

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA
FACULTAD DE CIENCIAS DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y
FORESTAL**



**"SERVICIOS AMBIENTALES DE CAPTURA DE DIÓXIDO DE
CARBONO EN LA ÉPOCA DE ESTIAJE Y DE LLUVIAS EN
ECOSISTEMAS DE BOFEDAL ORIGINADOS DEL NEVADO
ALLINCCAPAC EN LA COMUNIDAD DE PACAJE-MACUSANI,
CARABAYA 2021/2022"**

Bach. Jhelsi Milagros Robles Paredes

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO AMBIENTAL Y FORESTAL**

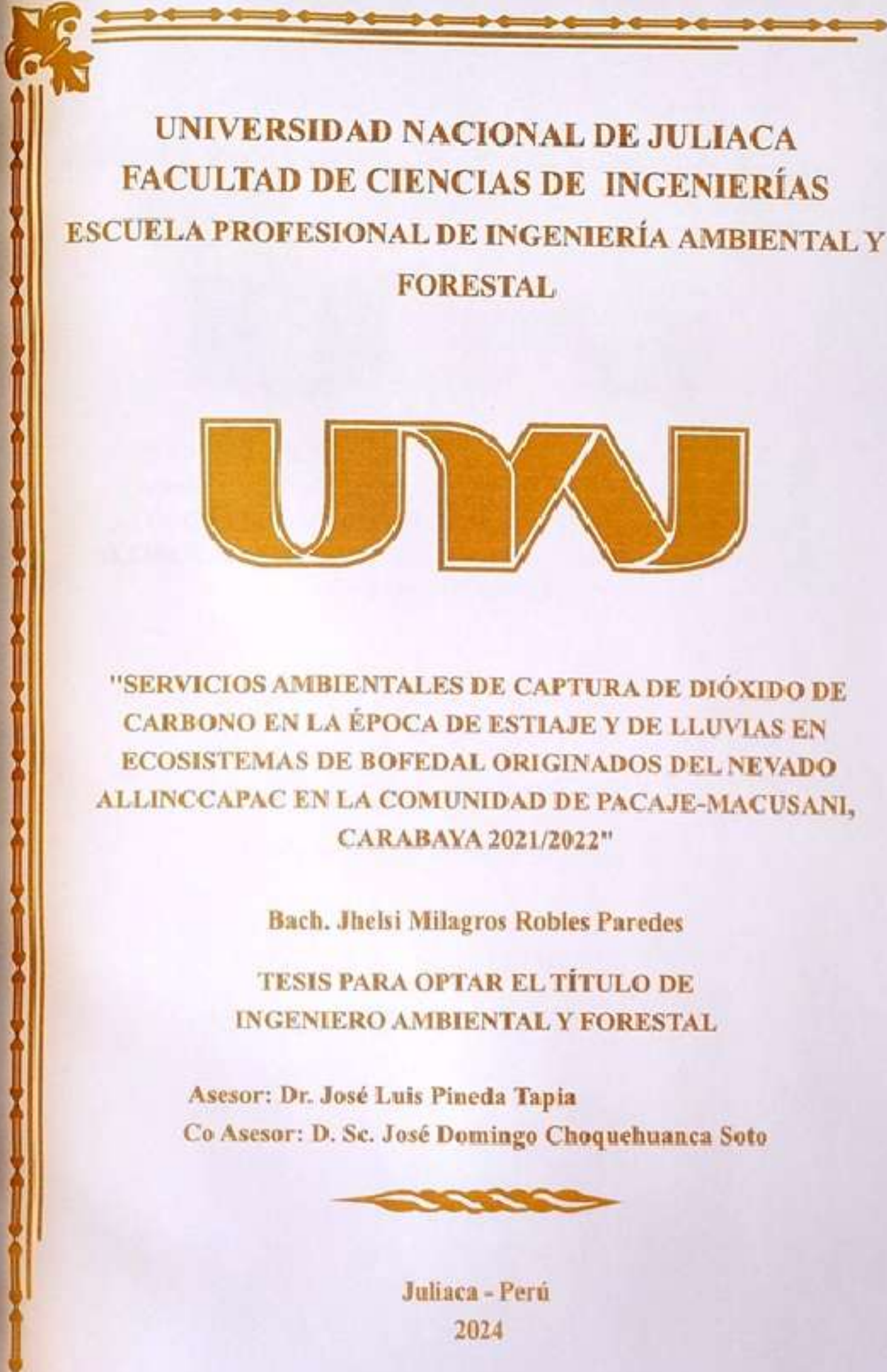
Asesor: Dr. José Luis Pineda Tapia

Co Asesor: D. Sc. José Domingo Choquehuanca Soto



Juliaca - Perú

2024



UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA
FACULTAD DE CIENCIAS DE INGENIERÍAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y
FORESTAL



**"SERVICIOS AMBIENTALES DE CAPTURA DE DIÓXIDO DE
CARBONO EN LA ÉPOCA DE ESTIAJE Y DE LLUVIAS EN
ECOSISTEMAS DE BOFEDAL ORIGINADOS DEL NEVADO
ALLINCCAPAC EN LA COMUNIDAD DE PACAJE-MACUSANI,
CARABAYA 2021/2022"**

Bach. Jhelsi Milagros Robles Paredes

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO AMBIENTAL Y FORESTAL**

Asesor: Dr. José Luis Pineda Tapia

Co Asesor: D. Sc. José Domingo Choquehuanca Soto



Juliaca - Perú

2024

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y
FORESTAL



**“SERVICIOS AMBIENTALES DE CAPTURA DE DIÓXIDO DE
CARBONO EN LA ÉPOCA DE ESTIAJE Y DE LLUVIAS EN
ECOSISTEMAS DE BOFEDAL ORIGINADOS DEL NEVADO
ALLINCCAPAC EN LA COMUNIDAD DE PACAJE-MACUSANI,
CARABAYA 2021/2022”**

Bach. Jhelsi Milagros Robles Paredes

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO AMBIENTAL Y FORESTAL

Asesor: Dr. José Luis Pineda Tapia

Co Asesor: D. Sc. José Domingo Choquehuanca Soto

Juliaca – Perú

2024

Robles J. (2024). “*Servicios ambientales de captura de dióxido de carbono en la época de estiaje y de lluvias en ecosistemas de bofedal originados del nevado Allinccapac en la comunidad de Pacaje-Macusani, Carabaya 2021/2022*”. (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de Juliaca.

AUTOR: Jhelsi Milagros Robles Paredes

TÍTULO: Servicios ambientales de captura de dióxido de carbono en la época de estiaje y de lluvias en ecosistemas de bofedal originados del nevado Allinccapac en la comunidad de Pacaje-Macusani, Carabaya 2021/2022.

PUBLICACIÓN: Juliaca, 2024.

DESCRIPCIÓN: Cantidad de páginas (99 pp).

NOTA: Tesis de la escuela profesional de Ingeniería ambiental y Forestal – Universidad Nacional de Juliaca.

CÓDIGO: 01-000032-01/R71

NOTA: Incluye bibliografía.

