambio climático, las temperaturas promedio de la tierra están en aumento, lo que provoca eventos climáticos extremos, como olas de calor más intensas y prolongadas (Zamora, 2015).

2.2.8 Cambio climático, efecto invernadero y calentamiento global

El cambio climático, el efecto invernadero y el calentamiento global son conceptos interrelacionados que se refieren a fenómenos relacionados con el clima de la tierra y su impacto en el medio ambiente, centrándonos en el cambio climático este se refiere a los cambios a largo plazo en los patrones climáticos de la tierra, incluye cambios en las temperaturas promedio, los patrones de precipitación, los niveles del mar y otros indicadores climáticos, el cambio climático puede ser natural o inducido por actividades humanas, en nuestra actualidad, el término se utiliza principalmente para describir el cambio climático inducido por el ser humano, que está siendo impulsado por la emisión de gases de efecto invernadero (Manzanares, 2014).

El término "efecto invernadero" se refiere a un mecanismo por el cual la atmósfera de la tierra se calienta. La atmósfera terrestre está compuesta



principalmente por dos gases: Nitrógeno (N) en el 79% y Oxígeno (O₂) en el 20% de la composición química de la atmósfera, donde el 1% restante está formado por varios gases, con el Argón (Ar) en un 0,9 % y el CO₂ en aproximadamente un 0,03%. Este último gas, presente en proporciones tan bajas, es de crucial importancia en el proceso de calentamiento de la atmósfera (Barry & Chorley, 2009).

El efecto invernadero es un proceso mediante el cual la atmósfera de la tierra se calienta (Barry & Chorley, 2009). Los gases de la atmósfera no pueden absorber la luz solar de alta energía, por lo que la mayor parte de la energía se refleja hacia la superficie de la tierra. Solo el 30% de la energía total que llega al planeta se refleja hacia el espacio, mientras que la atmósfera retiene el 20% de la energía solar y el 50% restante llega a la superficie de la tierra, lo que hace que la superficie de la tierra se caliente. La radiación de baja energía de la luz solar se refleja hacia la atmósfera y algunos gases atmosféricos, especialmente el CO₂, pueden absorber esa energía de onda amplia de manera eficiente. El CO₂ es la principal fuente de calor en la atmósfera. El término "calentamiento global" se refiere al cambio en la temperatura que ha ocurrido durante los últimos 150 años y está relacionado con el aumento en las emisiones de CO₂ y otros gases de efecto invernadero (GEI) a la atmósfera en los últimos siglos, especialmente después de la revolución industrial (Bonilla & Lemus, 2012).

2.2.9 Cambio de uso de suelo

Los cambios de uso del suelo no tienen efectos únicamente negativos, algunos están relacionados con el aumento de los rendimientos de alimentos y fibras con efectos positivos para la salud, el bienestar y la riqueza de los pueblos



en consecuencia, es necesario documentar las modificaciones de cobertura del suelo y usos de la tierra, para entender cuáles son sus fuerzas conductoras, así como sus consecuencias, especialmente, en el contexto de los cambios ambientales globales, el crecimiento rápido de la población y el incremento de las demandas hacia la sustentabilidad del ambiente (Escandón et al., 2018). Los modelos de cambio de uso se han convertido en una poderosa herramienta de análisis espacial orientada, principalmente, a los siguientes aspectos, explorar los variados mecanismos que fuerzan los cambios de uso del suelo y las variables sociales, económicas y espaciales, proyectar los potenciales impactos ambientales y socioeconómicos derivados de los cambios en el uso del suelo, evaluar la influencia de alternativas políticas y regímenes de manejo sobre los patrones de desarrollo y uso del suelo (Henríquez et al., 2006).

Uno de los cambios de uso de suelo más comunes es la conversión de tierras agrícolas o rurales en áreas urbanas o suburbanas para la construcción de viviendas, negocios y otras infraestructuras relacionadas, a veces, se cambia el uso del suelo para proteger áreas naturales importantes, como parques nacionales, reservas naturales o zonas de conservación, esto puede implicar la restricción de actividades humanas que pueden dañar el medio ambiente, se pueden cambiar tierras agrícolas para permitir el desarrollo de actividades industriales (Pérez-Miranda et al., 2011).

2.2.10 Usos de suelo en el altiplano

El altiplano es una región geográfica que se encuentra a gran altitud, generalmente sobre los 3.500m, se caracteriza por su topografía plana o ligeramente ondulada, el uso del suelo en el altiplano puede variar según la

ubicación específica y las condiciones climáticas, pero aquí hay algunos usos comunes del suelo en esta región, se utiliza para la agricultura debido a su suelo fértil ya la disponibilidad de agua de riego, donde se cultivan una variedad de cultivos y a la vez usado en la ganadería (Loza-Del Carpio & Taype-Huamán, 2021).

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

EGM-4

EGM-4 (PP-Systems, Hitchin, UK) (PPs de ahora en adelante) junto con una cámara de respiración de suelo SRC-1 (PP-Systems, Hitchin, UK). La cámara es cilíndrica con unas dimensiones de 15 de alto por 10 cm. de diámetro. Viene equipado con un ventilador para mezclar el aire, para la consistencia de las mediciones, es necesario utilizar unos cilindros o “collares” de PVC de 10 centímetros de alto, que se introducen en el suelo a una profundidad de 6-7 cm (Oviedo & Kowalski, 2006).

Figura 1. Analizador de gases infrarrojo (IRGA) (EGM-4, PP Systems, USA) y cámara de respiración (SRC-1, PP Systems, USA).



Fuente: (PP-Systems, 2010)



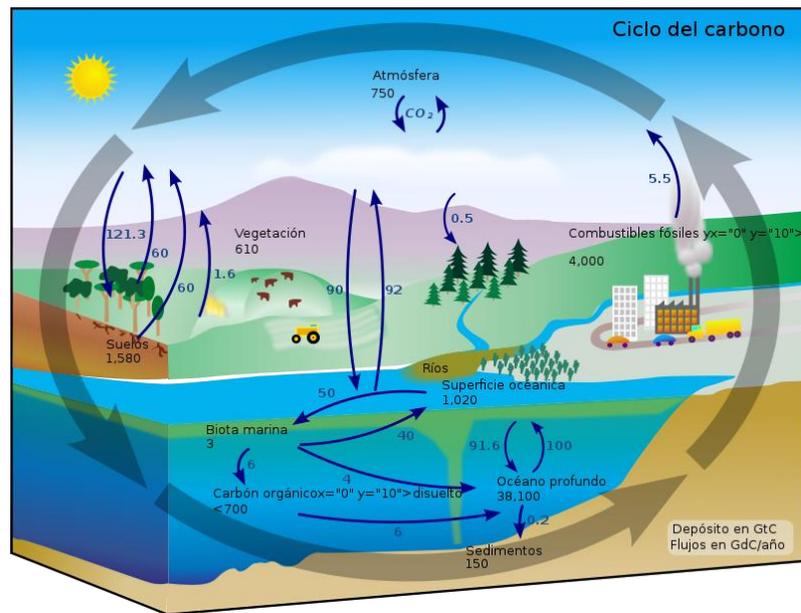
2.3 MARCO CONCEPTUAL

2.3.1 Ciclo del carbono

El ciclo del carbono es un proceso fundamental en la biosfera de la tierra donde el carbono se mueve a través de diferentes compartimentos en la tierra, la atmósfera y los organismos vivos. Es un ciclo esencial para mantener el equilibrio del carbono en el planeta y crucial para la vida, uno de sus principales componentes es la fijación de carbono este ciclo comienza con la fijación de carbono por parte de los organismos fotosintéticos, como las plantas, algas y algunas bacterias, estos organismos toman dióxido de carbono (CO_2) de la atmósfera y lo convierten en compuestos orgánicos, principalmente glucosa, a través del proceso de fotosíntesis.

Paz et al. (2017), en esta lucha por disminuir las emisiones de CO_2 , las selvas y bosques juegan un papel fundamental debido que a través de la fotosíntesis los árboles capturan el CO_2 para formar compuestos orgánicos necesarios para ellos, este proceso de captura del CO_2 por las plantas superiores es parte fundamental del ciclo de carbono, mecanismo mediante el cual el carbono se mueve entre la atmósfera y los sistemas, es por ello que a estos ecosistemas, se les considera como secuestradores o sumideros de carbono, el principal lugar donde se almacena en carbono en las plantas es la biomasa. Esta se puede definir como el importe global de materia orgánica en un área determinada, de igual manera, representa la cantidad potencial de carbono que puede liberarse a la atmósfera cuando ocurre un proceso de aprovechamiento, una deforestación o un incendio (R. Rodríguez et al., 2021).

Figura 2. Ciclo del carbono



Fuente: Adaptado de: <https://earthobservatory.nasa.gov/features/CarbonCycle>

2.3.2 Carbono orgánico del suelo (COS)

Es la cantidad de carbono orgánico presente en el suelo en forma de materia orgánica en descomposición, como residuos de plantas y animales, microorganismos muertos y otros materiales orgánicos, este carbono es esencial para la salud y la fertilidad del suelo, así como para la captura de carbono atmosférico, un componente clave en la mitigación del cambio climático, existe en dos formas: carbono inorgánico y orgánico. Los minerales de carbono forman el carbono inorgánico, mientras que el carbono orgánico del suelo se encuentra como materia orgánica del suelo. Incluye restos vegetales frescos y carbono relativamente inerte en materiales vegetales: carbón vegetal y humus. El COS tiene un papel fundamental en el ciclo del carbono y en la regulación de varios procesos biogeoquímicos en el suelo, incluyendo la Fertilidad del suelo. Así mismo el carbono orgánico mejora la estructura del suelo, aumenta su capacidad de retención de agua y nutrientes, y proporciona un suministro sostenible de



nutrientes para las plantas a medida que los microorganismos descomponen la materia orgánica y liberan nutrientes (Cotler et al., 2016).

Es evidente que el suelo es un gran reservorio de carbono en la naturaleza, el contenido de carbono en el suelo obedece a sus características y al equilibrio entre las tasas de entrada de carbono orgánico de origen vegetal y animal, y las de salida, resultantes del metabolismo microbiano que genera CO₂ (Burbano, 2018).

2.3.3 Sumidero de carbono

Un sumidero de carbono es un sistema o proceso que absorbe dióxido de carbono (CO₂) de la atmósfera para luego almacenarlo, contribuyendo de esta manera a reducir la concentración de este gas de efecto invernadero en la atmósfera y mitigar el cambio climático. Los sumideros de carbono son fundamentales en los esfuerzos para combatir el cambio climático, ya que ayudan a equilibrar el ciclo del carbono y limitar el aumento de la temperatura global. Los bosques son uno de los sumideros de carbono más importantes de la tierra, los árboles y las plantas absorben CO₂ durante la fotosíntesis y almacenan carbono en su biomasa y en el suelo forestal, los Océanos también actúan como sumideros de carbono, ya que absorben grandes cantidades de CO₂ de la atmósfera (Arango, 2011). Hay territorios con valor agregado de carácter ambiental por la capacidad de su recurso físico de ser sumidero natural y artificial de carbono.

2.3.4 Sumideros de carbono y Protocolo de Kyoto

La reforestación, la forestación, la gestión de tierras agrícolas, la gestión de bosques y la gestión de pastos son algunas de las acciones establecidas en el Protocolo de Kyoto para mejorar y preservar los sumideros de carbono. El reemplazo de la vegetación es crucial porque los sumideros de carbono dependen



de la gestión de múltiples usos de tierra. Estas tierras son importantes contaminantes de la atmósfera debido a la actividad agrícola. Sin embargo, estudios realizados en China demostraron que los cultivos ecológicos mejoran la captura de carbono de los cultivos, convirtiéndolos en sumideros de carbono, los pastizales son también espacios donde la gestión es muy importante (Arango, 2011).

2.3.5 Cambio climático

A medida que las emisiones de gases de efecto invernadero cubren la Tierra y atrapan el calor del sol, conducen al calentamiento global y posterior cambio climático, el cambio climático es un tema obligatorio en las preocupaciones de todo ser responsable y en la agenda de cualquier gobierno. La temperatura del planeta está aumentando a un ritmo más rápido que en cualquier otro momento de la historia que haya sido documentado. Las temperaturas más cálidas están alterando los patrones climáticos y el equilibrio normal de la naturaleza con el tiempo. Esto pone en peligro a los humanos y a todas las demás formas de vida en la Tierra.

La degradación del medio ambiente con el consecuente cambio climático es una bomba de tiempo que debe desactivarse si no queremos desaparecer como especie del planeta tierra, las medidas para revertir el deterioro deben de comenzar con una educación permanente al respecto y una mayor voluntad política (Díaz, 2012).

2.3.6 Suelo

La producción de alimentos depende en gran medida del uso del suelo, uno de los recursos más importantes para la vida en el mundo. El suelo es la base



fundamental para la explotación agrícola y forestal, así como para la producción de alimentos, es un sistema estructurado, heterogéneo y discontinuo, fundamental e irremplazable, formado por una mezcla de materia orgánica, minerales y nutrientes que tiene la capacidad de soportar el crecimiento de organismos y microorganismos, la flora (plantas), la macrofauna (invertebrados), la mesofauna (artrópodos, anélidos, nemátodos y moluscos), la microfauna (protozoos y algunos nemátodos) y la microbiota (bacterias, actinomicetes, hongos y algas) alteran la biología del suelo. Los cambios biológicos incluyen el aporte y la degradación de materia orgánica, la producción de CO₂ en la respiración, la intervención en los efectos mecánicos de los animales y las plantas, el fraccionamiento de las rocas por las raíces y la movilidad de los ciclos biogeoquímicos de los elementos, entre otros (García et al., 2012).

El suelo es la capa superior de la tierra que se encuentra en la superficie terrestre y que es el resultado de la interacción de factores geológicos, climáticos, biológicos y antropogénicos a lo largo del tiempo. El suelo es esencial para la vida en la tierra, ya que es el medio en el que crecen las plantas y en el que se sustenta la mayor parte de la vida terrestre.

2.3.7 Materia orgánica del suelo (MO)

La materia orgánica del suelo (MO) se define como una mezcla heterogénea de residuos de plantas y animales en varios estados de descomposición, de sustancias sintetizadas microbiológicamente o químicamente a partir de los productos de degradación, de los cuerpos de microorganismos vivos y muertos, pequeños animales y sus restos en descomposición (Sánchez et al., 2005), la degradación de los residuos de plantas y animales en el suelo, es un



proceso biológico, en el cual, el carbono es reciclado a la atmósfera como dióxido de carbono, el nitrógeno es transformado en una forma aprovechable por las plantas como amonio y nitrato; otros elementos asociados (fósforo, azufre y varios microelementos) son liberados en forma disponible para las plantas superiores. La MO ejerce una serie de efectos beneficiosos sobre la fertilidad del suelo y el crecimiento de las plantas, no sólo a través de la suplencia de nutrimentos, sino además por sus efectos favorables sobre las propiedades físicas, mejoran la estructura del suelo, aumentan la capacidad de retención de agua, aumenta la capacidad de intercambio catiónico, mejora la capacidad amortiguadora de pH y biológicas del suelo (Cruz-Macías et al., 2020).

2.3.8 Captura de carbono

Conjunto de tecnologías y procesos diseñados para reducir las emisiones de dióxido de carbono (CO_2) a la atmósfera y ayudar en la lucha contra el cambio climático. Estas tecnologías se utilizan para capturar el CO_2 emitido por diversas fuentes, como centrales eléctricas, plantas industriales y procesos de combustión, antes de que llegue a la atmósfera y contribuir al aumento de las concentraciones de CO_2 en la atmósfera, que es uno de los principales impulsores del calentamiento global (Carbajal et al., 2017).

El CO_2 secuestrado por las plantas es el resultado de las diferencias entre el CO_2 atmosférico absorbido durante el proceso de la fotosíntesis y el CO_2 emitido durante la respiración. Esta diferencia es convertida en biomasa y suele oscilar entre el 45% y 50% del peso seco de la planta (Mendizábal-Hernández et al., 2011).

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 ZONA DE ESTUDIO

El estudio se realizó en el Centro Experimental Illpa (C.E. - Illpa) distrito Paucarcolla, Provincia de Puno – Puno (Figura 3), la ubicación geográfica en coordenadas UTM 384760,8 E y 8262701,6 N, ubicada en la parte Nor-oeste de la ciudad de Puno, al costado oeste de la carretera asfaltada Puno – Juliaca, en el kilómetro 19, a una altura entre 3827 m.s.n.m. El C.E. ILLPA tiene 403.50 ha. La temperatura media anual de 8.8 ° C y la precipitación media anual es 754 mm. El 53% del suelo pertenece a la serie Titicaca (suelos de calidad agrológica media) y el 47% serie Ayabacas (suelos de calidad agrológica baja) (Atamari, 1992).