ASESOR: Dr. José Luis Pineda Tapia

CO ASESOR: D. Sc. José Domingo Choquehuanca Soto

PALABRAS CLAVE: Biomasa total superficial, bofedales, captura de dióxido de carbono, ecosistemas de bofedal, servicios ambientales, montaña.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y FORESTAL

“SERVICIOS AMBIENTALES DE CAPTURA DE DIÓXIDO DE CARBONO EN LA ÉPOCA DE ESTIAJE Y DE LLUVIAS EN ECOSISTEMAS DE BOFEDAL ORIGINADOS DEL NEVADO ALLINCCAPAC EN LA COMUNIDAD DE PACAJE-MACUSANI, CARABAYA 2021/2022”

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO AMBIENTAL Y FORESTAL

Presentada por:

Bach. Jhelsi Milagros Robles Paredes

Sustentada y aprobada ante el siguiente jurado:

M. Sc. Eliana Mullisaca Contreras



PRESIDENTE DE JURADO

M. Sc. Jael Calla Calla



JURADO (Secretario)


2° MIEMBRO

M. Sc. Ebed David Paredes Rodríguez



JURADO (Vocal)

3° MIEMBRO



Dr. José Luis Pineda Tapia
ASESOR DE TESIS



D. Sc. José Domingo Choquehuanca Soto
CO ASESOR DE TESIS

DEDICATORIA

A Lucila, mi madre, por su apoyo incondicional en esta y todas las etapas de mi vida, gracias por tu esfuerzo y dedicación que son el pilar de mis logros. Eres ejemplo de perseverancia, resiliencia y superación.

A mi familia querida, Isabella y Daniel, que hoy en día me acompañan y son el motor para lograr mis objetivos.

A mis tíos y tías Nélide, Dina, Miriam, Fredy, Olger, Mario y Renzo que siempre y con mucho cariño me brindan su soporte.

A mis abuelitos Felicitas y Anastacio, por ser mis segundos padres.

A mis primos, Francklin, Ivan, Terry, Rio y Angeli, para que jamás se rindan y cumplan todas sus metas profesionales a pesar de las adversidades.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional de Juliaca y a los docentes de esta casa superior de estudios por su aporte en conocimientos para mi adecuada formación profesional.

A mi asesor, el Dr. José Luis Pineda Tapia por brindarme su apoyo profesional y sus conocimientos.

A mi Coasesor, el Dr. José Domingo Choquehuanca Soto por sus conocimientos, apoyo en la parte técnica e ingenieril de mi trabajo de tesis.

A mi mamá, tía Dina, mi prima Angeli, Daniel y todos los que me acompañaron y participaron en la ejecución al pie del nevado Allinccapac soportando lo agreste del terreno y las inclemencias del clima para la elaboración de este trabajo de tesis, por su aporte de trabajo y su entusiasmo.

ÍNDICE

	Pág.
DEDICATORIA.....	iii
AGRADECIMIENTOS.....	iv
SIGLAS Y ABREVIATURAS.....	xii
RESUMEN.....	xiii
ABSTRACT.....	xiv
INTRODUCCIÓN.....	xv
CAPÍTULO I.....	1
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	1
1.1. SITUACIÓN PROBLEMÁTICA.....	1
1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	2
1.2.1 Problema general.....	2
1.2.2 Problemas específicos.....	2
1.3 OBJETIVOS DE INVESTIGACIÓN.....	3
1.3.1 Objetivo general.....	3
1.3.2 Objetivos específicos.....	3
1.4 JUSTIFICACIÓN.....	3
CAPÍTULO II	
REVISIÓN DE LA LITERATURA.....	5
2.1 ANTECEDENTES.....	5
2.1.1 Antecedentes internacionales.....	5
2.1.2 Antecedentes nacionales.....	6
2.1.3 Antecedentes regionales.....	9
2.2 MARCO TEÓRICO.....	11
2.2.1 Calentamiento global.....	11

2.2.2 Gases de efecto invernadero	11
2.2.3 Captura de CO ₂ a través de la fotosíntesis	13
2.2.4 Bofedales.....	13
2.2.5 Ecosistemas de bofedal	14
2.2.6 Servicios ambientales que proveen los bofedales	15
2.2.7 Servicios Ecosistémicos de los Bofedales.	17
2.2.8 Bofedales y el servicio de captura de dióxido de carbono.....	17
2.2.9 Determinación de las reservas del carbono.....	17
2.2.10 Cálculo del carbono equivalente	18
2.2.11 Flujo de dióxido de carbono.....	18
2.2.12 Principales especies nativas herbáceas en los bofedales.....	18
2.2.13 Especies nativas herbáceas que capturan CO ₂	18
2.3 MARCO CONCEPTUAL.....	19
CAPÍTULO III	
MATERIALES Y MÉTODOS.....	20
3.1 ÁMBITO DE ESTUDIO	20
3.2 UBICACIÓN GEOGRÁFICA	20
3.3 CLIMA.....	21
3.4 TIPO, NIVEL Y DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN	21
3.5 POBLACIÓN Y MUESTRA	21
3.5.1 Población de estudio	21
3.5.2 Tamaño de muestra	21
3.6 MATERIALES E INSTRUMENTOS	22
3.6.1 Instrumentos y equipos de campo.....	22
3.6.2 Instrumentos y equipos de gabinete	22
3.6.3 Materiales para el acondicionamiento del terreno	22

3.7 HIPÓTESIS	22
3.7.1 Hipótesis general.....	22
3.7.2 Hipótesis específicas	22
3.8 PROCEDIMIENTO METODOLÓGICO	23
3.8.1 Identificación de los tipos de ecosistemas de bofedal en base a las especies nativas predominantes, diagnóstico básico de suelos y disponibilidad de aguas superficiales.....	23
3.8.2 Estimación de la producción de biomasa total superficial en los ecosistemas de bofedal.....	25
CAPÍTULO IV	29
4.1 IDENTIFICACIÓN DE LOS TIPOS DE ECOSISTEMAS DE BOFEDAL EN BASE A LAS ESPECIES NATIVAS PREDOMINANTES, DIAGNÓSTICO BÁSICO DE SUELOS Y DISPONIBILIDAD DE AGUAS SUPERFICIALES	29
4.1.1 Composición florística	29
4.1.2 Análisis de suelos.....	33
4.1.3 Análisis de agua	35
4.2 ESTIMAR LA PRODUCCIÓN DE BIOMASA TOTAL SUPERFICIAL POR UNIDAD DE SUPERFICIE EN LOS ECOSISTEMAS DE BOFEDAL IDENTIFICADOS.....	36
4.2.1 Producción de biomasa.	36
4.3 DETERMINACIÓN DE LA CANTIDAD DE CAPTURA DE DIÓXIDO DE CARBONO CO ₂ DE LA PRODUCCIÓN DE BIOMASA TOTAL SUPERFICIAL EN LA ÉPOCA DE ESTIAJE Y LLUVIAS DE ACUERDO A LOS TIPOS DE ECOSISTEMAS DE BOFEDAL IDENTIFICADOS.....	39
4.3.1 Captura de dióxido de carbono	39
CAPÍTULO V	45
5.1 CONCLUSIONES	45
5.2 RECOMENDACIONES	46

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1 Parámetros de clima para los ecosistemas de bofedal de nevado Allinccapac.....	21
Tabla 2 Composición florística en época de estiaje de los bofedales en estudio.....	30
Tabla 3 Composición florística en época de lluvias de los bofedales en estudio.....	31
Tabla 4 Significancias del análisis de la varianza para parámetros del suelo.....	33
Tabla 5 Análisis de suelo, según ecosistema de bofedal.....	34
Tabla 6 Significancias del análisis de la varianza para parámetros del recurso hídrico....	35
Tabla 7 Análisis de agua según ecosistema de bofedal.....	36
Tabla 8 Significancia del análisis de la varianza para la biomasa total superficial en época de estiaje	37
Tabla 9 Análisis HSD Tukey según ecosistema de bofedal para la época de estiaje	37
Tabla 10 Significancia del análisis de la varianza para la biomasa total superficial en época de lluvias.....	38
Tabla 11 Significancia del análisis de la varianza para la captura de dióxido de carbono época de estiaje.....	39
Tabla 12 Significancia del análisis de la varianza para la captura de dióxido de carbono según época para cada ecosistema de bofedal.....	40
Tabla 13 Significancia del análisis de la varianza para la captura de dióxido de carbono en época de estiaje.....	40
Tabla 14 Captura de dióxido de carbono por área para cada ecosistema de bofedal.....	41

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Ilustración del calentamiento global.	11
Figura 2. Incremento de concentraciones de GEI en la atmósfera desde 1850 al 2019. Fuente: IPCC, 2023.	11
Figura 3. Absorción de CO ₂ a través de las plantas.....	13
Figura 4. Ubicación de los ecosistemas de bofedal del nevado Allinccapac -Zona del estudio.....	20
Figura 5. Diagrama de flujo de la metodología usada.	23
Figura 6. Biomasa total superficial según ecosistema de bofedal en las dos épocas (estiaje y lluvias).....	38
Figura 7. Captura de dióxido de carbono en dos diferentes épocas (estiaje y lluvias).....	42
Figura 8. Vista panorámica del ecosistema de bofedal "A" en época de estiaje.	69
Figura 9. Vista panorámica del ecosistema de bofedal "B" en época de estiaje.	69
Figura 10. Vista panorámica del ecosistema de bofedal "B" en época de lluvias.....	70
Figura 11. Vista panorámica del ecosistema de bofedal "C" en época de estiaje.	70
Figura 12. Vista panorámica del ecosistema de bofedal "C" en época de lluvias.....	71
Figura 13. Tomando muestra de aguas superficiales.....	71
Figura 14. Tomando muestra de aguas superficiales en el bofedal "C".....	72
Figura 15. Tomando muestra de suelo en el bofedal "B".....	72
Figura 16. Tomando muestra de suelo en el ecosistema de bofedal "A".	73
Figura 17. Perfil del suelo del ecosistema de bofedal "A".	73
Figura 18. Perfil del suelo del ecosistema de bofedal "B".	74
Figura 19. Perfil del suelo del ecosistema de bofedal "C".	74
Figura 20. Aplicando método de transecto en línea con anillo censador, para conteo de especies predominantes en época de estiaje.	75

Figura 21. Aplicando método de transecto en línea con anillo censador, para conteo de especies predominantes en época de lluvias.	75
Figura 22. Haciendo corte de la biomasa forrajera con tijera para esquilar ovinos.	76
Figura 23. Muestras de biomasa aérea en el laboratorio de suelos y aguas de la facultad de ciencias agrarias en la UNA-Puno.	76
Figura 24. Haciendo pesaje de muestras de biomasa aérea en el laboratorio de suelos y aguas de la facultad de ciencias agrarias en la UNA-Puno.	77
Figura 25. Colocando en la mufla las muestras de biomasa aérea en el laboratorio de suelos y aguas de la facultad de ciencias agrarias en la UNA-Puno.	77

ÍNDICE DE ANEXOS

	Pág.
ANEXO 1. Mapa de áreas de la zona de estudio.....	.54
ANEXO 2. Ficha de recolección de datos del transecto en línea.....	.55
ANEXO 3. Especies encontradas en el estudio.....	56
ANEXO 4. Resumen de datos para el procesamiento de obtención de biomasa total superficial y captura de dióxido de carbono.	58
ANEXO 5. Resultados de laboratorio para el análisis de aguas en época de estiaje.....	59
ANEXO 6. Resultados de laboratorio para el análisis de suelos en época de estiaje.....	60
ANEXO 7. Resultados de laboratorio para la cuantificación de carbono en época de estiaje.	61
ANEXO 8. Resultados de laboratorio para la cuantificación de carbono en época de lluvias.....	62
ANEXO 9. Panel fotográfico.	69

SIGLAS Y ABREVIATURAS

C: Carbono

CT: Carbono en toneladas

CO₂: Dióxido de carbono

CE: Conductividad electrónica

MO: Materia orgánica

m.s.n.m.: Metros sobre el nivel del mar

m: Metros

mm: Milímetros

pH: Potencial de hidrogeno

STD: Sólidos disueltos Totales

GEI: Gases de efecto invernadero

t/ha: Toneladas por hectárea

IPCC: Intergovernmental panel on climate change (Panel intergubernamental de cambio climático)

RESUMEN

La presente investigación fue realizada en los bofedales del nevado Allinccapac, con el objetivo de evaluar los servicios ambientales de captura de dióxido de carbono en la época de estiaje y lluvias en ecosistemas de bofedal. La investigación fue no experimental cuantitativa con diseño longitudinal de tendencia, se realizó en dos épocas; una de estiaje (octubre) y otra de lluvias (marzo); identificándose los tipos de ecosistemas de bofedal en base a las especies nativas predominantes mediante el método de “Transección al paso”, también la obtención de biomasa total superficial determinada con el método de “Cosecha de la producción total superficial” y la concentración de carbono, utilizando el método de Walkley y Black para la cuantificación de captura de carbono a partir de la biomasa total superficial. El procesamiento de datos se realizó usando el software estadístico SPSS 22.0. Los resultados alcanzados mostraron que en época de lluvia incrementa la cobertura vegetal de 92.50 a 97 por ciento con dominancia de *Distichia muscoides* y *Lucilia aretioides*; encontrándose que la época lluvia dentro de los ecosistemas de bofedal A, B y C, tienen mayor producción de biomasa con respecto a estiaje con 13 194.51, 12 179.48, 11 789.35 MS kg/ha en forma respectiva. El factor época de lluvia dentro de la condición de los ecosistemas de bofedal A, B y C son influenciados en la captación de dióxido de carbono, con 26.43 t/ha para A, 23.54 t/ha para B y 23.96 t/ha para C; el área influye en la condición de bofedal, siendo el total de captura de dióxido de carbono de 108.26 t (estiaje) y 295.31 t (lluvias). Se concluye que en época de lluvias existe mayor cobertura vegetal; el efecto época influye en la captura de carbono del bofedal ($p < 0.05$) siendo en un ambiente de lluvia estadísticamente diferente a la época de estiaje.