Figura 3. Localización del área de estudio

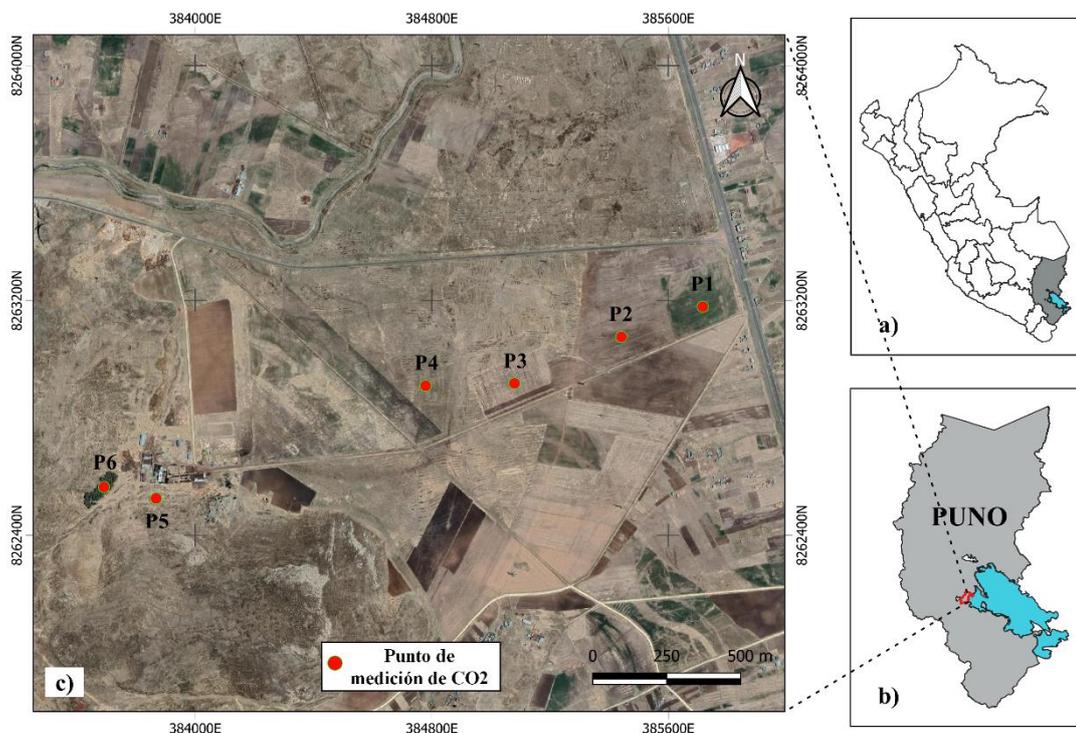


Tabla 1. Descripción de puntos de muestreo en diferentes usos de suelo en C.E. Illpa

Punto de muestreo	Coordenadas UTM		Uso de suelo	Características físico químicas del suelo		
	X	Y		pH	C.E.:	CO:
P1	385722.6	8263187.4	Suelo cultivado con alfalfa	pH: 5.48	C.E.: 0.35	CO: 1.76
P2	385432.0	8263079.5	Suelo roturado	pH: 5.38	C.E.: 0.21	CO: 1.74
P3	385072.2	8262921.8	Suelo con restos de cultivo de avena	pH: 6.05	C.E.: 0.34	CO: 1.37
P4	384758.6	8262906.5	Suelo con pastizal natural	pH: 5.23	C.E.: 0.33	CO: 2.95
P5	383877.8	8262535.3	Suelo erosionado	pH: 5.24	C.E.: 0.19	CO: 1.71
P6	383695.0	8262569.6	Suelo de bosque	pH: 5.05	C.E.: 0.26	CO: 10.35

Donde: C.E: Conductividad eléctrica (mS/cm); CO: Carbono orgánico (%).

Figura 4. Diferentes usos de suelo en el C.E. Illpa

P1 - Suelo cultivado con alfalfa	P2 - Suelo roturado
P3 - Suelo con restos de cultivo de avena	P4 - Suelo con pastizal natural
P5 - Suelo erosionado	P6 - Suelo de bosque



3.2 MUESTRA

Fueron seleccionados seis (06) usos de suelo del C.E. Illpa (suelo cultivado con alfalfa, suelo roturado, suelo con restos de cultivo de avena, suelo con pastizal natural, suelo erosionado y suelo de bosque), con seis (06) repeticiones por cada uso de suelo, los cuales fueron georreferenciados. Dichas mediciones fueron en época seca (octubre y noviembre de 2022) y en época lluviosa (enero y febrero del 2023).

3.3 DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

- Tipo de investigación: Descriptivo correlacional
- Diseño de investigación: No experimental - Longitudinal
- Método: Deductivo cuantitativo

3.4 MEDICIÓN DE FLUJO DE DIÓXIDO DE CARBONO

Para la medición del flujo de CO₂ se seleccionaron seis usos de suelo. En cada punto se instalaron 6 tubos de PVC distribuidos de manera aleatoria. Los tubos fueron insertados en el suelo a 2 centímetros de profundidad, instalados dos días antes de la primera toma de datos y permaneció en campo durante toda la investigación.

Una cámara de respiración cerrada dinámica (SRC-1, PP Systems, USA) conectada a un sensor infrarrojo (IRGA) (EGM-4, PP Systems, USA), se utilizó para

medir niveles de CO₂ en el suelo. Antes de cada medición, el termómetro y el analizador de gases EGM-4 se conectaron a la cámara SCR-1. Las mediciones duran dos minutos por cámara. El flujo que se produce entre el suelo y el volumen que encierra la cámara de respiración se muestra directamente en la información que proporciona el instrumento.

3.5 CALCULO DE FLUJO DE DIÓXIDO DE CARBONO

Los flujos de CO₂ (g m⁻² h⁻¹) se integraron en función del tiempo y se calcularon mediante la siguiente ecuación (Marthews et al., 2014):

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

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

F_s = Flujo de CO₂ sin corrección (g m⁻² h⁻¹)

F_{sc} = Flujo de CO₂ corregido (g CO₂ m⁻² h⁻¹)

$C_n - C_1$ = Diferencia de flujo de CO₂, normalmente entre las últimas 10 lecturas por medición, o entre el primer y el último valor de flujo si la medición tuvo menos de 10 lecturas, en ppmv

$t_n - t_1$ = Diferencia de tiempo, en segundos, sobre la cual se calculó la diferencia en el flujo de CO₂.

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

T_a = Temperatura del aire (°C), convertir a Kelvin (K)



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

A = Área de suelo sobre la cual se midió el flujo de CO₂ (cubierta por la cámara (m²))

R = Constante universal de los gases (8.314 J K⁻¹ mol⁻¹)

Vc = volumen de la cámara de respiración sobre la superficie del suelo en el momento de la medición (volumen total de la cámara interna (m³))

44.01 = Peso molecular de CO₂ (g/mol)

3.6 CARBONO ORGÁNICO DEL SUELO (COS)

3.6.1 Muestreo de suelo

Se recolectó muestras de cada uso de suelo a una profundidad de 0-10 cm. Se tomó una muestra para la determinación del contenido de COS y una muestra para determinar la densidad aparente, se realizaron tres repeticiones en cada punto de medición de flujos de CO₂. El muestreo de suelos se desarrolló en forma aleatoria según la guía (MINAM, 2014; Rognitz et al., 2009). Para calcular el carbono almacenado en el suelo fue a una profundidad de 0 a 10 cm como sugiere (Bautista & Hernández, 2021).

a. Muestreo para materia orgánica (MO)

Fueron extraídas muestras de suelo para evaluar el porcentaje de materia orgánica. Con una cuchilla se elimina la vegetación de la superficie y muestrear en los primeros 10 cm de suelo (MINAM, 2019).

b. Muestreo para 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. Esta muestra se coloca en una bolsa sellada y codificada que se lleva al laboratorio (MINAM, 2019).

3.6.2 Análisis de laboratorio

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

- Densidad aparente a través del método con cilindro (volumen conocido) en g/cm³
- Carbono orgánico del suelo almacenado (COS) o materia orgánica (MO) en (%) a través de la metodología de Walkley & Black (1934) que es por la oxidación con dicromato de potasio.

3.6.3 Cálculo de concentración de carbono orgánico

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

$$CCO = \frac{MO}{1.724}$$

Donde:

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

MO: Contenido de materia orgánica (%)

1.724: Factor de conversión

3.6.4 Cálculo para determinar densidad aparente del suelo

En el laboratorio, la muestra de suelo se seca en una estufa de aire forzado a 105°C por el tiempo requerido hasta alcanzar un peso determinado, y se calcula el peso seco del suelo de cada cilindro. Los cálculos para determinar la densidad aparente son los siguientes (Rugnitz et al., 2009):

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

Donde, la división entre la masa del suelo seco (ms, en gramos) y el volumen del cilindro (v total, en cm³) corresponde a la densidad aparente (g/cm³) del suelo.

El volumen del cilindro es calculado por medio de la siguiente fórmula:

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

Donde, r equivale al radio (en cm) y h a la altura (en cm).

3.6.5 Cálculo de reservas de carbono almacenado en suelo

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

$$COS = CCO \times Da \times P$$

Donde:

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

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

Da: Densidad aparente (g/cm³)



P: profundidad de suelo (cm)

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

3.6.6 Estimación del stock de dióxido de carbono del suelo

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

$$CO_2 \text{ suelo} = COS \times K$$

Donde:

CO_2 Suelo : Toneladas de dióxido de carbono secuestrado en el suelo (tn CO_2 /ha)

COS : Contenido de carbono del suelo (TnC/ha)

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

3.7 MEDICIÓN DE FACTORES BIÓTICOS Y ABIÓTICOS

Las mediciones de los factores bióticos (biomasa de raíces y carbono orgánico) y abióticas (temperatura y humedad del suelo) se realizaron en cada punto. Carbono orgánico y humedad del suelo se realizó en el laboratorio de suelos (UNA-Puno), mientras que la temperatura del suelo se midió al momento de medición de flujos de CO_2 con un termómetro digital. Así mismo, temperatura del aire, humedad relativa, presión atmosférica y velocidad del viento (Anemómetro Multifuncional GM8910) (Anexo 5).



3.8 DISEÑO ESTADÍSTICO

El modelo estadístico fue considerado tres factores: sitios de muestreo, época (lluvioso y seco) con seis repeticiones por sitio. Se probó la normalidad de todas las medias utilizando la prueba de Shapiro-Wilks antes del análisis. Cuando no se alcance la normalidad, se necesitaron transformaciones logarítmicas para que algunos datos estabilicen las variaciones de los datos, cuando no se logre estabilizar los datos de realizó el análisis estadístico no paramétrico. Cómo se tomaron muestras de los mismos sitios durante los siguientes meses, se utilizó un análisis de varianza (ANOVA) de medidas repetidas de dos factores para probar el efecto de los meses y puntos de muestreo en el flujo de CO₂. En ANOVA, las medias se compararon mediante la prueba de diferencia significativa de Tukey para indicar las diferencias significativas entre las medias. Las diferencias fueron considerados significativas al nivel de probabilidad de $p < 0,05$. Los efectos del sitio de muestreo y los períodos y días fueron probados utilizando ANOVA de dos factores. Se utilizó ANOVA unidireccional para probar el efecto de los sitios sobre la biomasa de las raíces. Las relaciones entre los flujos de CO₂ medios y las variables ambientales fueron evaluadas mediante correlaciones lineales de Pearson. Los análisis estadísticos fueron realizados con el software estadístico InfoStat versión 2020 (DI RIENZO et al., 2020).

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 CUANTIFICACIÓN DEL FLUJO DE DIÓXIDO DE CARBONO DEL SUELO EN SEIS USOS DE SUELOS EN ÉPOCA SECA Y LLUVIOSA

Los flujos de CO₂ del suelo encontrados en el altiplano puneño en las estaciones seca y lluviosa oscilaron entre 0,09 y 0.91 g CO₂ m⁻² h⁻¹ y entre 0.24 y 1.18 g CO₂ m⁻² h⁻¹ en época seca y lluviosa respectivamente. Valor medio más bajo de flujos de CO₂ en el suelo durante la época seca se registró en suelo erosionado (0.09 g CO₂ m⁻² h⁻¹) y el más alto en suelo cultivado con alfalfa (0.91 g CO₂ m⁻² h⁻¹). Para la temporada de lluvias, el mayor flujo promedio de CO₂ en el suelo se encontró suelo cultivado con alfalfa (1.18 g CO₂ m⁻² h⁻¹) y más bajo en suelo erosionado y suelo de bosque (0.24 g CO₂ m⁻² h⁻¹). En las dos temporadas del año, el flujo de CO₂ del suelo de los diferentes usos del suelo fue estadísticamente diferente ($p < 0.05$) a excepción del suelo de bosque (Tabla 2).

Tabla 2. Flujos promedio y desviación estándar de CO₂ del suelo en diferentes usos de suelo en el altiplano durante la temporada seca y lluviosa.

Uso de suelo	Época seca (g CO ₂ m ⁻² h ⁻¹)	Época lluviosa (g CO ₂ m ⁻² h ⁻¹)
Suelo cultivado con alfalfa	0.91 ± 0.04 ^b	1.18 ± 0.08 ^a
Suelo roturado	0.37 ± 0.07 ^b	0.85 ± 0.07 ^a
Suelo con restos de cultivo de avena	0.29 ± 0.05 ^b	0.65 ± 0.05 ^a
Suelo con pastizal natural	0.23 ± 0.03 ^b	0.69 ± 0.05 ^a
Suelo erosionado	0.09 ± 0.01 ^b	0.24 ± 0.03 ^a
Suelo de bosque	0.13 ± 0.02 ^a	0.24 ± 0.06 ^a



En la presente investigación se muestra que los flujos de CO₂ del suelo fueron mayores en época lluviosa en todos los usos de suelo en el altiplano, en la época seca y lluviosa fueron mayores para suelo cultivado con alfalfa y menores para suelo de bosque y suelo erosionado (Tabla 2 y Figura 5). Sugiriendo la importancia de mantener los suelos sembrados con árboles para preservar carbono en el suelo, estos resultados son similares a los reportados por Muñoz et al. (2011) quienes reportaron que CO₂, mostró mayores flujos en la época de lluvias y menores en la época de sequía, resaltando que la tasa de respiración se ve influenciada por las variaciones estacionales fundamentalmente por la temperatura y humedad del suelo, resultados corroborados por Lopera (2019) quien encontró un flujo de CO₂ del suelo alto en plantaciones de eucalipto, bajo en los pastizales abiertos de Páramo, alto en mayo (mes con mayor precipitación) y bajo en septiembre, habiendo una relación positiva entre el flujo de CO₂ y la temperatura del ambiente, temperatura del suelo y la altitud, estos resultados indican que el tipo de cobertura vegetal y temperatura son dos factores que determinan el proceso de respiración y flujo de CO₂ del suelo, citando a Becerra (2021) quien estudio tres tipos de cobertura, para explicar los factores que más influyen en estas fluctuaciones encontró una diferencia significativa entre los flujos de las tres coberturas donde el valor promedio de CO₂ fue de $(20 \pm 0,40 \text{ mg C m}^{-2} \text{ s}^{-1})$ en la cuenca hidromórfica, asimismo Ayala et al. (2018) indican que los valores de flujos de CO₂ obtenidos de 22 meses de mediciones mensuales fueron muy variables $(-0.01 \text{ a } 0.13 \text{ g CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1})$, solo se registraron valores positivos de respiración después de una lluvia intensa. Los valores negativos se relacionan con la captura de CO₂ por organismos fotosintéticamente activos como las costras biológicas del suelo, que, bajo condiciones específicas de humedad y temperatura, junto con los microorganismos del suelo, muestran su capacidad como fuente y sumidero de carbono. Estos resultados son similares a los reportados por Díaz (2018) quien reporto valores de flujos de CO₂ y



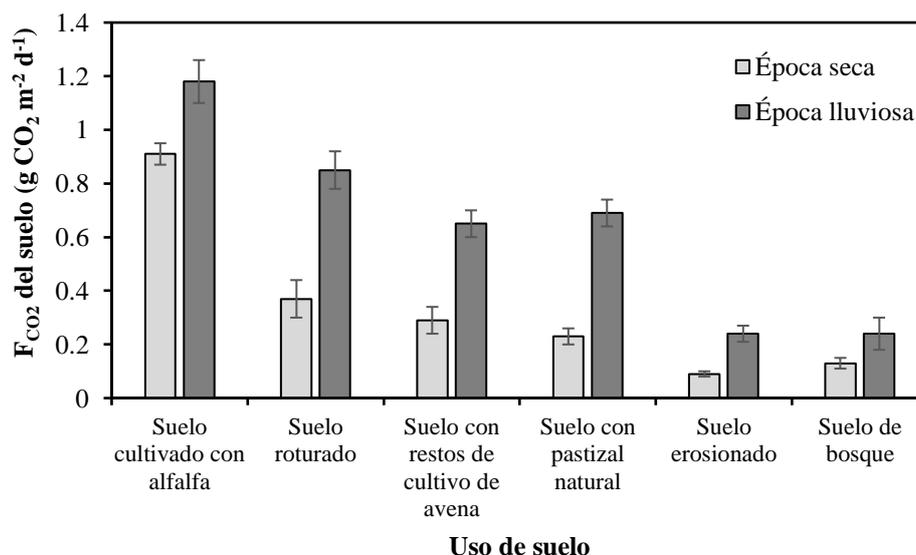
CH₄ en suelos de matorrales y bosques en Chile donde concluye que el flujo de CO₂ en el suelo fue menor en verano ($0.29 \pm 0.02 \text{ g CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$) que en invierno ($0.77 \pm 0.06 \text{ g CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$), y hubo diferencia en niveles de degradación ($P < 0.001$) y la tasa de emisión de CO₂ más alta se encuentra en la situación menos degradada, resaltando que el flujo de GEI del suelo está fuertemente influenciado por el contenido de agua, temperatura y el uso del suelo.

Por otro lado, Albíter-Pineda et al. (2020) en su trabajo de investigación, resultados para el flujo de CO₂ se mostraron valores mayores en suelos cultivados de jitomate ($3.13 \text{ g CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$), afirmando que existe una mayor actividad biológica de los microorganismos del suelo, asimismo, este valor de flujo de CO₂ pueda que sea el resultado del manejo de la rotación o al incremento en la respiración después del riego, dicho resultado coincide con lo reportado por Musafiri et al. (2020) quienes indican que la rehumectación aumenta la emisión de CO₂ debido a la activación de microorganismos, por su lado Rodríguez et al. (2009) sus resultados muestran que la emisión de CO₂ evidencian que el manejo (labranza, riego, levantamiento de tierra, rotación y uso de plaguicidas) tiene efecto significativo sobre la actividad biológica del suelo, ya que se observaron aumentos y disminuciones de flujos de CO₂ al realizarse algún tipo de manejo. Abreu (2017) estudió el flujo de CO₂ del suelo de diferentes clones de *Eucalyptus spp.* Indica que la respiración del suelo disminuyó gradualmente con un aumento de incremento promedio anual, resultados que evidencian que cuanto mayor es el flujo de CO₂ del suelo, resultante de la actividad de las raíces, menor es la inversión en productividad primaria neta por encima del suelo. Zhang et al. (2020) indican que el aumento de la emisión de CO₂ obedece al crecimiento de la planta por consumo ácidos carboxílicos, carbohidratos, aminos y polímeros, en la opinión de Musafiri et al. (2020) el riego aumenta la disponibilidad del agua del suelo y la descomposición y

mineralización de la MO, activando la actividad microbiana de esta manera mejorando el suministro de sustratos, resultados respaldados por Sainju et al. (2008) quienes reportan que los flujos de CO_2 van de 1.25 a 2.50 $\text{g CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ después de intensas lluvias. Lent et al. (2019) indican que los suelos de sitios degradados producen constantemente más CO_2 que los suelos del sitio intacto durante las incubaciones in vitro. La respuesta de la producción de CO_2 a los cambios en el espacio poroso lleno de agua siguió una relación polinomial cúbica con máximos de 60-70% en los tres sitios.

El flujo de CO_2 del suelo fueron mayores en época lluviosa en todos los usos de suelo en el altiplano, en la época seca y lluviosa fueron mayores para suelo cultivado con alfalfa y menores para suelo de bosque y suelo erosionado (Figura 5). Sugiriendo la importancia de mantener los suelos plantados con árboles para preservar carbono en el suelo.

Figura 5. Variación estacional de flujos de CO_2 del suelo en diferentes usos de suelo en el altiplano durante la temporada seca y lluviosa ($\text{g CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$).





En los altos Andes se vienen evidenciando cambios no planificados de uso de territorios que conllevan a pérdida de áreas productivas y de importantes servicios ecosistémico (Loza-Del Carpio & Taype-Huamán, 2021).

Los suelos sirven como reguladores naturales del CO₂ atmosférico y pueden almacenar de dos a tres veces más carbono que el de la atmósfera. Sin embargo, las tendencias recientes del cambio climático con el aumento de la temperatura pueden intensificar las pérdidas de carbono almacenado en el suelo (Abbas et al., 2020).

Además, uno de los objetivos de la agricultura baja en carbono (ABC) es reducir las emisiones de GEI en la agricultura (Silva & Vieira Filho, 2020).

4.1.1 Temperatura y humedad del suelo

La temperatura del suelo (Ts) varió tanto en la época seca como en la lluviosa. En la época seca la temperatura más alta fue de 34.31°C en suelo con pastizal natural, mientras que la temperatura mínima fue de 13.95°C en suelo de bosque. En la época lluviosa la temperatura más alta fue de 34.85°C en suelo erosionado y la temperatura mínima fue de 21.09°C en suelo de bosque. La temperatura de la época seca mostró una diferencia significativa ($p < 0.05$) con respecto a la época lluviosa en los diferentes usos de suelo a excepción del suelo erosionado y suelo de bosque (Tabla 3). Por otro lado, la humedad del suelo (Hs), en la época seca la Hs más alto fue de 6.37% en suelo con pastizal natural, mientras que la Hs menor fue de 1.88% en suelo roturado. En la época lluviosa la Hs más alto fue de 40.41% en suelo de bosque y la Hs menor fue de 5.79% en suelo erosionado. La Hs de la época seca mostró una diferencia significativa ($p < 0.05$) con respecto a la época lluviosa en todos los usos del suelo (Tabla 3).

Tabla 3. Temperatura y humedad del suelo en diferentes usos de suelo en el altiplano durante la temporada seca y lluviosa.

Uso de suelo	Época seca		Época lluviosa	
	Ts (°C)	Hs (%)	Ts (°C)	Hs (%)
Suelo cultivado con alfalfa	30.19 ± 1.18 ^a	4.91 ± 1.58 ^b	17.13 ± 0.72 ^b	13.05 ± 1.06 ^a
Suelo roturado	31.74 ± 1.70 ^a	1.88 ± 0.48 ^b	22.99 ± 0.66 ^b	10.58 ± 1.63 ^a
Suelo con restos de cultivo de avena	33.37 ± 2.10 ^a	5.85 ± 1.95 ^b	26.63 ± 1.06 ^b	14.84 ± 0.94 ^a
Suelo con pastizal natural	34.31 ± 2.36 ^a	6.37 ± 0.38 ^b	25.90 ± 0.98 ^b	19.09 ± 0.40 ^a
Suelo erosionado	33.56 ± 2.53 ^a	3.14 ± 0.39 ^b	34.85 ± 0.98 ^a	5.79 ± 0.69 ^a
Suelo de bosque	13.95 ± 0.99 ^a	6.22 ± 0.61 ^b	21.09 ± 9.36 ^a	40.41 ± 2.85 ^a

La Hs es mayor en época lluviosa y la Ts es mayor en época seca (Tabla 3), estudios muestran resultados similares Martínez-González et al. (2010) en su estudio mostraron que, En la temporada de secas, el porcentaje de humedad en los sitios con arbustos y encinos fue menor (8.3%), mientras que en los sitios con eucaliptos y sin vegetación fue mayor (10.6%) y menor (0.8%). La pérdida de humedad fue mayor en los sitios sin vegetación (3.4%) y menor en los sitios con eucaliptos (-0.8%). Durante la temporada de lluvias, los sitios con encinos experimentaron un aumento en el porcentaje de humedad (16.6%), mientras que los sitios con eucaliptos experimentaron una disminución en el porcentaje de humedad (15.4%). Los sitios con encinos (6.2%) y arbustos (4.2%) experimentaron un aumento en el porcentaje de humedad, mientras que los sitios con encinos (7.9%), arbustos (7.2%) y sin vegetación (6.1%) experimentaron un aumento tuvieron diferencias significativas entre las temporadas de secas y lluvias, lo que no ocurrió en sitios con eucaliptos (4.8%), donde las diferencias fueron mínimas, en la opinión de Susan-Tepetlan et al. (2015) resaltan que la



conservación de las comunidades arbóreas modifica las condiciones microclimáticas y la estructura del dosel determina el ambiente físico en que se desarrollan las epífitas, debido a que influye directamente en la temperatura, concentración de vapor y el régimen lumínico, por otro lado, evidencian que las propiedades físicas del suelo son afectadas por las coberturas empleadas, al tener la mayor cantidad de cobertura, mejora la estructura y porosidad del suelo y se manifiesta en mejor retención de humedad del suelo y la temperatura del suelo presenta la mayor temperatura cuando cubierta superficial cubre en su totalidad el suelo y reduce las pérdidas de agua por evaporación y, por ende, conserva la temperatura (López-Martínez, 2000).

4.1.2 Variables atmosféricas

La temperatura del aire (Tar) fue mayor en la época lluviosa 28.45°C y menor en la época seca 21.15°C en suelo roturado y suelo de bosque respectivamente, la humedad relativa (HR) fue mayor en época lluviosa 35.33% y menor en época seca 14.75% ambos en suelo roturado, la velocidad del viento (Vv) fue mayor y menor en la época lluviosa 3.10 y 0.0 m/s respectivamente, la presión atmosférica (P) fue mayor en la época lluviosa 648.08 hPa y menor en la época seca 639.75 hPa y la iluminación tuvieron valores similares en época seca y lluviosa (Tabla 4).

Tabla 4. Variables ambientales del aire según diferentes usos del suelo en la época seca y lluviosa.

Época	Uso de suelo	Tar (°C)	HR (%)	Vv (m/s)	P (hPa)	Iluminación (Lux)
Seca	Suelo cultivado con alfalfa	25.68 ± 0.72	16.8 ± 1.42	2.25 ± 0.24	645.83 ± 0.57	54612 ± 0.0
	Suelo roturado	28.03 ± 1.1	14.75 ± 1.04	1.80 ± 0.5	645.25 ± 0.55	54612 ± 0.0
	Suelo con restos de cultivo de avena	28.00 ± 1.01	15.78 ± 1.07	2.88 ± 0.49	644.40 ± 0.62	54612 ± 0.0
	Suelo con pastizal natural	26.73 ± 1.17	15.25 ± 0.41	2.08 ± 0.77	643.83 ± 0.62	54612 ± 0.0
	Suelo erosionado	26.55 ± 1.14	16.03 ± 1.09	1.5 ± 0.11	639.75 ± 0.03	31843.5 ± 13150.48
	Suelo de bosque	24.28 ± 1.55	17.98 ± 1.83	0.53 ± 0.53	639.93 ± 0.22	653.25 ± 187.14
Lluviosa	Suelo cultivado con alfalfa	28.45 ± 1.88	30.35 ± 1.98	0.0 ± 0.0	648.48 ± 0.29	48071.5 ± 6540.5
	Suelo roturado	24.53 ± 1.68	35.33 ± 1.55	1.83 ± 0.92	648.28 ± 0.19	54612 ± 0.0
	Suelo con restos de cultivo de avena	23.03 ± 1.04	35.15 ± 1.04	3.10 ± 1.07	622.88 ± 25.03	54612 ± 0.0
	Suelo con pastizal natural	23.68 ± 1.07	33.2 ± 1.53	2.68 ± 0.96	648.08 ± 0.46	54612 ± 0.0
	Suelo erosionado	27.00 ± 1.29	24.7 ± 2.22	1.98 ± 0.36	642.93 ± 0.23	54612 ± 0.0
	Suelo de bosque	21.15 ± 0.44	29.73 ± 2.10	1.95 ± 0.33	642.48 ± 0.17	2635.5 ± 598.76

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

Jáuregui (1975) en su trabajo microclima del bosque reporto valores de humedad relativa 20% en el interior del bosque, temperatura del área del bosque menores que sus alrededores llegando a la conclusión que las áreas verdes son más frescas y húmedas, por otro lado, Stambouli et al. (2012) reporta que la temperatura de la cubierta vegetal, durante el riego diurno, la temperatura del aire disminuyó significativamente (-0,95) durante el riego por aspersion. Esta disminución debido al riego por aspersion fue de 1,49 °C. Una hora después del riego, esta disminución continúa siendo significativa, pero con una magnitud



inferior (0,62 °C), la temperatura de la cubierta vegetal disminuyó hasta tres horas después del riego, lo que demuestra que cuando la temperatura del aire es demasiado alta, como en las horas centrales, la disminución de la temperatura de la cubierta vegetal durante el riego por aspersión puede beneficiar la fotosíntesis del cultivo.

4.1.2 Propiedades del suelo

El pH del suelo, fue mayor en la época lluviosa con un valor neutro en suelo con restos de cultivo de avena 7.06 y menor en época seca, con acides de 5.05 en suelo de bosque, la conductividad eléctrica (C.E.) mostró variación entre época, siendo en la época seco mayor de 0.35 mS/cm en suelo cultivado con alfalfa y en la época lluvioso fue menor de 0.18 mS/cm, el contenido de carbono orgánico del suelo (CO) y materia orgánica del suelo (MO) fue mayor en época lluviosa en suelo de bosque 19.67% y menor en suelo con restos de cultivo de avena 2.36%, así mismo, la biomasa de raíces (BR), fue mayor en época lluvioso de 1.82 Mg/ha y sin raíces en suelo con restos de avena y suelo erosionado en época seca (Tabla 5).

Tabla 5. Propiedades del suelo en época seca y lluviosa.

	Suelo cultivado con alfalfa	Suelo roturado	Suelo con restos de cultivo de avena	Suelo con pastizal natural	Suelo erosionado	Suelo de bosque
Seco						
pH	5.48	5.38	6.05	5.23	5.24	5.05
C.E. (mS/cm)	0.35	0.21	0.34	0.33	0.19	0.26
MO (%)	3.03	3.00	2.36	5.09	2.95	17.84
CO (%)	1.76	1.74	1.37	2.95	1.71	10.35
BR (Mg/ha)	1.63	0.51	0.00	0.84	0.00	3.65
Lluvioso						
pH	6.72	6.96	7.06	6.69	6.80	6.51
C.E. (mS/cm)	0.22	0.23	0.24	0.33	0.18	0.18
MO (%)	3.47	2.55	4.55	8.46	3.43	19.67
CO (%)	2.01	1.48	2.64	4.91	1.99	11.41
BR (Mg/ha)	1.82	0.68	0.05	0.90	0.00	3.91

Donde: Potencial de hidrógeno (pH), conductividad eléctrica (C.E.), materia orgánica del suelo (MO), carbono orgánico del suelo (CO) y biomasa de raíces (BR).

El contenido de materia orgánica del suelo en los diferentes usos del suelo en el altiplano es semejante al de suelos agrícolas de México con valores de 1.74, 2.99 y 3.10 %, asimismo, la conductividad eléctrica es menor en época seca a comparación de la época lluviosa, indicando que el contenido de sales es mayor en época lluviosa (Albíter-Pineda et al., 2020). En humedales de Huachipampa y Tambo Real en Lima, los valores de MO variaron entre 1.07 % a 49.12 %, el pH se encontraron dentro del rango de 5 a 6.9, que corresponde a la clasificación de moderadamente ácido a ligeramente ácido, la humedad del suelo encontrado fue de 18.52 % y 43.35 % (Baldoceca et al., 2021). En el presente estudio el mayor contenido de materia orgánica coincidió con altos valores de

humedad. En otro estudio, en suelos de bofedal en la Región Puno, la MO fue de 5.25% (Mamani & Mamani, 2019).

4.2 ESTIMACIÓN DE LA RESERVA DE CARBONO Y DIÓXIDO DE CARBONO EN SEIS USOS DE SUELOS EN ÉPOCA SECA Y LLUVIOSA

La reserva de carbono orgánico en diferentes usos del suelo en el altiplano en época seca fue mayor en suelo de bosque (90.74 TnC/ha) y menor en suelo con restos de cultivo de avena (16.78 TnC/ha), asimismo, el almacenamiento de dióxido de carbono en el suelo fue mayor en suelo de bosque (332.72 TnCO₂/ha) y menor en suelo con restos de cultivo de avena (61.54 TnCO₂/ha) (Tabla 6).

Tabla 6. Carbono y dióxido de carbono almacenado en los diferentes usos de suelo en época seca.

Uso de suelo	% CCO	Da (g/m ³)	P (m)	TnC/ha	TnCO ₂ /ha
Suelo cultivado con alfalfa	1.76	1398847.1	0.1	24.62 ± 0.07	90.28 ± 0.25
Suelo roturado	1.74	1240079.37	0.1	21.58 ± 1.61	79.12 ± 5.91
Suelo con restos de cultivo de avena	1.37	1225048.1	0.1	16.78 ± 0.11	61.54 ± 0.42
Suelo con pastizal natural	2.95	1233558.45	0.1	36.39 ± 0.48	133.43 ± 1.74
Suelo erosionado	1.71	1425096.55	0.1	24.37 ± 1.71	89.36 ± 6.29
Suelo de bosque	10.35	876731.69	0.1	90.74 ± 4.44	332.72 ± 16.28

La reserva de carbono orgánico en diferentes usos del suelo en el altiplano en época seca fue mayor en suelo de bosque (100.04 TnC/ha) y menor en suelo roturado (18.35 TnC/ha), asimismo, el almacenamiento de dióxido de carbono en el suelo fue mayor en suelo de bosque (366.80 TnCO₂/ha) y menor en suelo con restos de cultivo de avena (67.30 TnCO₂/ha) (Tabla 7).

Tabla 7. Carbono almacenado (TnC/ha) y dióxido de carbono (TnCO₂/ha) en los diferentes usos de suelo en época lluviosa.

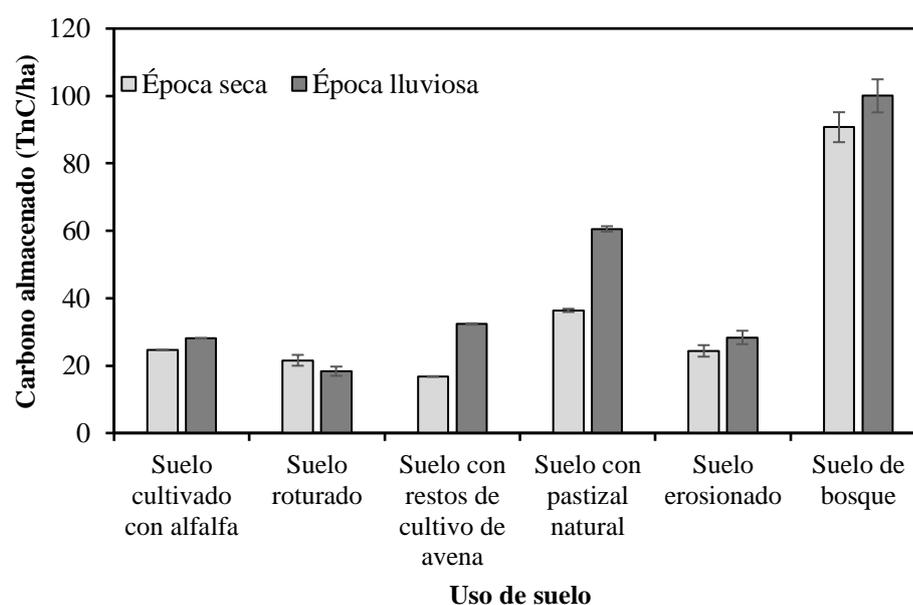
Uso de suelo	% CCO	Da (g/m ³)	P (m)	TnC/ha	TnCO ₂ /ha
Suelo cultivado con alfalfa	1.76	1398847.1	0.1	28.12 ± 0.08	103.1 ± 0.28
Suelo roturado	1.74	1240079.37	0.1	18.35 ± 1.37	67.30 ± 5.03
Suelo con restos de cultivo de avena	1.37	1225048.1	0.1	32.35 ± 0.22	118.59 ± 0.80
Suelo con pastizal natural	2.95	1233558.45	0.1	60.57 ± 0.79	222.08 ± 2.90
Suelo erosionado	1.71	1425096.55	0.1	28.36 ± 1.99	103.99 ± 7.30
Suelo de bosque	10.35	876731.69	0.1	100.04 ± 4.90	366.80 ± 17.95

Rodríguez-Laguna et al. (2009) reportaron que el bosque de pino-encino de la Reserva de la Biosfera tiene una gran importancia para el cielo y las comunidades locales y regionales. Los datos muestran que el componente aéreo (fuste, ramas y hojas) almacena la mayor cantidad de C (82.9 TnC ha⁻¹), mientras que el sistema radical almacena 16.5 TnC ha⁻¹ y la hojarasca 9.8 TnC ha⁻¹, concluyendo que de esta manera el bosque de pino-encino de la Reserva de la Biosfera, el Cielo contribuye a mitigar el calentamiento global, West et al. (2004) afirma que en los ecosistemas naturales, el mantillo (capa superficial de materia vegetal) y la biomasa radicular son las dos principales formas en que el C se incorpora al suelo. La velocidad de descomposición de este material depende de las poblaciones microbianas del suelo y las características del material vegetal. Otro trabajo similar realizado por Sequeiros & Cazorla (2020) obtuvieron como resultado 157.18 TnC/ha, esto demuestra el gran potencial de los bofedales para contribuir al servicio ambiental de captura de carbono, lo que requiere la implementación y fortalecimiento de los programas de conservación de los ecosistemas ya existentes, por su lado (Hernández, 2010) reporta 6.06 TnC/ha en la cobertura vegetal entre zonas secas y húmedas, de igual

modo Alvis-Ccoropuna et al. (2021) encontró 4.77 TnC/ha en humedales alto andinos de Chalhuanca, así mismo Medrano et al. (2012) encontraron el almacenamiento de carbono en suelos se determinó 774.76 TnC/ha en pajonales y 684.58 TnC/ha en bofedales, por su parte, Yepes-Quintero et al. (2011) reportaron promedios de carbono almacenado ($133,79 \pm 30,29$ TnC/ha) se debe principalmente a que los Bosques poseen mejores condiciones para el establecimiento de sistemas agrícolas o de ganadería (pendiente, profundidad del suelo, drenaje), facilidades de acceso, lo que promueve la ampliación de la frontera pecuaria y agrícola.