Palabras clave: Biomasa total superficial, bofedales, captura de dióxido de carbono, ecosistemas de bofedal, servicios ambientales, montaña.

ABSTRACT

This research was done in the wetlands of the Allinccapac snowfield, with the goal of evaluating the environmental services of carbon dioxide capture in dry and rainy season in wetland ecosystems originating from the Allinccapac snowcape. The research was quantitative non-experimental with a longitudinal trend design, it was accumulated out in two seasons, a dry season (October) and a rainy season (March); the types of wetland ecosystems were identified based on the predominant native species, also the obtaining of surface biomass and the concentration of carbon stored according to the surface biomass, using the Walkley and Black method for the quantification of carbon capture from the total surface biomass. Data treatment was developed using SPSS 22.0 statistical software. The results obtained show that in the rainy season the vegetation cover increases from 92.50 to 97 percent with dominance of *Distichia muscoides* and *Lucilia aretioides*; it was found that the rainy season within the wetland ecosystems A, B and C, have greater biomass production with respect to the dry season with 13194.51, 12179.48, 11789.35 MS kg/ha respectively. The rainy season factor within the condition of the wetland ecosystems A, B and C are influenced in the uptake of carbon dioxide, with 26,43 t/ha for A, 23,54 t/ha for B and 23,96 t/ha for C. The area influences the wetland condition, with the total carbon dioxide capture being 108.26 t (low dry season) and 295.31 t (rainfall). The conclusion is that in the rainy season there is greater vegetation cover; the season effect influences the carbon capture of the wetland ($p \leq 0.05$), being in a rainy environment statistically different from the dry season.

Keywords: Aboveground biomass, wetlands, carbon dioxide capture, wetland ecosystems, environmental services, mountain.

INTRODUCCIÓN

A nivel global se cuenta con ecosistemas de humedales, los mismos que comparten una gran riqueza cultural y ambiental, donde albergan fauna, flora y servicios diversos. Presentan como principal característica el encontrarse temporalmente inundados, con cobertura de menos del 3 por ciento de la zona superficial del planeta y su aporte es de cerca de 40 por ciento de los servicios ecosistémicos. Alrededor del 50 por ciento de los humedales se han degradado, en comparación a su extensión original, dicho efecto fue provocado por causas naturales y antropogénicas (Cochi, et al., 2014).

En el territorio Peruano el ecosistema humedal, alcanza aproximadamente el 0.42 por ciento (548 174.41 ha), distribuido en las regiones de Ancash, Apurímac, Arequipa, Ayacucho, Cajamarca, Cusco, Huancavelica, Junín, La Libertad, Lima, Moquegua, Pasco, Piura, Puno y Tacna (MINAM, 2019). Estos retienen agua en las cabeceras de las cuencas, que es fuente principal para la producción de forraje y a su vez constituyen centros de biodiversidad. En consecuencia, se encuentran en constante curso de vulnerabilidad, sobre todo por el efecto del cambio climático afectando el ciclo del agua; presentando bajas precipitaciones, principalmente en el sur (Maldonado, 2014).

Los bofedales proporcionan una variedad de servicios ecosistémicos; son considerados organizaciones para las interacciones del ciclo global del C. La razón es que son significativos filtros de carbono y poseen un alto potencial para su secuestro mediante la formación de turberas que al depositarse produce biomasa vegetal. El ciclo del C esboza su respectivo flujo que adapta muchas de sus transiciones; su importancia radica en regular el clima de la tierra, debido a que controla las interacciones del carbono y su transferencia entre el océano y el recurso suelo (atmósfera y litósfera); al mismo tiempo el incremento del CO₂ atmosférico por causas antrópicas intensifica el efecto invernadero (Calva y Torres, 2011), de esta manera se originan variaciones ambientales a nivel global.

Asimismo, existen entornos que evidencian grandes cantidades de aprovechamiento de carbono, estos se consideran como contribuyentes para reducir el calentamiento a nivel global. Las cantidades de almacenamiento, secuestro y emisiones de carbono presentes en los ecosistemas de humedales altoandinos variarán dependiendo de varios componentes como el relieve, fisiografía, la cantidad de circulación del agua a lo largo del año, temperatura, humedad, condición climática del área, el pH, cantidad de sales y el ejemplar de flora predominante (que determina la fertilidad y la materia orgánica). Sin embargo, se

acepta generalmente que los humedales como ecosistemas, acumulan eficientemente grandes cantidades de materia orgánica en el suelo, siendo de utilidad como filtros de carbono (Arellano et al., 2013).

Por consiguiente, el actual estudio se realizó con el objetivo principal de: Evaluar los servicios ambientales de secuestro de CO₂ en la época de estiaje y lluvias en ecosistemas de bofedal originados del nevado Allinccapac en la comunidad de Pacaje-Macusani en Carabaya considerando los tipos de ecosistema de bofedales, la evaluación de la obtención de la biomasa y la cuantificación de secuestro de CO₂ a partir de la biomasa.

De esta manera la investigación contribuye en lo social, aportando información científica a instituciones públicas como la municipalidad distrital de Macusani, el Gobierno Regional de Puno y el INAIGEM (Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña), respecto al rpto de CO₂ por parte de los ecosistemas de bofedal; así también a la comunidad de Pacaje que realiza pastoreo de ganado, en consecuencia se resalta el valor ecosistémico y económico para evitar la degradación y/o invasión por parte de personas ajenas a la comunidad que pretenden realizar actividades de exploración para minería u otras actividades perjudiciales para dichos ecosistemas y sus componentes.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Situación problemática

En los últimos años, se ha reportado el aumento de gases de efecto invernadero, particularmente el dióxido de carbono (CO₂) a nivel global con inquietantes resultados debido a su gran y acelerado efecto sobre el clima, batiendo récords de acrecentamiento de temperatura (United Nations Environment Programme, 2023) puntualmente un 0.9 °C en comparación de antes que ocurriera la revolución industrial, provocando graves consecuencias como altos niveles de precipitaciones, cada invierno más inclemente y las mayores temperaturas registradas en verano, también la inestabilidad de la atmósfera trayendo consigo incendios y huracanes, el acrecentamiento del nivel del mar provocando así inundaciones por causa del derretimiento de los polos y glaciares (Pérez, Luccini, Herrera, Parodi, y Matar, 2016).

Ante toda esta problemática por consecuencia de la contaminación del dióxido de carbono que desencadena secundariamente en catástrofes humanas, se han tomado medidas que permitan la mitigación de los cambios en los regímenes del clima, una de ellas es el rapto de CO₂ por humedales altoandinos, donde este gas es capturado por la vegetación transformándose así para su incorporación al ciclo del carbono (Alvis et al., 2021). A nivel internacional los bofedales son categorizados como esenciales para la humanidad por los distintos beneficios que brindan, sin embargo se encuentran en proceso de erosión y están desapareciendo rápidamente, las investigaciones recientes concluyen que cerca de un 64 por ciento de los humedales en el planeta se encuentran en riesgo de degradación (Ramsar, 2016) a consecuencia de la escasez de agua y el sobrepastoreo, además del desconocimiento de la diversidad florística (Cochi et al., 2014).