El carbono almacenado por los diferentes usos de suelo en el sistema suelo-atmósfera es mayor en época lluviosa respecto a la época seca, a excepción de suelo roturado. Con mayor almacenamiento de carbono en suelo de bosque en época seca y lluviosa, por otro lado, el menor almacenamiento de carbono fue en suelo con restos de cultivo de avena en época seca y en suelo roturado en época lluviosa (Figura 6).

Figura 6. Reservas de carbono almacenado por diferentes usos de suelo expresado en toneladas de carbono por hectárea (TnC/ha).





León (2016) encontró que la calidad de la materia orgánica fue alta en todos los horizontes, y la proporción de (AH+AF)/HU fue mayor a 1, lo que indica que la suma de ácidos húmicos y ácidos fúlvicos superó la cantidad de huminas, lo que indica que la materia orgánica le da al suelo una buena estructura y mejor disponibilidad. de nutrientes contenido de C fue mayor en el primer horizonte, ya que presentó 22 TnC/ha de 0-20 cm de profundidad, en los siguientes dos horizontes fue 5 y 6 TnC/ha, respectivamente, así mismo, el carbono del suelo desempeña un papel fundamental en varios aspectos ambientales y agrícolas, y su manejo adecuado es esencial para la salud del suelo y la mitigación del cambio climático, los suelos almacenan grandes cantidades de carbono, a menudo más carbono que la atmósfera y la vegetación juntas, es esencial para mantener la fertilidad y la estructura del suelo (Ayala et al., 2018).

4.3 INFLUENCIA DE FACTORES BIÓTICOS Y ABIÓTICOS CON DIÓXIDO DE CARBONO DEL SUELO

La correlación de Pearson nos indica que existe una correlación significativa y positiva ($p < 0.05$) el flujo de CO_2 con el Potencial de Hidrógeno (pH). Así mismo, tuvo una correlación significativa negativa del flujo de CO_2 con la temperatura del suelo (Ts), Materia orgánica (MO) y carbono orgánico del suelo (COS) (Tabla 8).

Tabla 8. Correlación de Pearson entre variables analizadas (Índice de significancia, p-valor <0.05) en época seca y lluviosa.

Variables	Ts	Hs	pH	C.E.	MO	COS	BR
F_{CO2}	-0.21*	0.07 ^{NS}	0.45**	0.17*	-0.32*	-0.32*	-0.03 ^{NS}
Ts		-0.23	-0.11	0.1	-0.35	-0.35	-0.42
Hs			0.42	-0.15	0.68	0.68	0.57
pH				-0.26	-0.11	-0.11	-0.17
C.E.					-0.17	-0.17	-0.1
MO						1	0.88
COS							0.88

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

F_{CO2} - Flujo de CO₂ del suelo; Ts - temperatura del suelo; Hs - humedad del suelo; pH - Potencial de Hidrógeno; C.E. - conductividad eléctrica; MO - materia orgánica del suelo; COS - carbono orgánico del suelo; BR – biomasa de raíces.

Según Sánchez et al. (2005) reportan que la actividad respiratoria incrementa cuando existe un mayor contenido de MO, en consecuencia, a mayor contenido de MO se tiene mayor fuente de energía, nutrientes y mayor actividad microbiológica, el cual se refleja en mayor producción de CO₂, así mismo Díaz (2018) quien menciona que la tasa de emisión de CO₂ más alta se encuentra en la situación menos degradada, resaltando que el flujo de GEI del suelo está fuertemente influenciado por el contenido de agua, temperatura y el uso del suelo, igualmente, el riego aumenta la actividad microbiana del suelo, lo que aumenta las emisiones de CO₂ (Albíter-Pineda et al., 2020), por su lado Sainju et al. (2012) mencionan que la operación de labranza puede aumentar las emisiones de CO₂ porque se incrementa la aireación debido a la alteración de los agregados del suelo. Torres (2015) en su investigación determino 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 de Huancán-Junín reportando que las fluctuaciones en



las emisiones de CO₂ están asociadas con la respiración del suelo, el tratamiento 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. El tratamiento E2 con estiércol de ovino se obtuvo 13,13; 12,69; 13,11; 13,49 y 13,81 mg.C.CO₂/Kg. Al-Kaisi et al. (2008) indica que la adición de fertilizantes nitrogenados, disminuyen las emisiones de CO₂, al respecto Maucieri et al. (2017) resalta que la salinidad disminuye las emisiones de CO₂ por lo que la baja en el flujo de CO₂ influye en la inhibición de la descomposición de la MO del suelo, como sostienen Mogollón et al. (2015) en su cultivo de rosa, presentó en los tres primeros días, un aumento de CO₂ debido a una mayor actividad biológica medida por la emisión de CO₂.

4.4 RELACIÓN ENTRE DIÓXIDO DE CARBONO DEL SUELO CON VARIABLES ATMOSFÉRICAS

El análisis de correlación entre el flujo de CO₂ con la humedad relativa (HR), presión atmosférica (P) e iluminación, para los diferentes usos de suelo en época seca y lluviosa mostró diferencia significativa ($p < 0.05$). Indicando la importancia de la HR, P y la iluminación en el flujo de CO₂ de los suelos. Sin embargo, no se encontró una correlación entre los flujos de CO₂ y la temperatura del aire (Tar) y la velocidad del viento (Tabla 9).

Tabla 9. Correlación de Pearson entre variables analizadas (Índice de significancia, p-valor <0.05) en época seca y lluviosa.

Variables	Tar	HR	Vv	P	Iluminación
F_{CO2}	0.02 ^{NS}	0.47**	-0.10 ^{NS}	0.20*	0.38**
Tar		-0.48	-0.35	0.33	0.44
HR			0.01	-0.12	0.05
Vv				-0.51	0.29
P					0.08

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

F_{CO2} - flujo de CO₂ del suelo; Tar - temperatura del aire; HR - humedad relativa; Vv - velocidad del viento; P - presión atmosférica e iluminación.

Checalla (2023) reportó que el flujo de CO₂ se correlaciona positivamente con la temperatura del suelo, humedad del suelo y altura de agua por otro lado, (Ayala et al., 2018) indican que el flujo de CO₂ son mayores tras el paso de lluvias extraordinarias, las condiciones específicas de humedad y temperatura, en conjunto con los microorganismos del suelo, presentan evidencias de funcionamiento como fuente y sumidero de carbono.



V. CONCLUSIONES

- El tipo de los usos del suelo tiene un impacto significativo en los intercambios de carbono entre el suelo y la atmósfera, se evidenció que el suelo cubierto por alfalfa utilizado en la actividad agropecuaria intensiva tiende a liberar cantidades significativas de dióxido de carbono a la atmósfera ($0.91 \text{ g CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ en época seca y $1.18 \text{ g CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ en época lluviosa) estos suelos tienen menor cantidad de materia orgánica, la alta tasa de emisión puede ser atribuido al uso de fertilizantes en ese tipo de usos de suelo, los suelos roturados también emite dióxido de carbono en cantidades considerables. Esto puede contribuir al aumento de las emisiones de gases de efecto invernadero. La menor cantidad de emisiones se produce en suelo de bosque, lo que indica la importancia de mantener suelos plantados con árboles para conservar carbono en el suelo.
- La cantidad de carbono almacenado por los diferentes usos del suelo estudiadas son diferentes entre sí, de las cuales se puede inferir que la mayor captación de carbono la tuvo el suelo de bosque (100.04 TnC/ha), seguido por suelo con pastizal natural (60.57 TnC/ha) en época lluviosa y la menor captación (16.78 TnC/ha) y suelo roturado (21.58 TnC/ha) en época seca, se puede concluir que el resultado está muy influenciado por el uso del suelo, debido a que es el componente que almacena carbono en mayor porcentaje, desempeñando un rol importante para el almacenamiento del carbono dentro del suelo. Es de interés preservar o instalar áreas de plantaciones de árboles para almacenar carbono en los suelos en el altiplano.
- Los diferentes usos del suelo del C.E. Illpa y manejo que se llevan a cabo influyen en las actividades fisiológicas de la cobertura vegetal, estos resultados evidencian que la emisión de CO_2 del suelo se ven influenciadas por los diferentes usos y propiedades del suelo como pH ($r = 0.45$), carbono orgánico ($r = -0.32$), materia



orgánica del suelo ($r = -0.32$), temperatura del suelo ($r = 0.21$), dichas actividades hacen que incrementen y disminuyan las cantidades emitidas de CO_2 de los suelos del C.E Illpa.

- Los resultados demuestran que el flujo de dióxido de carbono estuvo determinado por los diferentes usos del suelo y parámetros ambientales como la humedad relativa ($r = 0.47$) e iluminación ($r = 0.38$) que son los principales factores que afectan el cambio en la tasa de emisión de CO_2 del suelo.



VI. RECOMENDACIONES

- Se sugiere llevar a cabo investigaciones sobre las emisiones de CO₂ y CH₄ generadas por la descomposición de materia orgánica, con el fin de establecer un equilibrio entre el carbono fijado y liberado a la atmósfera. Esto se hace con el objetivo de obtener datos más precisos sobre la posibilidad de captura de CO₂ en diferentes usos del suelo.
- Se recomienda al C.E. Illpa gestionar y promover un flujo de dióxido de carbono más sostenible en suelos de diferentes usos de suelo, prácticas de agricultura sostenible, agricultura de conservación y realizar la forestación.
- Se recomienda realizar estudios de los efectos del uso de suelos en el flujo de dióxido de carbono del suelo en las diferentes actividades de la zona altoandina, teniendo como fuente de información esta investigación.
- Frente a la limitación ecológica es recomendable ejecutar proyectos ambientales como modelos de compensación ya que buscan almacenar carbono orgánico que al ser liberado es transformado en dióxido de carbono principal componente de los gases de efecto invernadero.
- Realizar estudios para evaluar efecto de la adición de agroquímicos en la agricultura y efecto en la dinámica de CO₂ de los diferentes usos de suelo en el altiplano.
- Se recomienda evaluar la dinámica de CO₂ en suelos de los diferentes cultivos altoandinos con el objetivo de tener una agricultura baja en carbono y reducir las emisiones de GEI en la agricultura, recomendar proyectos de reducción de CO₂ en la agricultura. Así mismo, servirá para la planificación racional de los usos de suelos en el altiplano, que involucren al manejo sostenido de los recursos naturales como una medida de mitigación a los efectos del cambio climático en la Región Puno.



VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abbas, F., Hammad, H. M., Ishaq, W., Farooque, A. A., Bakhat, H. F., Zia, Z., Fahad, S., Farhad, W., & Cerdà, A. (2020). A review of soil carbon dynamics resulting from agricultural practices. *Journal of Environmental Management*, 268, 110319. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110319>
- Abreu, F. S. (2017). *Taxas de fluxo de CO2 do solo de diferentes clones de Eucalyptus spp. Sob dois níveis de disponibilidade hídrica e sua relação com a produtividade, no município de Otacílio Costa—SC* [Tesis Pregrado, Universidade Federal de Santa Catarina]. <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/178595>
- Acosta, R., Roberti, D. R., Rubert, G. C. D., Diaz, M. B., Cely, I., & Moraes, O. (2018). Uma análise da sazonalidade dos fluxos superficiais de energia e carbono em um ecossistema de campos nativos inserido no bioma Pampa. *Ciência e Natura*, 40, 132. <https://doi.org/10.5902/2179460X30722>
- Albíter-Pineda, J. F., Vaca, R., Aguila, P. del, Yáñez-Ocampo, G., Lugo, J., Albíter-Pineda, J. F., Vaca, R., Aguila, P. del, Yáñez-Ocampo, G., & Lugo, J. (2020). Flujo de CO2 y su relación con propiedades bioquímicas en cultivos hortícolas en invernadero. *Ecosistemas y recursos agropecuarios*, 7(3). <https://doi.org/10.19136/era.a7n3.2548>
- Al-Kaisi, M. M., Kruse, M. L., & Sawyer, J. E. (2008). Effect of nitrogen fertilizer application on growing season soil carbon dioxide emission in a corn–soybean rotation. *Journal of Environmental Quality*, 37(2), 325–332. <https://doi.org/10.2134/jeq2007.0240>
- 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>



- Arango, B. E. (2011). Sumideros de carbono en el marco del Protocolo de Kioto. *Memorando de Derecho*, 2(2), 13–21. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3851095>
- Atamari, M. (1992). *Evaluación agrostológica de los pastizales del Centro Experimental Illpa* [Tesis Pregrado]. Universidad Nacional del Altiplano.
- Ayala, F., Maya, Y., & Troyo, E. (2018). Almacenamiento y flujo de carbono en suelos áridos como servicio ambiental: Un ejemplo en el noroeste de México. *REVISTA TERRA LATINOAMERICANA*, 36(2), 93–104. <https://doi.org/10.28940/terra.v36i2.334>
- Baldoceda, Á., Maldonado, M., & Alcántara, F. (2021). Análisis del porcentaje de humedad, materia orgánica y porosidad del suelo de dos tipos de bofedales. *Ciencia & Desarrollo*, 20(2), Artículo 2. <https://doi.org/10.33326/26176033.2021.2.1204>
- Barry, R. G., & Chorley, R. J. (2009). *Atmosphere, Weather and Climate* (1^o ed). Routledge. <https://doi.org/10.4324/9780203871027>
- 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. <https://doi.org/10.25054/22161325.2527>
- 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>
- Berberian, G., & Rosanova, M. T. (2012). Impacto del cambio climático en las enfermedades infecciosas. *Archivos argentinos de pediatría*, 110(1), 39–45. <https://doi.org/10.5546/aap.2012.39>
- Bonilla, J. A., & Lemus, C. (2012). Emisión de metano entérico por rumiantes y su contribución al calentamiento global y al cambio climático: Revisión. *Revista mexicana de ciencias pecuarias*, 3(2), 215–246. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S2007-11242012000200006&lng=es&nrm=iso&tlng=es



- Bossio, D. A., Cook-Patton, S. C., Ellis, P. W., Fargione, J., Sanderman, J., Smith, P., Wood, S., Zomer, R. J., von Unger, M., Emmer, I. M., & Griscom, B. W. (2020). The role of soil carbon in natural climate solutions. *Nature Sustainability*, 3(5), Artículo 5. <https://doi.org/10.1038/s41893-020-0491-z>
- Burbano, H. (2018). El carbono orgánico del suelo y su papel frente al cambio climático. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 35(1), 82–96. <https://doi.org/10.22267/rcia.183501.85>
- Cantú, I., & Yáñez, M. I. (2018). Efecto del cambio de uso de suelo en el contenido del carbono orgánico y nitrógeno del suelo. *Revista mexicana de ciencias forestales*, 9(45), 122–151. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v9i45.138>
- Carbajal, J., Rodríguez Rosales, A. A., Ávila, L. P., Rodríguez, A. L., & Hernández Cocoltzi, H. (2017). Captura de carbono por una fachada vegetada. *Acta universitaria*, 27(5), 55–61. <https://doi.org/10.15174/au.2017.1388>
- 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://34.127.45.135/handle/UPSC/508>
- Cotler, H., Martínez, M., & Etchevers, J. D. (2016). Carbono orgánico en suelos agrícolas de México: Investigación y políticas públicas. *Terra Latinoamericana*, 34(1), 125–138. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0187-57792016000100125&lng=es&nrm=iso&tlng=es
- Cruz-Macías, W. O., Rodríguez-Larramendi, L. A., Salas-Marina, M. Á., Hernández-García, V., Campos-Saldaña, R. A., Chávez-Hernández, M. H., & Gordillo-Curiel, A. (2020). Effect of organic matter and cation exchange capacity on the acidity of soils cultured with corn in two regions of Chiapas, Mexico. *Terra Latinoamericana*, 38(3), 475–480. <https://doi.org/10.28940/terra.v38i3.506>
- Cunha, J. M., Campos, M. C. C., Gaio, D. C., Souza, G. N. B. de, Soares, M. D. R., da Silva, D. M. P., & Simões, E. L. (2018). Spatial variability of soil respiration in



- Archaeological Dark Earth areas in the Amazon. *CATENA*, 162, 148–156.
<https://doi.org/10.1016/j.catena.2017.12.001>
- Díaz, G. (2012). El cambio climático. *Ciencia y sociedad*, XXXVII(2), 227–240.
<http://repositoriobiblioteca.intec.edu.do/handle/123456789/1392>
- 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>
- Escandón, J., Ordóñez, J. A. B., Nieto de Pascual Pola, M. C. del C., & Ordóñez, M. de J. (2018). Cambio en la cobertura vegetal y uso del suelo del 2000 al 2009 en Morelos, México. *Revista mexicana de ciencias forestales*, 9(46), 27–53.
<https://doi.org/10.29298/rmcf.v9i46.135>
- Fonseca, L. C. N. da, Araújo, A. C. de, Manzi, A. O., Carvalho, C. J. R. de, & Oliveira, L. R. de. (2018). Fluxos de CO₂ em Plantio de Palma de Óleo no Leste da Amazônia. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 33(1), 181–192.
<https://doi.org/10.1590/0102-7786331003>
- Frank, D., Reichstein, M., Bahn, M., Thonicke, K., Frank, D., Mahecha, M. D., Smith, P., Velde, M., Vicca, S., Babst, F., Beer, C., Buchmann, N., Canadell, J. G., Ciais, P., Cramer, W., Ibrom, A., Miglietta, F., Poulter, B., Rammig, A., ... Zscheischler, J. (2015). Effects of climate extremes on the terrestrial carbon cycle: Concepts, processes and potential future impacts. *Global Change Biology*, 21(8), 2861–2880. <https://doi.org/10.1111/gcb.12916>
- García, Y., Ramírez, W., & Sánchez, S. (2012). Indicadores de la calidad de los suelos: Una nueva manera de evaluar este recurso. *Pastos y Forrajes*, 35(2), 125–138.
http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0864-03942012000200001&lng=es&nrm=iso&tlng=es
- González, L., Acosta Mireles, M., Carrillo, F., Báez, A., & González, J. M. (2018). Cambios de carbono orgánico del suelo bajo escenarios de cambio de uso de suelo en México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 5(7), 1275–1285.
<https://doi.org/10.29312/remexca.v5i7.873>