En el Perú los bofedales tienen la peculiaridad de ser ecosistemas extremadamente frágiles y sensibles debido a su dependencia hídrica, la alteración por actividades económicas como

minería y sobrepastoreo, sumándose a ellos, el reflujó glaciar, de manera que se ve afectada la conservación del recurso agua en las funciones de regulación y abasto, también la disminución del forraje debido a periodos en los que la lluvia es escasa (MINAM, 2019).

En el departamento de Puno, los ecosistemas de bofedal originados del nevado Allinccapac en la comunidad de Pacaje (Macusani), pertenecen al listado de sitios prioritarios de la región, en vista de sus numerosos beneficios como: el secuestro de carbono, producción de alimento para camélidos domésticos y fauna silvestre así también el proveer de agua a las poblaciones aledañas (Gobierno Regional Puno, 2016). En consecuencia, de continuar la situación actual y al no realizar un análisis e incorporar el manejo de los ecosistemas de bofedal, estos se verán seriamente afectados, incluyendo el servicio de regulación de gases como el dióxido de carbono (Arenas, 2013) cuyos efectos contribuyen en la disminución del cambio climático en la época de estiaje y lluvia. Por tales beneficios sobresale la importancia de estos ecosistemas de bofedal originados del nevado Allinccapac que no son ajenos a la problemática nacional e internacional, es por ello que se buscó evaluar los servicios ambientales de captura de CO₂.

1.2 Planteamiento del problema

1.2.1 Problema general

¿Cómo son los servicios ambientales de captura de dióxido de carbono en la época de estiaje y lluvias en ecosistemas de bofedal originados del nevado Allinccapac en la comunidad de Pacaje-Macusani, Carabaya 2021/2022?

1.2.2 Problemas específicos

- ¿Cuáles son los tipos de ecosistemas de bofedal en base a las especies nativas predominantes, diagnóstico básico de suelos y disponibilidad de aguas superficiales?
- ¿Cuál es la producción de biomasa total superficial en la época de estiaje y lluvias en los ecosistemas de bofedal identificados?
- ¿Cuánto es la captura de dióxido de carbono de la producción de biomasa total superficial de las especies predominantes en la época de estiaje y lluvias en los ecosistemas de bofedal identificados?

1.3 Objetivos de investigación

1.3.1 Objetivo general

Evaluar los servicios ambientales de captura de dióxido de carbono en la época de estiaje y lluvias en ecosistemas de bofedal originados del nevado Allinccapac en la comunidad de Pacaje-Macusani, Carabaya 2021/2022.

1.3.2 Objetivos específicos

- Identificar los tipos de ecosistemas de bofedal en base a las especies nativas predominantes, diagnóstico básico de suelos y disponibilidad de aguas superficiales.
- Estimar la producción de biomasa total superficial por unidad de superficie en los ecosistemas de bofedal identificados.
- Determinar la cantidad de captura de dióxido de carbono de la producción de biomasa total superficial en la época de estiaje y lluvias de acuerdo a los tipos de ecosistemas de bofedal identificados.

1.4 Justificación

La presente investigación es de suma importancia en el aspecto social porque se enfoca en aportar conocimiento a la comunidad científica en relación a los tipos de ecosistemas para promover su conservación y uso razonado (Ramsar, 2016). Como es evidente, los ecosistemas de bofedal ofrecen recursos a la comunidad de Pacaje como: agua, flora y suelo, a su vez proveen de servicios ambientales, ya sea de forraje, regulación hídrica o la captura de CO₂ (Squeo et al., 2006). La comunidad de Pacaje se beneficia de este estudio porque promueve la conservación de los ecosistemas de bofedal consiguiendo aportar en la toma de decisiones y evitar así la degradación de estas áreas a consecuencia de las actividades antrópicas.

En el contexto económico aún no se cuenta con la información suficiente respecto a valoración de carbono almacenado en relación a los servicios ecosistémicos de nuestro entorno, como es el caso de la comunidad de Pacaje (Macusani), el cual exhibe con amplitud diversos ecosistemas (MINAM, 2019), hasta el momento no se han evidenciado muchos estudios que determinen la preeminencia de los ecosistemas y sus bienes brindados. Ahora bien, es necesario resaltar que la valoración de los bienes y servicios ecosistémicos, no buscan simplemente justificar un valor mercantil, sino también su aporte para nuestro contexto, ello debido a los servicios ambientales de

provisión de agua dulce para consumo humano sin necesidad de potabilizarla; también ser utilizado como forraje para la alimentación de los camélidos sudamericanos (alpacas, principalmente); generando rentabilidad económica por la crianza de esta especie.

En el contexto Ambiental teniendo en cuenta que en la actualidad existe un inadecuado manejo de los ecosistemas de bofedal del nevado Allinccapac, se busca evidenciar el servicio de captura de CO₂; asimismo conocer el aporte que brindan, de tal manera que se genere mayor interés por su conservación, adecuado manejo y promover una adecuada gestión regional a largo plazo con el objeto de conservar la biodiversidad en los ecosistemas de bofedal, y de esta forma reducir los impactos y amenazas existentes.

En el contexto tecnológico este trabajo aporta información de cuantificación de los stocks de carbono en las turberas peruanas, esta información es de carácter innovador ya que en la actualidad se cuenta con trabajos por parte del INAIGEM que realizó el inventario nacional de bofedales, con el que se busca reconocer su cantidad, ubicación y extensión, (Fuentelba y Riosa, 2023); dicho inventario considera la captación de carbono como un beneficio, sin embargo no ha incluido esta información en su reporte final.

Los bofedales del nevado Allinccapac han sido categorizados como sitio prioritario, en tal sentido se buscan implementar estrategias y mecanismos de preservación y así garantizar su sostenibilidad (Gobierno Regional Puno, 2016).

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LA LITERATURA

2.1 Antecedentes

2.1.1 Antecedentes internacionales

Toapanta et al. (2023), en su trabajo realizado en la laguna Limpiopungo, situada en la provincia de Cotopaxi, Ecuador que se ubica a una altitud de 3 800 m.s.n.m quisieron obtener parámetros físicoquímicos, de los cuales obtuvieron 8.40 de pH, STD 52.71 mg/L y la conductividad eléctrica 104.08 $\mu\text{S}/\text{cm}$ todos valores promedios de muestreos en tres épocas, concluyendo que estos parámetros se mantuvieron estables durante todas las mediciones, por ende, todo el año no varían significativamente.

Arrieta, Albuja y Leal (2021), realizaron un estudio en la laguna Colta en Ecuador, ubicado a 3 312 m.s.n.m. se buscó conocer la dinámica de los parámetros físicoquímicos encontrando valores de: 8.87 para el pH, la conductividad eléctrica de 1 085 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y los STD de 680 mg/L, todos valores promedio, denotando la estabilidad a lo largo del año para todos los parámetros mencionados.

Gallant, Whitley, Risk, Cornelis van Kooten y Spafford (2020), realizaron su investigación en los humedales de Nueva Escocia para medir la cuantía de secuestro de C y así valorar los humedales, logrando la creación de políticas nuevas para su posterior gestión. Se encontró que en los humedales de Nueva Escocia hay un secuestro de 6.45 tCO₂/ha al año en promedio, obteniendo una ganancia de 124 a 373 dólares/ha en un año, mejorando la economía de Nueva Escocia debido a que los humedales secuestran carbono beneficiando con 9.66 millones de dólares, de esta manera se logró la protección de estos humedales.

Hribljan et al. (2015), mencionan que los humedales altoandinos del parque nacional de Sajama en Bolivia a más de 4 500 m.s.n.m fueron estudiados para medir reservas

de carbono, consideraron que los ecosistemas no han sido investigados aun cuando sufren la presión del sobre pastoreo y cambio climático. De acuerdo a los estudios de turberas cuantificaron la reserva de C de 37 g por metro cuadrado por año, además la condición seca de los bofedales de altura boliviana indica que no es un factor que influya negativamente en la acumulación de carbono.

Maucieri et al. (2014), en su estudio realizado en San Michele di Ganzaria en Italia, en base a plantas C3 introducidas en humedales artificiales (CW), aun cuando no se conozcan los efectos del CO₂ de los CW en su investigación analizaron los flujos de este componente, las mediciones se dieron en dos tipos de lechos A y B y respecto a las emisiones de CO₂, mientras que en su condición de sumideros de CO₂ se encontró que ambos lechos absorbieron este elemento con 8.35 kg de CO₂/m² para el lecho A y 1.30 kg de CO₂/m² para el lecho B.

Peña et al. (2009), indican que los bofedales de los andes centrales de Colombia realizaron evaluaciones de patrones de reservorios de carbono en bofedales de montaña, donde se evaluaron dos zonas de bofedal y tomaron muestras de agua para su análisis, haciendo uso del método de los transectos y muestras de 1 m², los resultados para biomasa vegetal fueron valores con niveles de secuestro de 7 a 15 t/ha, estos ayudaron a entender que si existe secuestro de carbono por parte de los bofedales en los andes centrales Colombianos.

2.1.2 Antecedentes nacionales

Paytán y Poma (2023), en su trabajo evaluaron el carbono presente en bofedales de la laguna Ampacocha en Huancavelica, así como asemejar las especies preponderantes, haciendo uso del método de Walkley y Black e ICRAF, fueron dos los bofedales objeto de estudio, teniendo como resultados: en el primer bofedal predomina *Distichia muscoides* capturando 133.07 t/ha y en el segundo la *Gentiana sedifolia* K. con 117.64 t/ha de captura, el primer bofedal con un área de 2.09 ha captura mayor cantidad de carbono al igual que la especie *Distichia muscoides*.

Alvis et al. (2021), realizaron un estudio en bofedales del distrito de Caylloma, sobre los 4 600 m.s.n.m, se estimó el almacenamiento de carbono en bofedales, el muestreo se realizó en octubre, teniendo en cuenta la biomasa y el recurso suelo, se analizó mediante el método de Walkey y Black, en un área de 882.54 ha el carbono total capturado fue de 795 415. 65 tCO₂, se concluyó que los bofedales en el suelo

almacenan 90 por ciento de carbono, la biomasa radicular 8 por ciento y la biomasa aérea almacena 2 por ciento.

Chang y Mandarachi (2021), valoraron la cantidad de secuestro de C de especies preponderantes en el humedal Tragadero región Junín 2021. Para realizar la división del espacio de estudio se hizo uso del *software* ArcGis, basándose en el Índice de Diferencia Normalizada de Vegetación (NDVI). Obtuvieron que, *Trifolium repens* almacena 36.88 tCO₂/ha y *Cenchrus clandestinus* 35.68 tCO₂/ha, en contraste con la tatora *Schoenoplectus californicus* que secuestra 24.82 tCO₂/ha y el *Nyush Hydrocotyle sp* solo captura 16.76 tCO₂/ha. Además, se almacena en el suelo la cantidad de 66.43 tCO₂/ha a 292.68 tCO₂/ha.

Baldoceda (2020), realizó su investigación en los bofedales Huachipampa y Tambo Real, ubicados en la Reserva Paisajística Nor Yauyos Cochas, realizaron su evaluación en dos épocas (seca y lluvias) además de las transiciones entre estas. Obtuvieron muestras de suelo a diferentes profundidades. Se analizaron parámetros básicos del suelo (pH, CE, coloración, clase textural, MO y porosidad, en Huachipampa observaron mayores valores de contenido de agua en el suelo con dominancia de la especie *Distichia muscoides*. En Tambo real se obtuvo la humedad en el suelo presentando una estrecha correspondencia con la cuantía de MO, determinaron que la humedad del suelo es distinta en ambos humedales altoandinos.

Sequeiros y Cazorla (2020), realizaron su investigación en el centro poblado Alto Perú de la región Tacna, mediante el uso previo de imágenes satelitales que permitieron calcular el índice de vegetación de diferencia normalizada con el objeto de categorizar la toma de muestras, donde se tomaron muestras de tres diferentes tipos de cobertura vegetal, turba y suelos. Luego de análisis en laboratorio, se obtuvo que el C total fue de 157.18 t/ha, evidenciándose así la alta capacidad de los servicios ambientales aportados por los humedales altoandinos en cuanto a captura de C.

Mita (2019), en su investigación realizada en humedales altoandinos de laguna de Conococha, con el objeto de estudiar dos tipos de bofedales, representado por *Distichia filamentosa* (a) y por *Festuca rigescens* (b) consiguió 45.50 t/ha de biomasa vegetativa y la captura de C de 20.47 t/ha. Para el recurso suelo se alcanzó la captura de C promedio de 3.81 por ciento y 367.96 tC. Por tanto, el bofedal (b) capturó un promedio de 388.44 t/ha de C. Por último, el bofedal (a) logró capturar una mayor

cantidad de 394.01 t/ha de C, seguido del bofedal (b) con 388.44 t/ha. Se le atribuye dicha diferencia al área que ocupa cada uno, 36.53 ha para (a), este pudo retener 14 393.18 tC, en cambio el bofedal de mayor área (b) con 304.9 ha alcanzó a retener 118 435.54 tC.