- Henríquez, C., Azócar, G., & Aguayo, M. (2006). Cambio de uso del suelo y escorrentía superficial: Aplicación de un modelo de simulación espacial en Los Ángeles, VIII Región del Biobío, Chile. *Revista de geografía Norte Grande*, 36, 61–74. <https://doi.org/10.4067/S0718-34022006000200004>
- 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
- IPCC. (2001). *Climate change 2001: The scientific basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the IPCC* (p. 893). Cambridge University Press. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/WGI_TAR_full_report.pdf
- IPCC. (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>
- Jáuregui, E. (1975). Microclima del bosque de Chapultepec. *Investigaciones Geográficas*, 6, 63–72. <https://doi.org/10.14350/rig.58892>
- Kalra, Y. P., & Maynard, D. G. (1991). *Methods manual for forest soil and plant analysis* (Vol. 319E). Information Report NOR-X-319E. <http://scf.rncan.gc.ca/publications?id=11845>
- Lent, J., Hergoualc'h, K., Verchot, L., Oenema, O., & van Groenigen, J. W. (2019). Greenhouse gas emissions along a peat swamp forest degradation gradient in the Peruvian Amazon: Soil moisture and palm roots effects. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 24(4), 625–643. <https://doi.org/10.1007/s11027-018-9796-x>



- León, A. Y. (2016). *Reserva de carbono en bofedales y su relación con la florística y condición del pastizal* [Tesis de Postgrado, Universidad Agraria La Molina]. <http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/20.500.12996/2749>
- 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>
- López-Martínez, J. D. (2000). Labranza de conservación usando coberturas de abono orgánico en alfalfa. *Terra Latinoamericana*, 18(2), 161–171.
- Loza-Del Carpio, A., & Taype-Huamán, I. (2021). Multitemporal analysis of plant associations and land use changes in a high Andean locality, Puno-Peru. *Uniciencia*, 35(2), 27–45. <https://doi.org/10.15359/ru.35-2.3>
- 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>
- Manzanares, V. M. (2014). Externalidades y medioambiente. *Revista Iberoamericana de Organización de Empresas y Marketing*, 1, 1–15.
- Marthews, T. R., Riutta, T., Oliveras Menor, Urrutia, R., Moore, S., Metcalfe, D., Malhi, Y., Phillips, O., Huaraca Huasco, W., Ruiz Jaén, M., Girardin, C., Butt, N., & Cain, R. (2014). *Measuring Tropical Forest Carbon Allocation and Cycling: A RAINFOR-GEM Field Manual for Intensive Census Plots (v3.0)*. Global Ecosystems Monitoring network. https://ora.ox.ac.uk/objects/uuid:f33a0929-4675-43c6-91a3-8cbcd962775/download_file?file_format=application%2Fpdf&safe_filename=rainfor-gemmanual.v3.0.pdf&type_of_work=Report



- Martínez-González, F., Sosa-Pérez, F., & Ortiz-Medel, J. (2010). Comportamiento de la humedad del suelo con diferente cobertura vegetal en la Cuenca La Esperanza. *Tecnología y ciencias del agua*, 1(4), 89–103. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S2007-24222010000400005&lng=es&nrm=iso&tlng=es
- Maucieri, C., Zhang, Y., McDaniel, M. D., Borin, M., & Adams, M. A. (2017). Short-term effects of biochar and salinity on soil greenhouse gas emissions from a semi-arid Australian soil after re-wetting. *Geoderma*, 307, 267–276. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2017.07.028>
- 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>
- Mendiara, S. (2012). *Efecto de los usos del suelo en la emisión de dióxido de carbono del suelo a la atmósfera en un agroecosistema semiárido del Valle del Ebro* [Tesis Pregrado, Universitat de Vic]. <http://dspace.uvic.cat/handle/10854/1889>
- Mendizábal-Hernández, L. del C., Alba-Landa, J., Márquez, J., Cruz-Jiménez, H., & Ramírez-García, E. O. (2011). Captura de carbono por *Cedrela odorata* l. En una prueba genética. *Revista mexicana de ciencias forestales*, 2(4), 105–111. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S2007-11322011000200009&lng=es&nrm=iso&tlng=es
- 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. (2019). *Guía de evaluación del estado del ecosistema de bofedal*. <https://sinia.minam.gob.pe/documentos/guia-evaluacion-estado-ecosistema-bofedal>
- Mogollón, J. P., Vera, M. C., & Martínez, A. (2015). Efecto de los plaguicidas sobre la calidad química y biológica del suelo en sistemas de producción de hortalizas del



- semiárido venezolano. *Química Viva*, 14(1), 69–89.
<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=86340672008>
- Muñoz, C., Paulino, L., Monreal, C., & Zagal, E. (2010). Greenhouse Gas (CO₂ and N₂O) Emissions from Soils: A Review. *Chilean Journal of Agricultural Research*, 70(3), 485–497. <https://doi.org/10.4067/S0718-58392010000300016>
- Muñoz, C., Paulino, L., Vera, J., & Zagal, E. (2011). CO₂ and N₂O emissions from an Andisol in Chile under a no-till system using non-fixed closed chambers. *Chilean journal of agricultural research*, 71(2), 275–282. <https://doi.org/10.4067/S0718-58392011000200013>
- Musafiri, C. M., Macharia, J. M., Kiboi, M. N., Ng'etich, O. K., Shisanya, C. A., Okeyo, J. M., Mugendi, D. N., Okwuosa, E. A., & Ngetich, F. K. (2020). Soil greenhouse gas fluxes from maize cropping system under different soil fertility management technologies in Kenya. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 301, 107064. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2020.107064>
- National Oceanic & Atmospheric Administration, Earth System Research Laboratory (NOAA/ESRL). (2023). *Trends in Atmospheric Carbon Dioxide*. <https://gml.noaa.gov/ccgg/trends/global.html>
- Oertel, C., Matschullat, J., Zurba, K., Zimmermann, F., & Erasmi, S. (2016). Greenhouse gas emissions from soils-A review. *Geochemistry*, 76(3), 327–352. <https://doi.org/10.1016/j.chemer.2016.04.002>
- Oviedo, L. M., & Kowalski, A. S. (2006). *Medición de la Respiración del Suelo en Ecosistemas Mediterráneos Con Sistemas de Cámaras y Analizadores Tipo IRGA* [Tesis de Maestría, Universidad de Granada]. <https://www.ugr.es/~andyk/Theses/TesisLMOB.pdf>
- Pacheco, C. A. (2020). Estimation of the storage and retention of carbon dioxide by the public urban forest of the area of Achumani in La Paz city through a mobile application. *Fides et Ratio - Revista de Difusión Cultural y Científica de La Universidad La Salle En Bolivia*, 19(19), 153–174. http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S2071-081X2020000100008&lng=es&nrm=iso&tlng=es



- 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., Torres, R., & Velázquez, A. (2017). *Estado Actual del Conocimiento del Ciclo del Carbono y sus Interacciones en México: Síntesis a 2017*. Programa Mexicano del Carbono en colaboración con el Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada y la Universidad Autónoma de Baja California.
- Pérez-Miranda, R., Valdez, J. R., Moreno, F., González, A., & Valdez, J. I. (2011). Predicción espacial de cambios del uso de suelo en Texcoco, Estado de México. *Revista mexicana de ciencias forestales*, 2(5), 59–72.
http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S2007-11322011000300006&lng=es&nrm=iso&tlng=es
- Planas-Clarke, A. M., Chimner, R. A., Hribljan, J. A., Lilleskov, E. A., & Fuentealba, B. (2020). The effect of water table levels and short-term ditch restoration on mountain peatland carbon cycling in the Cordillera Blanca, Peru. *Wetlands Ecology and Management*, 28(1), 51–69. <https://doi.org/10.1007/s11273-019-09694-z>
- PP-Systems. (2010). *Pp systems EGM-4 Manuals / ManualsLib*.
<https://www.manualslib.com/products/Pp-Systems-Egm-4-9049787.html>
- Quispe, G. B. (2015). Efectos del cambio climático en la agricultura de la cuenca Ramis, Puno-Perú. *Revista Investigaciones Altoandinas*, 17(1), 47–52.
<https://doi.org/10.18271/ria.2015.77>
- Raich, J. W., Potter, C. S., & Bhagawati, D. (2002). Interannual variability in global soil respiration, 1980–94. *Global Change Biology*, 8(8), 800–812.
<https://doi.org/10.1046/j.1365-2486.2002.00511.x>
- Rodríguez, N. J., Coronado, H., Torres, D. G., & Zamora, F. R. (2009). Cambios en la biomasa microbiana, respiración basal y germinación de cebolla (*Allium cepa* L.) luego de la aplicación de los herbicidas Oxifluorfen, Fluaxifop y Pendimetalin



- en un entisol del estado Falcón. *Revista Científica UDO Agrícola*, 9(3), 579–589.
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3358272>
- Rodríguez, R., Palacios, A., Razo, R., Delgado, S. J., & Goche, R. (2021). Ciclo del carbono en un bosque con aprovechamiento forestal en Zacualtipán, Hidalgo. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 5(4), 3989–3998.
https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v5i4.598
- Rodríguez-Laguna, R., Jiménez-Pérez, J., Aguirre-Calderón, Ó. A., Treviño-Garza, E. J., & Razo-Zárate, R. (2009). Estimación de carbono almacenado en el bosque de pino-encino en la reserva de la biosfera el cielo, Tamaulipas, México. *Ra Ximhai*, 5(3), 317–327. <https://doi.org/10.35197/rx.05.03.2009.06.rr>
- 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* (1º ed). Centro Mundial Agroflorestal (ICRAF) / Consórcio Iniciativa Amazônica (IA).
- Sainju, U. M., Jabro, J. D., & Stevens, W. B. (2008). Soil Carbon Dioxide Emission and Carbon Content as Affected by Irrigation, Tillage, Cropping System, and Nitrogen Fertilization. *Journal of Environmental Quality*, 37(1), 98–106.
<https://doi.org/10.2134/jeq2006.0392>
- Sainju, U. M., Stevens, W. B., Caesar-TonThat, T., & Liebig, M. A. (2012). Soil Greenhouse Gas Emissions Affected by Irrigation, Tillage, Crop Rotation, and Nitrogen Fertilization. *Journal of Environmental Quality*, 41(6), 1774–1786.
<https://doi.org/10.2134/jeq2012.0176>
- Saldívar-Esparza, S., Cabrera-Robles, J. S., & Reta-Hernández, M. (2017). Tecnologías de captura y almacenamiento de dióxido de carbono. *Revista de Ciencias Naturales y Agropecuarias*, 4(12), 22–34.
<http://ricaxcan.uaz.edu.mx/jspui/handle/20.500.11845/923>



- 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>
- Salinas, O. R. (2009). Dióxido de carbono, precursor de la vida. *CienciaUAT*, 3(3), 46–51. <https://www.redalyc.org/pdf/4419/441942915010.pdf>
- Sanabria, J., Marengo, J., & Valverde, M. (2009). Escenarios de Cambio Climático con modelos regionales sobre el Altiplano Peruano (Departamento de Puno). *Revista Peruana Geo-Atmosférica RPGA*, 1, 134–149.
- Sánchez, B., Ruiz, M., & Ríos, M. M. (2005). Materia orgánica y actividad biológica del suelo en relación con la altitud, en la cuenca del río Maracay, estado Aragua. *Agronomía Tropical*, 55(4), 507–534. http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0002-192X2005000400004&lng=es&nrm=iso&tlng=es
- 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>
- Silva, F. P. da, & Vieira Filho, J. E. R. (2020). *Avaliação de Impacto do Programa de Agricultura de Baixo Carbono no Brasil* (Working Paper 2568; p. 41). Texto para Discussão. <https://www.econstor.eu/handle/10419/240763>
- Stambouli, T., Zapata, N., Martínez-Cob, A., & Faci, J. M. (2012). Estudio de los cambios microclimáticos y fisiológicos en alfalfa regada por aspersion. *Tierras*, 189, 99–102. <http://hdl.handle.net/10261/73042>
- Striegl, R. G., Dornblaser, M. M., McDonald, C. P., Rover, J. R., & Stets, E. G. (2012). Carbon dioxide and methane emissions from the Yukon River system. *Global Biogeochemical Cycles*, 26(4), 1–11. <https://doi.org/10.1029/2012GB004306>
- Sun, S., Lei, H., & Chang, S. X. (2019). Drought differentially affects autotrophic and heterotrophic soil respiration rates and their temperature sensitivity. *Biology and Fertility of Soils*, 55(3), 275–283. <https://doi.org/10.1007/s00374-019-01347-w>



- Susan-Tepetlan, T. M., Velázquez-Rosas, N., & Krömer, T. (2015). Cambios en las características funcionales de epífitas vasculares de bosque mesófilo de montaña y vegetación secundaria en la región central de Veracruz, México. *Botanical Sciences*, 93(1), Artículo 1. <https://doi.org/10.17129/botsci.228>
- 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>
- 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
- Wanyama, I., Pelster, D. E., Butterbach-Bahl, K., Verchot, L. V., Martius, C., & Rufino, M. C. (2019). Soil carbon dioxide and methane fluxes from forests and other land use types in an African tropical montane region. *Biogeochemistry*, 143(2), 171–190. <https://doi.org/10.1007/s10533-019-00555-8>
- 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>
- West, T. O., Marland, G., King, A. W., Post, W. M., Jain, A. K., & Andrasko, K. (2004). Carbon management response curves: Estimates of temporal soil carbon dynamics. *Environmental Management*, 33(4), 507–518. <https://doi.org/10.1007/s00267-003-9108-3>
- WMO. (2021). *WMO Greenhouse Gas Bulletin: The State of Greenhouse Gases in the Atmosphere Based on Global Observations through 2020* (Boletín 17; p. 10). Global Atmosphere Watch. https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=10904



- Yepes-Quintero, A., Duque-Montoya, Á. J., Navarrete-Encinales, D., Phillips-Bernal, J., Cabrera-Montenegro, E., Corrales-Osorio, A., Álvarez-Dávila, E., Galindo-García, G., García-Dávila, M. C., Idárraga, Á., & Vargas-Galvis, D. (2011). Estimación de las reservas y pérdidas de carbono por deforestación en los bosques del departamento de Antioquia, Colombia. *Actualidades Biológicas*, 33(95), 193–208. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0304-35842011000200005&lng=en&nrm=iso&tlng=es
- Zamora, M. C. (2015). Cambio climático. *Revista mexicana de ciencias forestales*, 6(31), 04–07. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S2007-11322015000500001&lng=es&nrm=iso&tlng=es
- Zhang, K., Duan, M., Xu, Q., Wang, ·Zhiyuan, Liu, ·Bangyan, & Wang, ·Longchang. (2020). Soil microbial functional diversity and root growth responses to soil amendments contribute to CO₂ emission in rainfed cropland. *CATENA*, 195, 104747. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2020.104747>



ANEXOS

Anexo 1. Datos de medición por EGM-4 para dos usos de suelo

Plot	RecNo	CO ₂ Ref	mbR Temp	Input E	Input F	ATMP
1	1	496	25.6	0	0	650
1	2	499	25.6	4	0	650
1	3	502	25.6	9	0	650
1	4	506	25.7	14	0.46	650
1	5	510	25.7	19	0.48	650
1	6	514	25.7	24	0.49	650
1	7	519	25.7	28	0.51	650
1	8	522	25.8	33	0.52	650
1	9	526	25.8	38	0.52	650
1	10	530	25.8	43	0.52	650
1	11	534	25.9	48	0.52	650
1	12	539	25.9	52	0.52	650
1	13	543	25.9	57	0.53	650
1	14	548	26	62	0.53	650
2	1	480	26.3	0	0	650
2	2	484	26.2	4	0	650
2	3	488	26.3	9	0	650
2	4	492	26.3	14	0.54	650
2	5	497	26.3	19	0.56	650
2	6	502	26.3	24	0.57	650
2	7	506	26.3	28	0.58	650
2	8	511	26.4	33	0.59	650
2	9	516	26.4	38	0.6	650
2	10	522	26.4	43	0.61	650
2	11	525	26.3	48	0.61	650
2	12	531	26.4	52	0.62	650
3	1	487	26.3	0	0	650
3	2	493	26.3	4	0	650
3	3	502	26.3	9	0	650
3	4	511	26.2	14	1	650
3	5	520	26.2	19	1.05	650
3	6	530	26.3	24	1.1	650
3	7	540	26.2	28	1.14	650
4	1	485	26	0	0	650
4	2	487	26	4	0	650
4	3	494	26	9	0	650
4	4	500	26	14	0.66	650
4	5	507	26	19	0.72	650
4	6	514	25.9	24	0.78	650
4	7	522	25.8	28	0.83	650



4	8	530	25.9	33	0.86	650
4	9	538	25.8	38	0.89	650
5	1	501	27.2	0	0	650
5	2	505	27.2	4	0	650
5	3	509	27.2	9	0	650
5	4	515	27.2	14	0.57	650
5	5	522	27.2	19	0.66	650
5	6	530	27.2	24	0.73	650
5	7	540	27.2	28	0.82	650
5	8	547	27.2	33	0.87	650
5	9	557	27.1	38	0.91	650
6	1	501	26.9	0	0	650
6	2	504	26.9	4	0	650
6	3	509	26.9	9	0	650
6	4	515	26.9	14	0.61	650
6	5	521	26.8	19	0.66	650
6	6	527	26.9	24	0.7	650
6	7	534	26.8	28	0.73	650
6	8	541	26.8	33	0.76	650
6	9	548	26.9	38	0.78	650
6	10	555	26.8	43	0.8	650
1	1	530	25.1	0	0	650
1	2	531	25.1	4	0	650
1	3	533	25.1	9	0	650
1	4	535	25.1	14	0.23	650
1	5	537	25.1	19	0.24	650
1	6	539	25.2	24	0.25	650
1	7	540	25.1	28	0.25	650
1	8	542	25.2	33	0.24	650
1	9	544	25.2	38	0.24	650
1	10	546	25.2	43	0.25	650
1	11	548	25.1	48	0.25	650
1	12	550	25.2	52	0.25	650
1	13	552	25.2	57	0.25	650
1	14	554	25.2	62	0.25	650
1	15	557	25.2	67	0.26	650
1	16	559	25.2	72	0.26	650
1	17	560	25.2	76	0.26	650
1	18	562	25.2	81	0.26	650
1	19	564	25.2	86	0.26	650
1	20	567	25.2	91	0.26	650
1	21	569	25.2	96	0.26	650
1	22	571	25.2	100	0.27	650
1	23	573	25.2	105	0.27	650
1	24	576	25.2	110	0.27	650
1	25	578	25.2	115	0.27	650