Omonte (2017), evaluó el contenido del carbono orgánico del suelo (COS) a diferentes profundidades en tres bofedales altoandinos; Churia (4388m.s.n.m), Chaqirayoq (4317m.s.n.m) y Pantumpampa (4345 m.s.n.m) de la microcuenca Apacheta, posteriormente se realizó el análisis fisicoquímico (COS, pH, CE, densidad aparente y humedad volumétrica) con mayor contenido de COS en el bofedal Pantumpampa (959.15 tC/ha); Chaqirayoq (343.18 tC/ha) y Churia (330,16 tC/ha); los resultados promedio fueron para MO, COS, PH, CE, DA y HV en Pantumpampa (50.04 por ciento; 251.68 tC/ha; 3.76; 987.50; 0.58 y 40.26 por ciento), Chaqirayoq (7.87 por ciento; 62.20 tC/ha; 4.54; 98.90; 0.91 y 31.42 por ciento) y Churia (3.44 por ciento; 41.63 tC/ha; 4.84; 124.85; 0.99 y 32.36 por ciento); una clase textural orgánica en Pantumpampa, franco arenoso en Chaqirayoq y Churia.

Pérez et al. (2015), realizó un estudio en Villa María, en la zona costera Peruana en donde determinó el secuestro de CO₂ de la especie *Schoenoplectus californicus*, con muestreos al azar de 1m² de la parte aérea de la biomasa, luego mediante el uso del factor de transformación de carbono a CO₂ con un resultado de 84.05 tCO₂/ha dando así a conocer la importancia de los humedales por sus servicios ambientales.

Palomino y Cabrera (2008), en su estudio realizado en los Humedales de Puerto Viejo, situados en el distrito de San Antonio, provincia de Cañete, departamento de Lima. Valoró el servicio ambiental de secuestro de CO₂ para las especies predominantes de flora, logrando cuantificar el C almacenado y posteriormente conocer la captura CO₂ y determinar cuánto se perdió de reservas de C por la quema y mal uso de estos ecosistemas, los valores encontrados fueron: la totora con 73.70 tCO₂/ha y el junco con 40.60 tCO₂/ha, de esta manera se pudo evidenciar las pérdidas de estos sumideros de carbono.

Basurto (2001), en su investigación realizó sus estudios en el bofedal del Centro Poblado de Choclococha, perteneciente a Huancavelica, determino el C, en un área de estudio de 35.61 ha, dominada por *Distichia muscoides*, se escogió aleatoriamente

7 puntos muestrales de una grilla de 100 por 100; el análisis utilizado fue por el método de Walkley y Black. Se valoró la cantidad de C en cada unidad (biomasa vegetativa, raíz y necromasa) también en suelo, determinando una totalidad de 448.94 tC/ha y 1 647.61 tCO₂/ha. Ultimando que el C acumulado en el área total del bofedal es 15 986.75 tC y la cantidad de CO₂ secuestrado es 58 671.38 tCO₂.

2.1.3 Antecedentes regionales

Suaña (2023), realizó su estudio en humedales de Totora del distrito de Orurillo Puno-Perú, determinando la biomasa aérea haciendo uso del método de Walkley y Black, con 9 puntos para la toma de muestras. Calculó 31.4 tCO₂/ha capturados por la biomasa aérea, concluyendo así que los humedales de totora actúan como sumideros de C.

Barra (2019), manifiesta en su estudio en el humedal altoandino de la Moya del distrito de Ayaviri en primer trimestre, su objetivo fue determinar el secuestro de C por ecosistema, de 54 hectáreas, definiendo 5 zonas tomando muestras de 1 metro cuadrado, donde los resultados finales fueron 331 620.50 t de captura de carbono, la investigación también propuso una valoración para los bonos de C donde se encontró que China tendría la disponibilidad a pagar de 19 dólares por cada tonelada de C, logrando obtener así 6 300 789.50 dólares/año, así también se identificó información de la disponibilidad a pagar de los países que conforman la unión europea varía de 20 a 30 euros/t de C lo cual aportaría 6 632.41 euros por año de las 54 ha del bofedal de la Moya.

Mollocondo y Aguilar (2018), realizaron su estudio en bosques altoandinos de Puno, en el Centro de Producción de San Juan de Potojani, estimando el secuestro de CO₂ para tres especies arbóreas teniendo como resultados: *Cupressus spp.* 521.94 tCO₂/ha y 142.35 tCO₂/ha, *Eucaliptus globulus* 430.04 tCO₂/ha y 117 tCO₂/ha y posteriormente *Polylepis sp.* 48.17 tCO₂/ha y 13.13 tCO₂/ha, concluyendo que la cantidad de biomasa dependerá del DAP, teniendo en cuenta que a mayor madurez de los árboles menor será la captura de CO₂.

Flores (2017), su estudio fue realizado en Paucarcolla, en dos sitios de pastoreo Chiji Mocco pampa (a) y Quello Circo pampa (b) con dominancia de *Festuchetum* asociado a *Muhlebergetium* para determinar la biomasa, carbono almacenado y captura de C de la especie *Festuca dollicophylla*, la biomasa con 6.61 tMS/ha en (b)

y 4.41 tMS/ha para (a), el carbono almacenado para (a) fue 2.10 tC/ha y para (b) fue 2.94 tC/ha, la captura de CO₂ para (b) fue 10.78 tCO₂/ha y (a) fue 7.70 tCO₂/ha. Finalmente se estimó la captura de CO₂ para el área total que ocupan ambos sitios de estudio, con captura en total 275.64 tCO₂ en 105.60 ha.

Calla (2017), efectuó su investigación en suelos de la comunidad de Kokan, donde determinó el impacto del *Eucalyptus globulus* en la MO del suelo, haciendo comparación de sus pasturas, obteniendo 1.98 por ciento de MO para *Eucalyptus globulus* y 2.13 por ciento para las pasturas. Los resultados demostraron que no existe impacto negativo por parte de *Eucalyptus globulus* en el suelo que pueda afectar la cantidad de MO.

Huanca (2012), en su investigación desarrolla su estudio en humedales altoandinos (Chichillapi, Lluzta y Santa Rosa) en el distrito de Masacruz (época seca) cuyo objetivo fue determinar la biomasa seca, húmeda y capacidad de carga animal, el rendimiento forrajero se identificó desde las especies deseable (D), poco deseables (PD) e indeseables (I). donde el bofedal Chichillapi tiene 2 282.039 kg de biomasa húmeda por hectárea y 684.210 kg biomasa seca por hectárea que es el mayor valor obtenido, la razón de dicho valor alto se debe a la conservación y manejo adecuado de la población. El bofedal de Lluzta tuvo un rendimiento forrajero menor con 367.440 kg de MS/ha, la Capacidad de carga fue de 0.83 alpacas/ha/6 meses en el bofedal Chichillapi y de 0.44 y 0.59 alpacas/hectárea/6 meses en los humedales altoandinos de Lluzta y Santa Rosa de forma respectiva.

2.2 Marco teórico

2.2.1 Calentamiento global

Es el incremento de la temperatura media global, relacionada directamente con el aumento de gases de efecto invernadero como el CO₂ intensificando así el fenómeno. Las causas son naturales y también antropogénicas debido a la quema de combustibles fósiles, los efectos se dan a nivel de todo el planeta, los glaciares de montañas y casquetes polares se derriten incrementando los niveles del mar, otro efecto son los cambios en el clima alterando los patrones de lluvias y con ello las consecuencias económicas y ecológicas (Caballero, Lozano, & Ortega, 2007).