1	26	580	25.2	120	0.27	650
2	1	493	25.6	0	0	650
2	2	493	25.6	4	0	650
2	3	494	25.6	9	0	650
2	4	495	25.6	14	0.09	650
2	5	496	25.6	19	0.1	650
2	6	496	25.7	24	0.11	650
2	7	497	25.7	28	0.11	650
2	8	498	25.8	33	0.11	650
2	9	499	25.8	38	0.12	650
2	10	501	25.8	43	0.12	650
2	11	503	25.8	48	0.14	650
2	12	506	25.8	52	0.15	650
2	13	509	25.9	57	0.17	649
2	14	511	25.8	62	0.18	650
2	15	514	25.8	67	0.2	650
2	16	518	25.8	72	0.21	650
2	17	521	25.8	76	0.23	650
2	18	524	25.9	81	0.25	650
2	19	528	25.9	86	0.26	650
2	20	531	25.9	91	0.27	650
2	21	534	25.9	96	0.28	650
2	22	538	26	100	0.29	650
2	23	541	26	105	0.3	650
2	24	545	26	110	0.31	650
3	1	488	25.5	0	0	650
3	2	490	25.5	4	0	650
3	3	492	25.5	9	0	650
3	4	496	25.5	14	0.33	650
3	5	499	25.5	19	0.36	650
3	6	502	25.5	24	0.38	650
3	7	506	25.5	28	0.4	650
3	8	509	25.5	33	0.41	650
3	9	513	25.4	38	0.42	650
3	10	516	25.5	43	0.42	650
3	11	520	25.4	48	0.43	650
3	12	523	25.4	52	0.44	650
3	13	528	25.4	57	0.44	650
3	14	532	25.4	62	0.45	650
3	15	536	25.4	67	0.46	650
3	16	541	25.4	72	0.47	650
4	1	486	25.2	0	0	650
4	2	488	25.2	4	0	650
4	3	490	25.2	9	0	650
4	4	493	25.1	14	0.28	650
4	5	497	25.1	19	0.34	649



4	6	498	25.1	24	0.34	650
4	7	502	25.1	28	0.34	650
4	8	505	25.1	33	0.35	650
4	9	508	25.1	38	0.36	650
4	10	513	25.1	43	0.38	649
4	11	516	25.1	48	0.39	649
4	12	520	25.1	52	0.4	649
4	13	523	25.1	57	0.41	649
4	14	526	25.1	62	0.41	649
4	15	529	25.1	67	0.42	649
4	16	531	25.1	72	0.41	650
4	17	535	25.1	76	0.41	650
5	1	482	25.3	0	0	650
5	2	486	25.3	4	0	649
5	3	487	25.3	9	0	650
5	4	490	25.3	14	0.32	650
5	5	494	25.3	19	0.35	650
5	6	498	25.4	24	0.39	650
5	7	502	25.4	28	0.42	650
5	8	506	25.4	33	0.43	650
5	9	509	25.4	38	0.44	650
5	10	514	25.5	43	0.45	649
5	11	517	25.5	48	0.46	650
5	12	522	25.5	52	0.47	649
5	13	524	25.5	57	0.47	650
5	14	527	25.5	62	0.47	650
5	15	532	25.6	67	0.47	649
6	1	489	25.7	0	0	650
6	2	490	25.7	4	0	650
6	3	491	25.7	9	0	650
6	4	494	25.8	14	0.2	650
6	5	496	25.7	19	0.24	650
6	6	499	25.7	24	0.26	650
6	7	502	25.7	28	0.28	650
6	8	506	25.6	33	0.32	649
6	9	510	25.6	38	0.34	649
6	10	513	25.7	43	0.36	649
6	11	515	25.7	48	0.37	650
6	12	520	25.7	52	0.38	649
6	13	522	25.7	57	0.38	650
6	14	526	25.7	62	0.39	649
6	15	528	25.7	67	0.39	650
6	16	531	25.7	72	0.39	650
6	17	535	25.7	76	0.4	650
6	18	538	25.8	81	0.4	650
1	1	492	25.3	0	0	649



1	2	493	25.3	4	0	649
1	3	494	25.3	9	0	649
1	4	494	25.3	14	0.1	650
1	5	497	25.3	19	0.16	649
1	6	498	25.4	24	0.18	649
1	7	500	25.4	28	0.19	649
1	8	501	25.4	33	0.19	649
1	9	501	25.4	38	0.17	650
1	10	502	25.4	43	0.16	650
1	11	503	25.4	48	0.16	650
1	12	506	25.4	52	0.16	649
1	13	506	25.5	57	0.16	650
1	14	509	25.5	62	0.17	649
1	15	510	25.5	67	0.17	649
1	16	512	25.5	72	0.17	649
1	17	512	25.5	76	0.17	650
1	18	514	25.5	81	0.18	650
1	19	516	25.5	86	0.18	650
1	20	518	25.5	91	0.18	650
1	21	520	25.6	96	0.18	650
1	22	523	25.6	100	0.19	650
1	23	527	25.6	105	0.2	649
1	24	527	25.6	110	0.2	650
1	25	529	25.6	115	0.2	650
1	26	531	25.6	120	0.21	649
1	27	532	25.6	124	0.21	649
2	1	497	25.8	0	0	650
2	2	497	25.8	4	0	650
2	3	499	25.8	9	0	649
2	4	499	25.8	14	0.12	650
2	5	501	25.8	19	0.13	650
2	6	502	25.8	24	0.14	650
2	7	505	25.8	28	0.17	649
2	8	507	25.8	33	0.19	649
2	9	507	25.8	38	0.18	650
2	10	509	25.8	43	0.18	650
2	11	511	25.8	48	0.19	650
2	12	512	25.8	52	0.19	650
2	13	514	25.8	57	0.19	650
2	14	516	25.8	62	0.2	650
2	15	517	25.8	67	0.2	650
2	16	519	25.8	72	0.2	649
2	17	518	25.8	76	0.19	650
2	18	520	25.8	81	0.19	650
2	19	522	25.8	86	0.19	650
2	20	524	25.8	91	0.19	649



2	21	523	25.8	96	0.19	650
2	22	526	25.8	100	0.19	649
2	23	526	25.8	105	0.18	649
2	24	527	25.7	110	0.18	650
2	25	529	25.7	115	0.18	649
2	26	531	25.7	120	0.18	649
2	27	533	25.7	124	0.18	649
3	1	486	25.7	0	0	649
3	2	487	25.8	4	0	649
3	3	488	25.8	9	0	649
3	4	489	25.8	14	0.14	649
3	5	491	25.8	19	0.15	649
3	6	493	25.8	24	0.17	649
3	7	492	25.8	28	0.16	650
3	8	496	25.8	33	0.17	649
3	9	497	25.8	38	0.18	649
3	10	497	25.9	43	0.17	650
3	11	500	25.9	48	0.18	649
3	12	501	25.9	52	0.18	649
3	13	503	25.9	57	0.18	649
3	14	503	25.9	62	0.18	650
3	15	506	25.9	67	0.18	650
3	16	510	25.9	72	0.19	650
3	17	513	25.9	76	0.2	650
3	18	517	25.9	81	0.21	649
3	19	519	25.9	86	0.22	649
3	20	522	25.9	91	0.23	649
3	21	524	25.9	96	0.24	649
3	22	526	26	100	0.25	649
3	23	527	26	105	0.25	649
3	24	529	26	110	0.25	649
3	25	531	26	115	0.25	649
3	26	534	26	120	0.26	649
4	1	489	25.7	0	0	649
4	2	492	25.6	4	0	649
4	3	495	25.6	9	0	649
4	4	497	25.6	14	0.32	650
4	5	500	25.5	19	0.34	650
4	6	505	25.5	24	0.39	649
4	7	508	25.4	28	0.4	650
4	8	514	25.4	33	0.45	649
4	9	510	0	0	0	0
4	10	523	25.3	43	0.48	649
4	11	526	25.2	48	0.49	650
4	12	531	25.2	52	0.5	649
4	13	535	25.2	57	0.5	649



4	14	539	25.1	62	0.51	649
5	1	487	25	0	0	649
5	2	487	25	4	0	649
5	3	488	25	9	0	649
5	4	489	25	14	0.07	649
5	5	489	25	19	0.07	650
5	6	492	25	24	0.12	649
5	7	494	25	28	0.15	649
5	8	498	25	33	0.18	649
5	9	500	25	38	0.21	649
5	10	503	25	43	0.24	649
5	11	506	25	48	0.26	649
5	12	509	25	52	0.27	649
5	13	513	25	57	0.29	649
5	14	516	25	62	0.3	649
5	15	520	25	67	0.32	649
5	16	523	25	72	0.33	649
5	17	526	25	76	0.33	649
5	18	529	25	81	0.34	649
5	19	532	24.9	86	0.35	649
5	20	534	24.9	91	0.35	650
6	1	487	24.8	0	0	649
6	2	488	24.7	4	0	649
6	3	488	24.8	9	0	649
6	4	488	24.8	14	0.03	649
6	5	489	24.7	19	0.05	649
6	6	490	24.7	24	0.06	649
6	7	490	24.7	28	0.06	650
6	8	491	24.7	33	0.06	650
6	9	493	24.7	38	0.08	649
6	10	494	24.7	43	0.09	649
6	11	496	24.7	48	0.1	649
6	12	495	24.7	52	0.1	650
6	13	498	24.7	57	0.11	649
6	14	500	24.7	62	0.12	649
6	15	501	24.6	67	0.13	650
6	16	505	24.6	72	0.14	649
6	17	506	24.6	76	0.15	650
6	18	510	24.5	81	0.16	649
6	19	513	24.4	86	0.17	649
6	20	515	24.4	91	0.19	649
6	21	518	24.4	96	0.19	649
6	22	521	24.3	100	0.2	649
6	23	523	24.3	105	0.21	649
6	24	526	24.3	110	0.22	649
6	25	531	24.3	115	0.23	649



6	26	535	24.3	120	0.24	649
6	27	539	24.3	124	0.25	649
1	1	526	24.6	0	0	649
1	2	528	24.6	4	0	649
1	3	530	24.6	9	0	649
1	4	533	24.6	14	0.33	649
1	5	536	24.6	19	0.34	649
1	6	539	24.6	24	0.35	649
1	7	541	24.6	28	0.35	649
1	8	544	24.6	33	0.35	649
1	9	547	24.6	38	0.36	649
1	10	550	24.6	43	0.36	649
1	11	552	24.6	48	0.36	649
1	12	555	24.6	52	0.36	649
1	13	558	24.6	57	0.36	649
1	14	560	24.6	62	0.36	649
1	15	563	24.6	67	0.36	649
1	16	565	24.6	72	0.36	649
1	17	567	24.6	76	0.35	649
1	18	570	24.6	81	0.35	649
1	19	573	24.6	86	0.35	649
1	20	575	24.6	91	0.35	649
1	21	577	24.6	96	0.35	649
2	1	495	24.6	0	0	649
2	2	495	24.6	4	0	649
2	3	497	24.6	9	0	649
2	4	499	24.6	14	0.21	649
2	5	502	24.6	19	0.24	649
2	6	505	24.6	24	0.27	649
2	7	508	24.6	28	0.29	649
2	8	510	24.6	33	0.3	649
2	9	514	24.6	38	0.32	649
2	10	517	24.6	43	0.34	649
2	11	521	24.6	48	0.35	649
2	12	524	24.6	52	0.36	649
2	13	528	24.6	57	0.37	649
2	14	530	24.7	62	0.37	649
2	15	533	24.7	67	0.38	649
2	16	535	24.7	72	0.38	649
2	17	538	24.7	76	0.38	649
2	18	540	24.8	81	0.38	649
2	19	544	24.8	86	0.38	649
3	1	496	24.8	0	0	649
3	2	497	24.8	4	0	649
3	3	498	24.8	9	0	649
3	4	499	24.8	14	0.11	649



3	5	501	24.8	19	0.14	649
3	6	503	24.8	24	0.16	649
3	7	506	24.8	28	0.19	649
3	8	508	24.8	33	0.21	649
3	9	510	24.8	38	0.23	649
3	10	513	24.8	43	0.24	649
3	11	514	24.8	48	0.25	649
3	12	516	24.8	52	0.25	649
3	13	517	24.8	57	0.25	649
3	14	519	24.8	62	0.24	649
3	15	521	24.8	67	0.25	649
3	16	523	24.8	72	0.25	649
3	17	526	24.8	76	0.25	649
3	18	529	24.9	81	0.25	649
3	19	531	24.9	86	0.26	649
3	20	534	24.9	91	0.26	649
3	21	536	24.9	96	0.26	649
3	22	539	24.9	100	0.27	649
3	23	542	24.9	105	0.27	649
3	24	546	24.9	110	0.28	649
3	25	549	24.9	115	0.28	649
4	1	493	25.5	0	0	649
4	2	494	25.4	4	0	649
4	3	495	25.5	9	0	649
4	4	497	25.5	14	0.15	649
4	5	498	25.5	19	0.17	649
4	6	500	25.5	24	0.18	649
4	7	502	25.5	28	0.19	649
4	8	503	25.5	33	0.19	649
4	9	504	25.5	38	0.18	649
4	10	505	25.4	43	0.18	649
4	11	506	25.4	48	0.17	649
4	12	508	25.5	52	0.18	649
4	13	510	25.5	57	0.18	649
4	14	512	25.4	62	0.19	649
4	15	514	25.4	67	0.19	649
4	16	515	25.3	72	0.19	649
4	17	518	25.3	76	0.2	649
4	18	520	25.3	81	0.2	649
4	19	522	25.3	86	0.21	649
4	20	525	25.3	91	0.21	649
4	21	527	25.3	96	0.22	649
4	22	530	25.4	100	0.23	649
4	23	533	25.4	105	0.23	649
4	24	536	25.4	110	0.24	649
4	25	538	25.4	115	0.24	649



4	26	540	25.4	120	0.25	649
4	27	543	25.4	124	0.25	649
5	1	487	25.2	0	0	649
5	2	489	25.2	4	0	649
5	3	491	25.2	9	0	649
5	4	495	25.2	14	0.3	649
5	5	498	25.2	19	0.33	649
5	6	500	25.2	24	0.34	649
5	7	503	25.2	28	0.35	649
5	8	505	25.2	33	0.35	649
5	9	508	25.2	38	0.34	649
5	10	510	25.2	43	0.34	649
5	11	513	25.2	48	0.34	649
5	12	518	25.2	52	0.35	649
5	13	521	25.1	57	0.36	649
5	14	525	25.1	62	0.37	649
5	15	529	25.1	67	0.38	649
5	16	533	25.1	72	0.39	649
5	17	536	25.1	76	0.4	649
5	18	540	25.1	81	0.41	649
6	1	489	24.9	0	0	649
6	2	490	24.9	4	0	649
6	3	492	24.9	9	0	649
6	4	494	24.9	14	0.21	649
6	5	496	24.9	19	0.22	649
6	6	498	24.9	24	0.24	649
6	7	501	24.9	28	0.26	649
6	8	503	24.9	33	0.27	649
6	9	505	24.9	38	0.27	649
6	10	508	24.8	43	0.28	649
6	11	511	24.8	48	0.29	649
6	12	513	24.8	52	0.3	649
6	13	516	24.8	57	0.3	649
6	14	519	24.9	62	0.31	649
6	15	521	24.8	67	0.31	649
6	16	524	24.9	72	0.31	649
6	17	527	24.9	76	0.32	649
6	18	530	24.9	81	0.32	649
6	19	533	24.9	86	0.33	649
6	20	536	24.9	91	0.33	649
6	21	538	24.9	96	0.33	649
1	1	527	31	0	0	645
1	2	527	31	4	0	645
1	3	526	31.1	9	0	646
1	4	528	31.1	14	0.03	645
1	5	528	31.2	19	0.04	645



1	6	529	31.2	24	0.04	645
1	7	529	31.2	28	0.05	645
1	8	530	31.2	33	0.05	645
1	9	531	31.3	38	0.06	645
1	10	531	31.3	43	0.07	645
1	11	532	31.3	48	0.07	645
1	12	533	31.3	52	0.07	645
1	13	533	31.3	57	0.07	645
1	14	534	31.3	62	0.08	645
1	15	535	31.3	67	0.08	645
1	16	536	31.4	72	0.08	645
1	17	536	31.4	76	0.08	645
1	18	537	31.4	81	0.08	645
1	19	538	31.4	86	0.08	645
1	20	539	31.4	91	0.09	645
1	21	540	31.3	96	0.09	645
1	22	541	31.3	100	0.09	645
1	23	541	31.3	105	0.09	645
1	24	542	31.3	110	0.09	645
1	25	543	31.3	115	0.09	645
1	26	544	31.3	120	0.09	645
1	27	545	31.3	124	0.1	645
2	1	489	31	0	0	645
2	2	490	31	4	0	645
2	3	491	31	9	0	645
2	4	492	31	14	0.11	645
2	5	493	31	19	0.11	645
2	6	493	30.9	24	0.11	645
2	7	494	31	28	0.11	645
2	8	495	31	33	0.11	645
2	9	496	30.9	38	0.1	645
2	10	496	30.9	43	0.1	645
2	11	497	30.8	48	0.1	645
2	12	498	30.8	52	0.1	645
2	13	499	30.8	57	0.1	645
2	14	500	30.8	62	0.1	645
2	15	500	30.8	67	0.1	645
2	16	502	30.8	72	0.1	645
2	17	502	30.7	76	0.1	645
2	18	504	30.7	81	0.11	645
2	19	504	30.6	86	0.11	645
2	20	506	30.6	91	0.11	645
2	21	507	30.6	96	0.11	645
2	22	507	30.6	100	0.11	645
2	23	509	30.5	105	0.11	645
2	24	510	30.5	110	0.11	645



2	25	511	30.5	115	0.12	645
2	26	512	30.5	120	0.12	645
2	27	513	30.4	124	0.12	645
3	1	494	29.9	0	0	645
3	2	495	29.9	4	0	645
3	3	495	29.9	9	0	645
3	4	496	29.9	14	0.06	645
3	5	496	29.8	19	0.06	645
3	6	496	29.8	24	0.05	645
3	7	497	29.8	28	0.05	645
3	8	498	29.8	33	0.05	645
3	9	498	29.8	38	0.06	645
3	10	499	29.8	43	0.06	645
3	11	499	29.7	48	0.06	645
3	12	500	29.7	52	0.06	645
3	13	500	29.7	57	0.06	645
3	14	501	29.6	62	0.06	645
3	15	502	29.6	67	0.07	645
3	16	503	29.6	72	0.07	645
3	17	503	29.6	76	0.07	645
3	18	504	29.5	81	0.07	645
3	19	505	29.5	86	0.07	645
3	20	505	29.5	91	0.07	645
3	21	505	29.5	96	0.07	645
3	22	505	29.4	100	0.07	645
3	23	506	29.4	105	0.07	645
3	24	506	29.4	110	0.07	645
3	25	507	29.4	115	0.07	645
3	26	508	29.3	120	0.07	645
3	27	508	29.3	124	0.07	645
4	1	494	28.5	0	0	645
4	2	494	28.5	4	0	645
4	3	494	28.5	9	0	645
4	4	495	28.5	14	0.04	645
4	5	495	28.5	19	0.03	645
4	6	495	28.5	24	0.03	645
4	7	495	28.5	28	0.03	645
4	8	496	28.5	33	0.03	645
4	9	496	28.5	38	0.03	645
4	10	496	28.5	43	0.02	645
4	11	496	28.4	48	0.02	645
4	12	497	28.4	52	0.02	645
4	13	497	28.4	57	0.02	645
4	14	497	28.4	62	0.03	645
4	15	498	28.4	67	0.03	645
4	16	498	28.4	72	0.03	645



4	17	498	28.3	76	0.03	645
4	18	499	28.4	81	0.03	645
4	19	499	28.3	86	0.03	645
4	20	500	28.4	91	0.03	645
4	21	500	28.3	96	0.04	645
4	22	501	28.2	100	0.04	645
4	23	502	28.3	105	0.04	645
4	24	502	28.2	110	0.04	645
4	25	503	28.2	115	0.04	645
4	26	503	28.2	120	0.04	645
4	27	504	28.2	124	0.04	645
5	1	497	27.6	0	0	645
5	2	498	27.6	4	0	645
5	3	499	27.6	9	0	645
5	4	500	27.6	14	0.11	645
5	5	500	27.6	19	0.1	645
5	6	501	27.6	24	0.1	645
5	7	502	27.6	28	0.1	645
5	8	502	27.6	33	0.1	645
5	9	503	27.6	38	0.1	645
5	10	504	27.5	43	0.1	645
5	11	505	27.6	48	0.1	645
5	12	506	27.5	52	0.1	645
5	13	506	27.4	57	0.1	645
5	14	506	27.4	62	0.09	645
5	15	506	27.5	67	0.09	645
5	16	507	27.4	72	0.09	645
5	17	508	27.4	76	0.09	645
5	18	509	27.4	81	0.09	645
5	19	510	27.4	86	0.09	645
5	20	511	27.4	91	0.09	645
5	21	512	27.3	96	0.09	645
5	22	513	27.3	100	0.09	645
5	23	513	27.3	105	0.09	645
5	24	515	27.3	110	0.09	645
5	25	515	27.2	115	0.09	645
5	26	516	27.2	120	0.09	645
5	27	517	27.3	124	0.1	645
6	1	497	27.2	0	0	645
6	2	498	27.2	4	0	645
6	3	499	27.2	9	0	645
6	4	500	27.2	14	0.12	645
6	5	502	27.2	19	0.13	645
6	6	502	27.2	24	0.12	645
6	7	503	27.2	28	0.12	645
6	8	504	27.2	33	0.12	645



6	9	505	27.2	38	0.12	645
6	10	506	27.1	43	0.12	645
6	11	507	27.1	48	0.12	645
6	12	509	27.1	52	0.12	645
6	13	509	27.1	57	0.12	645
6	14	510	27.1	62	0.12	645
6	15	512	27.1	67	0.13	645
6	16	513	27.1	72	0.13	645
6	17	515	27.1	76	0.13	645
6	18	516	27.1	81	0.13	645
6	19	517	27	86	0.14	645
6	20	519	27	91	0.14	645
6	21	520	27	96	0.14	645
6	22	522	27	100	0.14	645
6	23	524	27	105	0.15	645
6	24	525	27	110	0.15	645
6	25	527	26.9	115	0.15	645
6	26	529	26.9	120	0.16	645
6	27	530	26.9	124	0.16	645
1	1	502	26	0	0	645
1	2	502	26	4	0	645
1	3	503	26	9	0	645
1	4	504	26	14	0.12	645
1	5	505	26	19	0.12	645
1	6	507	26	24	0.13	645
1	7	508	26	28	0.13	645
1	8	509	25.9	33	0.13	645
1	9	510	25.9	38	0.14	645
1	10	511	25.8	43	0.14	645
1	11	512	25.8	48	0.13	645
1	12	512	25.7	52	0.13	645
1	13	513	25.6	57	0.13	645
1	14	514	25.5	62	0.13	645
1	15	515	25.4	67	0.13	645
1	16	517	25.4	72	0.13	645
1	17	519	25.4	76	0.13	645
1	18	520	25.5	81	0.14	645
1	19	522	25.5	86	0.14	645
1	20	523	25.4	91	0.14	645
1	21	525	25.4	96	0.15	645
1	22	527	25.3	100	0.15	645
1	23	528	25.2	105	0.15	645
1	24	530	25.2	110	0.15	645
1	25	531	25.2	115	0.16	645
1	26	532	25.2	120	0.16	645
1	27	533	25.1	124	0.16	645



2	1	497	25.4	0	0	645
2	2	499	25.4	4	0	645
2	3	499	25.5	9	0	645
2	4	500	25.5	14	0.12	645
2	5	501	25.4	19	0.11	645
2	6	502	25.4	24	0.1	645
2	7	502	25.3	28	0.09	645
2	8	503	25.3	33	0.1	645
2	9	504	25.4	38	0.09	645
2	10	505	25.4	43	0.1	645
2	11	506	25.4	48	0.1	645
2	12	507	25.4	52	0.1	645
2	13	507	25.4	57	0.1	645
2	14	508	25.5	62	0.1	645
2	15	509	25.5	67	0.1	645
2	16	510	25.5	72	0.1	645
2	17	511	25.5	76	0.1	645
2	18	511	25.6	81	0.1	645
2	19	513	25.5	86	0.1	645
2	20	514	25.5	91	0.1	645
2	21	515	25.5	96	0.11	645
2	22	516	25.5	100	0.11	645
2	23	516	25.6	105	0.11	645
2	24	516	25.6	110	0.1	645
2	25	517	25.6	115	0.1	645
2	26	518	25.5	120	0.1	645
2	27	519	25.6	124	0.1	645
3	1	496	25.5	0	0	645
3	2	497	25.6	4	0	645
3	3	497	25.5	9	0	645
3	4	497	25.4	14	0.04	645
3	5	497	25.2	19	0.03	645
3	6	498	25.2	24	0.03	645
3	7	498	25.2	28	0.04	645
3	8	499	25.2	33	0.05	645
3	9	500	25.2	38	0.05	645
3	10	501	25.2	43	0.06	645
3	11	502	25.2	48	0.07	645
3	12	503	25.1	52	0.07	645
3	13	504	25.1	57	0.08	645
3	14	505	25.1	62	0.08	645
3	15	505	25.1	67	0.08	645
3	16	506	25.1	72	0.09	645
3	17	507	25.1	76	0.09	645
3	18	508	25	81	0.09	645
3	19	509	25	86	0.09	645



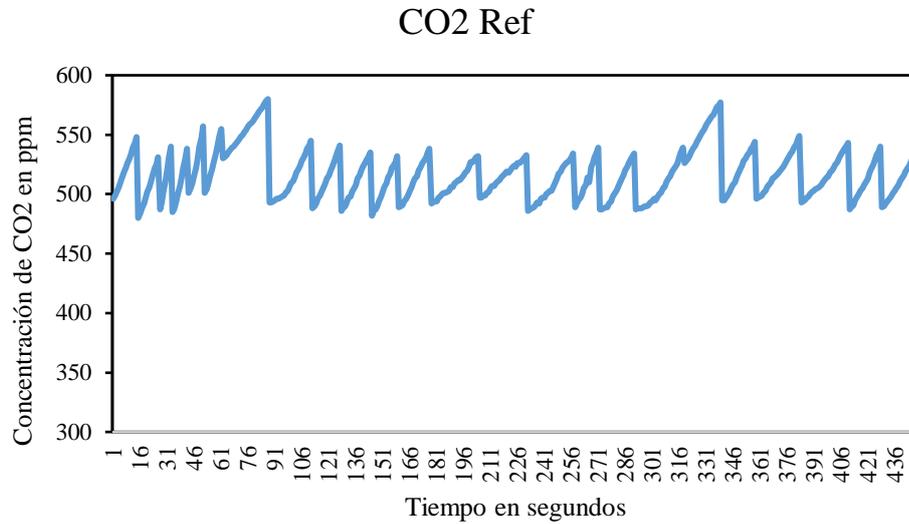
3	20	509	25	91	0.09	645
3	21	510	24.9	96	0.09	645
3	22	510	24.8	100	0.09	645
3	23	511	24.8	105	0.09	645
3	24	511	24.8	110	0.09	645
3	25	512	24.8	115	0.09	645
3	26	513	24.9	120	0.09	645
3	27	513	24.9	124	0.09	645
4	1	495	24.9	0	0	645
4	2	496	24.9	4	0	645
4	3	498	24.9	9	0	645
4	4	499	24.9	14	0.17	645
4	5	501	24.9	19	0.18	645
4	6	502	24.9	24	0.18	645
4	7	504	24.9	28	0.18	645
4	8	505	24.9	33	0.18	645
4	9	506	24.8	38	0.18	645
4	10	507	24.8	43	0.18	645
4	11	509	24.8	48	0.17	645
4	12	509	24.8	52	0.17	645
4	13	510	24.8	57	0.16	645
4	14	512	24.8	62	0.16	645
4	15	513	24.8	67	0.16	645
4	16	515	24.8	72	0.16	645
4	17	516	24.8	76	0.16	645
4	18	518	24.8	81	0.16	645
4	19	519	24.7	86	0.16	645
4	20	521	24.7	91	0.16	645
4	21	522	24.7	96	0.16	645
4	22	524	24.7	100	0.17	645
4	23	525	24.7	105	0.17	645
4	24	527	24.6	110	0.17	645
4	25	529	24.6	115	0.17	645
4	26	531	24.6	120	0.17	645
4	27	533	24.5	124	0.18	645
5	1	496	24.4	0	0	645
5	2	496	24.4	4	0	645
5	3	497	24.3	9	0	645
5	4	498	24.4	14	0.1	645
5	5	500	24.4	19	0.11	645
5	6	501	24.4	24	0.12	645
5	7	502	24.4	28	0.14	645
5	8	504	24.4	33	0.14	645
5	9	505	24.4	38	0.15	645
5	10	506	24.4	43	0.15	645
5	11	507	24.4	48	0.15	645



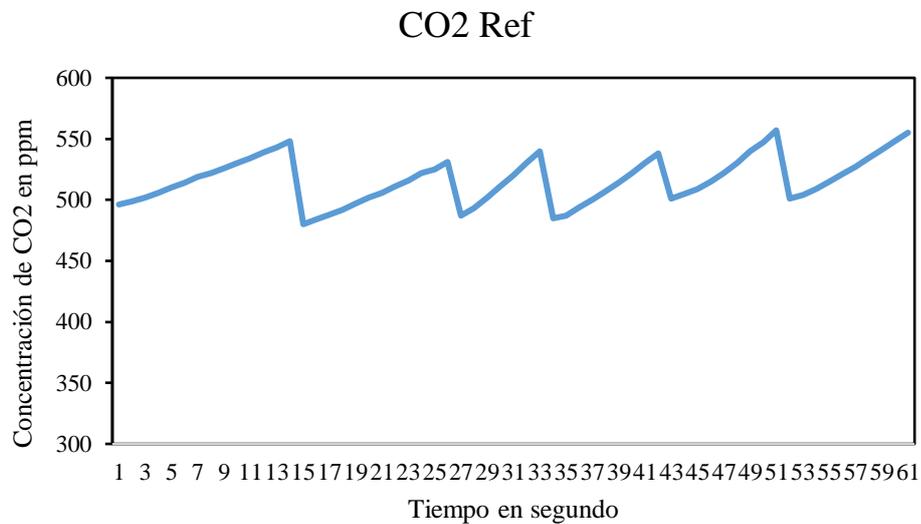
5	12	509	24.3	52	0.15	645
5	13	510	24.4	57	0.16	645
5	14	511	24.3	62	0.16	645
5	15	513	24.3	67	0.16	645
5	16	514	24.3	72	0.16	645
5	17	515	24.3	76	0.16	645
5	18	516	24.3	81	0.16	645
5	19	517	24.3	86	0.16	645
5	20	519	24.3	91	0.16	645
5	21	520	24.3	96	0.16	645
5	22	521	24.3	100	0.16	645
5	23	522	24.3	105	0.16	645
5	24	524	24.3	110	0.16	645
5	25	525	24.3	115	0.16	645
5	26	526	24.3	120	0.16	645
5	27	528	24.3	124	0.16	645
6	1	494	24.4	0	0	645
6	2	493	24.4	4	0	645
6	3	493	24.4	9	0	645
6	4	494	24.3	14	0	645
6	5	494	24.4	19	0.02	645
6	6	496	24.3	24	0.05	645
6	7	497	24.4	28	0.08	645
6	8	498	24.4	33	0.09	645
6	9	498	24.4	38	0.09	645
6	10	499	24.4	43	0.09	645
6	11	500	24.4	48	0.09	645
6	12	501	24.4	52	0.1	645
6	13	502	24.4	57	0.1	645
6	14	503	24.4	62	0.1	645
6	15	504	24.4	67	0.1	645
6	16	504	24.4	72	0.1	645
6	17	505	24.4	76	0.1	645
6	18	505	24.4	81	0.1	645
6	19	506	24.4	86	0.1	645
6	20	506	24.4	91	0.09	645
6	21	507	24.4	96	0.09	645
6	22	508	24.4	100	0.09	645
6	23	509	24.3	105	0.09	645
6	24	509	24.3	110	0.09	645
6	25	511	24.3	115	0.09	645
6	26	512	24.3	120	0.09	645

Donde: Plot: Número de parcela; RecNo: Número de registro; CO₂ Ref: Lectura de CO₂ en partes por millón (ppm = $\mu\text{mol mol}^{-1}$); mbR Temp: Temperatura; ATMP: Presión atmosférica

Anexo 2. Gráfico lineal de concentración de CO₂ medido por EGM-4, en diferentes usos del suelo



Anexo 3. Gráfico lineal de concentración de CO₂ medido por EGM-4, en seis cámaras de medición en un uso de suelo (Suelo cultivado con alfalfa)



Anexo 4. Cálculo de flujo de CO₂ en diferentes usos del suelo

Camara	Altura da camara (cm)					Vc (m3)	Vd	Cn - C1 tn - t1	Presion (P) (mb)	Temperatura °C	Temperatura K
	1	2	3	4	Média						
C1	7.4	8.0	8.4	7.5	7.8	0.00061457	0.0012287	0.875	650.00	25.81	298.96
C2	7.8	7.6	7.4	8.0	7.7	0.00060476	0.0012287	0.97916667	650.00	26.33	299.48
C3	8.0	8.0	7.5	7.5	7.75	0.00060868	0.0012287	1.89285714	650.00	26.26	299.41
C4	7.8	7.4	6.6	6.7	7.125	0.0005596	0.0012287	1.39473684	650.00	25.93	299.08
C5	7.7	7.5	7.4	7.7	7.575	0.00059494	0.0012287	1.47368421	650.00	27.19	300.34
C6	7.2	7.5	7.2	8.0	7.475	0.00058709	0.0012287	1.25581395	650.00	26.86	300.01

P	Área suelo cam m ² (A)	Vd A	Peso molecular CO2 44 g/mol	R	44.01*0.36 R	Fs CO2 g m ⁻² h ⁻¹	Vd + Vc Vd	Fsc CO2 g m ⁻² h ⁻¹
2.1742	0.00785	0.15644298	44.01	0.36	8.314	1.90565312	1.5002	0.85085114
2.1704	0.00785	0.15644298	44.01	0.36	8.314	1.90565312	1.4922	0.94543302
2.1710	0.00785	0.15644298	44.01	0.36	8.314	1.90565312	1.4954	1.83198915
2.1733	0.00785	0.15644298	44.01	0.36	8.314	1.90565312	1.4554	1.31524572
2.1642	0.00785	0.15644298	44.01	0.36	8.314	1.90565312	1.4842	1.41123436
2.1666	0.00785	0.15644298	44.01	0.36	8.314	1.90565312	1.4778	1.19873011

Anexo 5. Cuaderno de campo de mediciones ambientales

ANEMOMETRO: Parámetros ambientales del aire

PARAMETROS	PUNTO 1		PUNTO 2		PUNTO 3		PUNTO 4		PUNTO 5		PUNTO 6	
Temperature (°C)	28.8	33.3	29.3	23.6	23.1	20.1	20.7	23.6	30.2	24.1	22	20.2
Humidity (%RH)	32.2	25	33.2	32.9	34.1	38.2	35.1	30.5	18.6	24.4	25.8	26.6
Wind SPD (m/s)	0	0	0	4.4	5.1	4.8	3.5	4.5	2.2	2.8	2.8	1.2
BARO (hPa)	649.3	648.2	648.7	648.2	648.1	547.8	647.6	649.4	642.8	642.4	642.3	642.1
ILLUM (lx)	54612	28450	54612	54612	54612	54612	54612	54612	54612	54612	1645	3912

PROBADOR DE SUELO 3 EN 1: humedad y temperatura del suelo

PARAMETROS	PUNTO 1		PUNTO 2		PUNTO 3		PUNTO 4		PUNTO 5		PUNTO 6	
humedad (%)	20.8	21.3	11.7	12.8	15.3	23	17.3	20.8	5.8	7.9	17	21.3
Temperatura (°C)	16.8	18.3	18.6	22	25.8	25.9	26	24.3	36.3	33.2	11.5	9.8
C.E	0.19	0.16	0.01	0	0.02	0.25	0.08	0.08	0	0.02	0.02	0.11

TERMOMETRO: Temperatura del suelo en °C

CAMARA	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 4	Punto 5	Punto 6
C1	19.5	20.9	21.9	23.7	33.6	11.5
C2	18.7	23	25.8	22.7	29.9	11.8
C3	17.2	19.5	25.1	21.1	32.1	10.8
C4	17.7	20.5	24.1	28.3	32.9	9.9
C5	18.6	22.1	22.3	22.4	33.3	10.5
C6	19.2	23.3	22.9	24.3	33.9	10



Anexo 6. Densidad aparente

	g/cm3	g/m3
	DA	DA
P1-1	1.40	1401554.94
P1-2	1.40	1396139.264
P2-1	1.17	1174538.629
P2-2	1.31	1305620.102
P3-1	1.22	1219190.328
P3-2	1.23	1230905.872
P4-1	1.22	1222174.476
P4-2	1.24	1244942.421
P5-1	1.50	1495942.443
P5-2	1.35	1354250.665
P6-1	0.85	846392.8501
P6-2	0.91	907070.5302

Anexo 7. Cálculos de contenido de carbono por hectárea (TnC/ha) y captura de dióxido de carbono (TnCO₂/ha) en suelo en época seca

Punto	% CCO	Da (g/m3)	P (m)	TnC/ha	TnCO₂/ha
P1-1	1.76	1401554.94	0.1	24.67	90.45
P1-2	1.76	1396139.26	0.1	24.57	90.10
P2-1	1.74	1174538.63	0.1	20.44	74.94
P2-2	1.74	1305620.1	0.1	22.72	83.30
P3-1	1.37	1219190.33	0.1	16.70	61.24
P3-2	1.37	1230905.87	0.1	16.86	61.83
P4-1	2.95	1222174.48	0.1	36.05	132.20
P4-2	2.95	1244942.42	0.1	36.73	134.66
P5-1	1.71	1495942.44	0.1	25.58	93.80
P5-2	1.71	1354250.66	0.1	23.16	84.91
P6-1	10.35	846392.85	0.1	87.60	321.21
P6-2	10.35	907070.53	0.1	93.88	344.23

Anexo 8. Cálculos de contenido de carbono por hectárea (TnC/ha) y captura de dióxido de carbono (TnCO₂/ha) en suelo en época lluviosa

Punto	% CCO	Da (g/m ³)	P (m)	TnC/ha	TnCO ₂ /ha
P1-1	2.01	1401554.94	0.1	28.17	103.29
P1-2	2.01	1396139.26	0.1	28.06	102.90
P2-1	1.48	1174538.63	0.1	17.38	63.74
P2-2	1.48	1305620.1	0.1	19.32	70.85
P3-1	2.64	1219190.33	0.1	32.19	118.02
P3-2	2.64	1230905.87	0.1	32.50	119.15
P4-1	4.91	1222174.48	0.1	60.01	220.03
P4-2	4.91	1244942.42	0.1	61.13	224.13
P5-1	1.99	1495942.44	0.1	29.77	109.15
P5-2	1.99	1354250.66	0.1	26.95	98.82
P6-1	11.41	846392.85	0.1	96.57	354.10
P6-2	11.41	907070.53	0.1	103.50	379.49

Anexo 9. Análisis de varianza de flujo de CO₂ entre época seca y lluviosa

Nueva tabla : 16/09/2023 - 20:55:44 - [Versión : 30/04/2020]

Análisis de la varianza

Punto	VariableN	R ²	R ² Aj	CV
1	Fsc CO2	24	0,28	0,25 22,06

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,46	1	0,46	8,70	0,0074
Época	0,46	1	0,46	8,70	0,0074
Error	1,17	22	0,05		
Total	1,63	23			

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=0,19516

Error: 0,0531 gl: 22

Época	Medias	n	E.E.	
2	1,18	12	0,07	A
1	0,91	12	0,07	B

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

Punto	VariableN	R ²	R ² Aj	CV
2	Fsc CO2	24	0,54	0,52 38,31

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	1,42	1	1,42	25,97	<0,0001
Época	1,42	1	1,42	25,97	<0,0001
Error	1,20	22	0,05		
Total	2,62	23			



Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=0,19801

Error: 0,0547 gl: 22

Época	Medias	n	E.E.	
2	0,85	12	0,07	A
1	0,37	12	0,07	B

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

Punto	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
3	Fsc CO2		24	0,55	0,53 37,03

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,79	1	0,79	26,50	<0,0001
Época	0,79	1	0,79	26,50	<0,0001
Error	0,66	22	0,03		
Total	1,45	23			

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=0,14636

Error: 0,0299 gl: 22

Época	Medias	n	E.E.	
2	0,65	12	0,05	A
1	0,29	12	0,05	B

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

Punto	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
4	Fsc CO2		24	0,77	0,76 28,95

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	1,29	1	1,29	73,41	<0,0001
Época	1,29	1	1,29	73,41	<0,0001
Error	0,39	22	0,02		
Total	1,68	23			

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=0,11231

Error: 0,0176 gl: 22

Época	Medias	n	E.E.	
2	0,69	12	0,04	A
1	0,23	12	0,04	B

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

Punto	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
5	Fsc CO2		24	0,49	0,47 47,25

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,13	1	0,13	21,40	0,0001
Época	0,13	1	0,13	21,40	0,0001
Error	0,14	22	0,01		
Total	0,27	23			

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=0,06655

Error: 0,0062 gl: 22

Época	Medias	n	E.E.	
2	0,24	12	0,02	A

1 0,09 12 0,02 B
Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Punto	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
6	Fsc CO2	24	0,14	0,10	82,11

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,08	1	0,08	3,49	0,0750
Época	0,08	1	0,08	3,49	0,0750
Error	0,50	22	0,02		
Total	0,58	23			

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=0,12814

Error: 0,0229 gl: 22

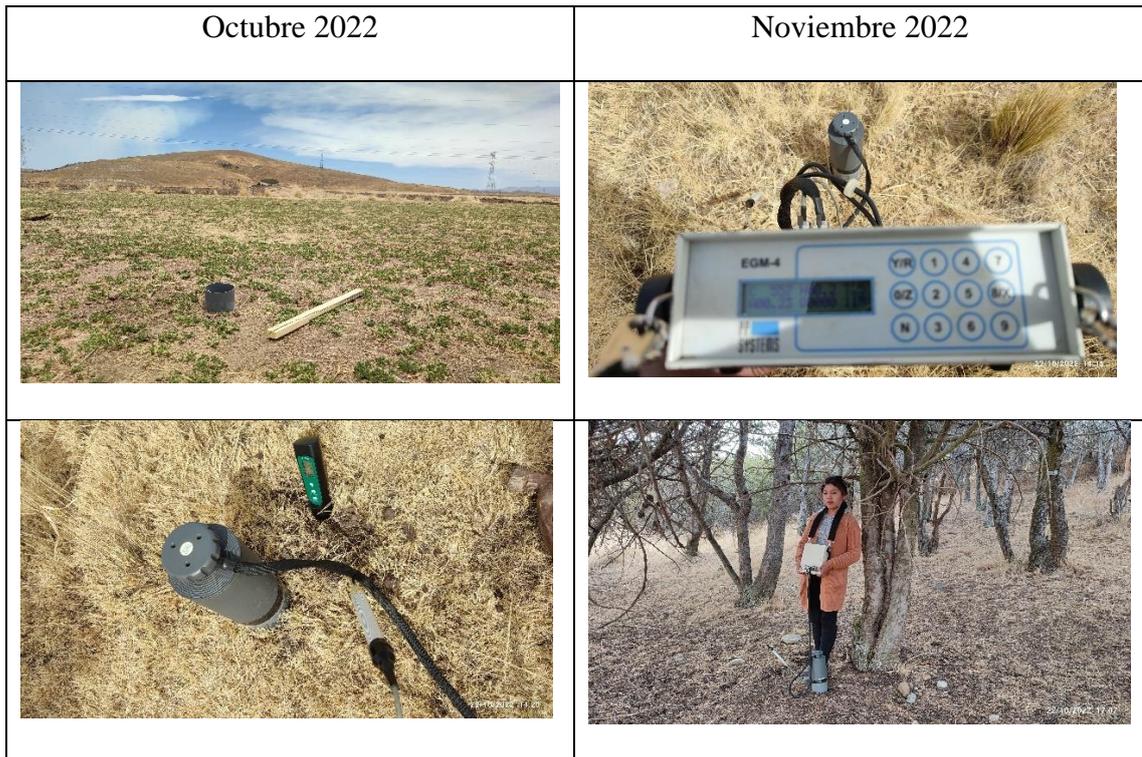
Época	Medias	n	E.E.
2	0,24	12	0,04 A
1	0,13	12	0,04 A

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

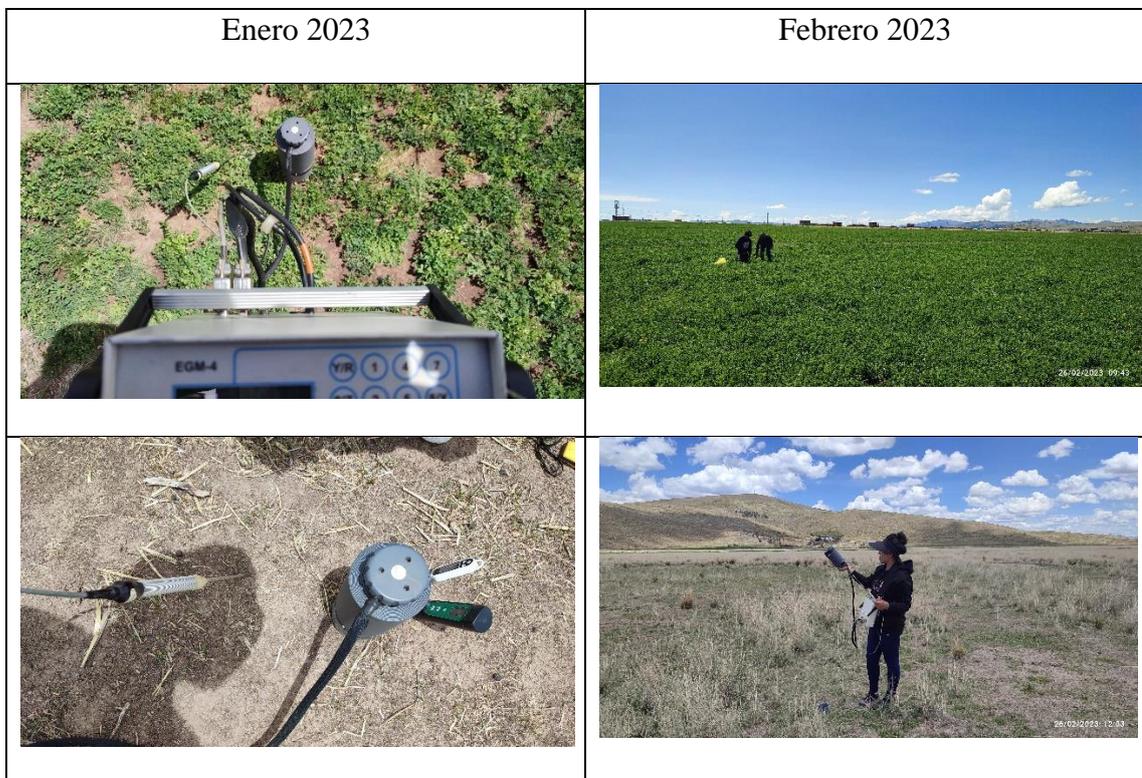
Figura 7. Materiales y equipos utilizados para la medición de flujo de CO₂ y variables ambientales



Anexo 10. Panel fotográfica época seca



Anexo 11. Panel fotográfica época lluviosa



Anexo 12. Análisis en laboratorio de aguas y suelos UNA – Puno.

Figura 8. Diferentes muestras de suelo en laboratorio para análisis



Figura 9. Muestras de raíz colectas y lavados de cada uso de suelo



Figura 10. Codificación y pesado de muestras de suelo



Figura 11. Característica de diferentes usos de suelo

P1 - Suelo cultivado con alfalfa	P2 - Suelo roturado
	
P3 - Suelo con restos de cultivo de avena	P4 - Suelo con pastizal natural



P5 - Suelo erosionado



P6 - Suelo de bosque





Anexo 13. Resultado de análisis en época seca



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO - PUNO

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGRONÓMICA

LABORATORIO DE AGUAS Y SUELOS

RESULTADO DE ANÁLISIS



ASUNTO: ANALISIS DE SUELOS pH, C.E, MATERIA ORGANICA Y CARBONO ORGANICO

PROCEDENCIA : CENTRO EXPERIMENTAL DE ILLPA- PUNO
 INTERESADOS : LUZDALIA NINA PARI
 MOTIVO : ANALISIS DE pH, C.E, MATERIA ORGANICA Y CARBONO ORGANICO
 FECHA DE MUESTREO : 18/11/2022 (Por La interesada)
 FECHA DE ANALISIS : 21/11/2022

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y QUÍMICAS:

PARAMETROS						
	P1	P2	P3	P4	P5	P6
pH	5.48	5.38	6.05	5.23	5.24	5.05
C.E. mS/cm	0.35	0.21	0.34	0.33	0.19	0.26
MATERIA ORGANICA %	3.03	3.00	2.36	5.09	2.95	17.84
CARBONO ORGANICO %	1.76	1.74	1.37	2.95	1.71	10.35



Evaristo Mamani Mamani
ANALISTA DE LAB. DE CALIDAD DE AGUAS
PLANTAS, DERMATOLOGIA DE ALIMENTOS Y FERTILIZANTES



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



Anexo 14. Resultado de análisis en época lluviosa

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




RESULTADO DE ANÁLISIS

ASUNTO: ANALISIS DE SUELOS pH, C.E, MATERIA ORGANICA Y CARBONO ORGANICO

PROCEDENCIA : CENTRO EXPERIMENTAL DE ILLPA- PUNO
INTERESADOS : LUZDALIA NINA PARI
MOTIVO : ANALISIS DE pH, C.E, MATERIA ORGANICA, HUMEDAD Y CARBONO ORGANICO
FECHA DE MUESTREO : 28/02/2023 (Por La interesada)
FECHA DE ANALISIS : 01/03/2023

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y QUÍMICAS:

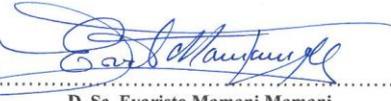
PARAMETROS						
	P1	P2	P3	P4	P5	P6
pH	6.72	6.96	7.06	6.69	6.80	6.51
C.E. mS/cm	0.22	0.23	0.24	0.33	0.18	0.18
MATERIA ORGANICA %	3.47	2.55	4.55	8.46	3.43	19.67
CARBONO ORGANICO %	2.01	1.48	2.64	4.91	1.99	11.41
HUMEDAD % (I)	11.34	7.99	13.43	19.50	4.97	35.22
HUMEDAD % (II)	11.10	7.53	13.14	19.84	4.27	36.68



Benito Fernandez Calloapaza
ANALISTA EN LABORATORIO DE CALIDAD DE AGUAS
PLANTAS, SANEAMIENTO DE ALIMENTOS Y FERTILIZANTES



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





Anexo 15. Declaración jurada de autenticidad de tesis



Universidad Nacional
del Altiplano Puno



Vicerrectorado
de Investigación



Repositorio
Institucional

DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD DE TESIS

Por el presente documento, Yo Luzdalia Nina Pañi,
identificado con DNI 76912051 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional, Programa de Segunda Especialidad, Programa de Maestría o Doctorado
Ingeniería Agronomica

informo que he elaborado el/la Tesis o Trabajo de Investigación denominada:
" Efecto de los usos del suelo en el flujo de dióxido
de carbono del suelo en el C.E. Illpa Puno "

Es un tema original.

Declaro que el presente trabajo de tesis es elaborado por mi persona y **no existe plagio/copia** de ninguna naturaleza, en especial de otro documento de investigación (tesis, revista, texto, congreso, o similar) presentado por persona natural o jurídica alguna ante instituciones académicas, profesionales, de investigación o similares, en el país o en el extranjero.

Dejo constancia que las citas de otros autores han sido debidamente identificadas en el trabajo de investigación, por lo que no asumiré como tuyas las opiniones vertidas por terceros, ya sea de fuentes encontradas en medios escritos, digitales o Internet.

Asimismo, ratifico que soy plenamente consciente de todo el contenido de la tesis y asumo la responsabilidad de cualquier error u omisión en el documento, así como de las connotaciones éticas y legales involucradas.

En caso de incumplimiento de esta declaración, me someto a las disposiciones legales vigentes y a las sanciones correspondientes de igual forma me someto a las sanciones establecidas en las Directivas y otras normas internas, así como las que me alcancen del Código Civil y Normas Legales conexas por el incumplimiento del presente compromiso

Puno 24 de noviembre del 2023

FIRMA (obligatoria)



Huella



Anexo 16. Autorización para el depósito de tesis en el repositorio institucional



Universidad Nacional
del Altiplano Puno



Vicerrectorado
de Investigación



Repositorio
Institucional

AUTORIZACIÓN PARA EL DEPÓSITO DE TESIS O TRABAJO DE INVESTIGACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

Por el presente documento, Yo Luzdalia Nina Pari
identificado con DNI 76912051 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional, Programa de Segunda Especialidad, Programa de Maestría o Doctorado

Ingeniería Agronómica
informo que he elaborado el/la Tesis o Trabajo de Investigación denominada:

“ Efecto de los usos del suelo en el flujo de dióxido de carbono del suelo en el C.E. Tilpa Puno ”

para la obtención de Grado, Título Profesional o Segunda Especialidad.

Por medio del presente documento, afirmo y garantizo ser el legítimo, único y exclusivo titular de todos los derechos de propiedad intelectual sobre los documentos arriba mencionados, las obras, los contenidos, los productos y/o las creaciones en general (en adelante, los “Contenidos”) que serán incluidos en el repositorio institucional de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno.

También, doy seguridad de que los contenidos entregados se encuentran libres de toda contraseña, restricción o medida tecnológica de protección, con la finalidad de permitir que se puedan leer, descargar, reproducir, distribuir, imprimir, buscar y enlazar los textos completos, sin limitación alguna.

Autorizo a la Universidad Nacional del Altiplano de Puno a publicar los Contenidos en el Repositorio Institucional y, en consecuencia, en el Repositorio Nacional Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto, sobre la base de lo establecido en la Ley N° 30035, sus normas reglamentarias, modificatorias, sustitutorias y conexas, y de acuerdo con las políticas de acceso abierto que la Universidad aplique en relación con sus Repositorios Institucionales. Autorizo expresamente toda consulta y uso de los Contenidos, por parte de cualquier persona, por el tiempo de duración de los derechos patrimoniales de autor y derechos conexos, a título gratuito y a nivel mundial.

En consecuencia, la Universidad tendrá la posibilidad de divulgar y difundir los Contenidos, de manera total o parcial, sin limitación alguna y sin derecho a pago de contraprestación, remuneración ni regalía alguna a favor mío; en los medios, canales y plataformas que la Universidad y/o el Estado de la República del Perú determinen, a nivel mundial, sin restricción geográfica alguna y de manera indefinida, pudiendo crear y/o extraer los metadatos sobre los Contenidos, e incluir los Contenidos en los índices y buscadores que estimen necesarios para promover su difusión.

Autorizo que los Contenidos sean puestos a disposición del público a través de la siguiente licencia:

Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional. Para ver una copia de esta licencia, visita: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

En señal de conformidad, suscribo el presente documento.

Puno 24 de noviembre del 20 23


FIRMA (obligatoria)



Huella