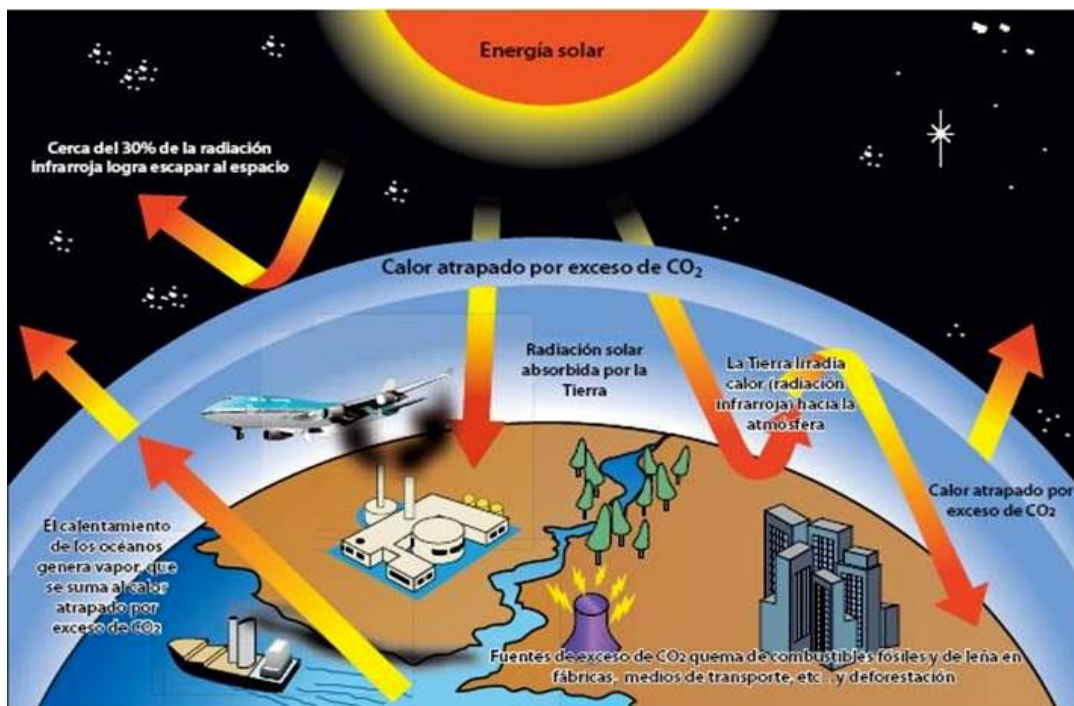


Figura 1. Ilustración del calentamiento global.

Fuente: Caballero, Lozano y ortega (2007).

2.2.2 Gases de efecto invernadero

Son aquellos que provocan el fenómeno de efecto invernadero, sin embargo es necesario este efecto para que se diera la vida en nuestro planeta, lo perjudicial es su incremento desproporcionado, tal y como se evidencia en la figura 1 (Caballero, Lozano y Ortega, 2007):

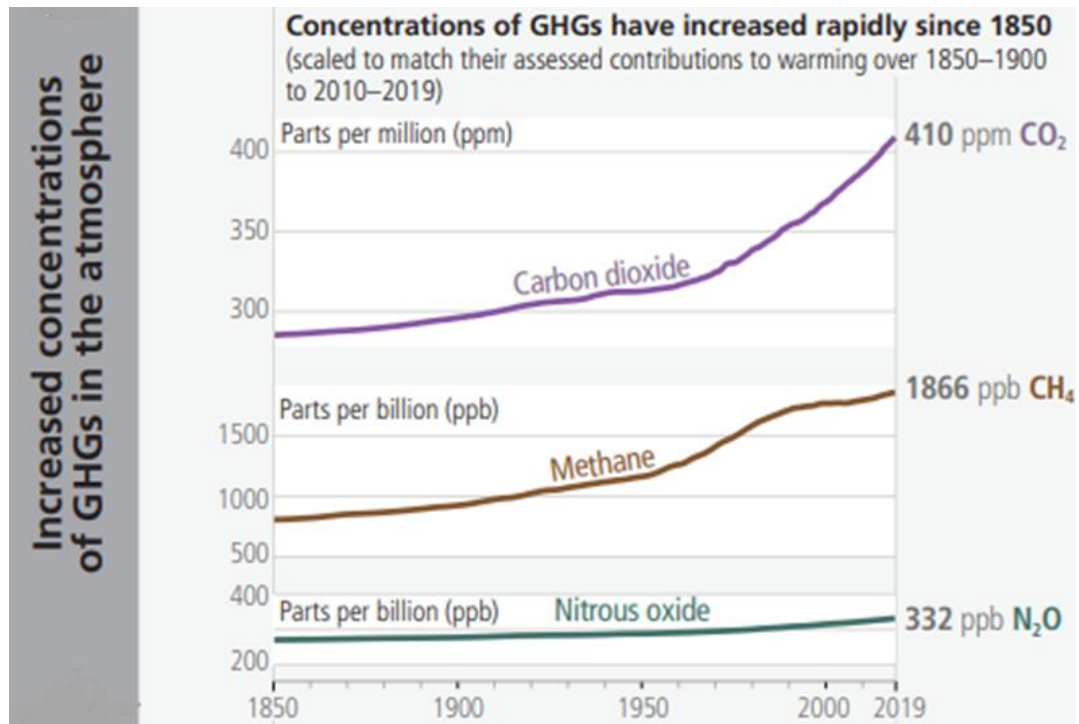


Figura 2. Incremento de concentraciones de GEI en la atmósfera desde 1850 al 2019. Fuente: (IPCC, 2023).

Las actividades humanas, cambio de usos de suelo, y el producir energía a través del uso de combustibles fósiles provocaron este incremento de los GEI los cuales absorben y reemiten la radiación solar, de esta manera dicha radiación no retorna al espacio, manteniéndose así en la superficie terrestre, estos GEI están conformados por (Trespacios, Blanquicett y Carillo, 2018):

- Dióxido de carbono (CO₂): conformando el 70 por ciento de los GEI, producido por la combustión de fósiles y de manera natural por la respiración de animales. Participa en el proceso de fotosíntesis, transformando la luz solar en energía, de esta manera las plantas tienen una participación fundamental para su eliminación.
- Metano (CH₄): representa el 20 por ciento de los GEI, es emitido por la ganadería, desintegración de materia orgánica y quema de biomasa.
- Óxido nitroso (N₂O): abarca el 7 por ciento de los GEI, siendo emitido también por la quema de biomasa y procesos industriales.
- Hidrofluorocarbonos, Perfluorocarbonos y Clorofluorocarbonos (HFCs, PFCs, CFCs): producidos por el hombre para ser utilizados en la industria (aerosoles, aislantes y extinguidores) conforman el 2 por ciento de los GEI.

- Hexafluoruro de azufre (SF_6): utilizado en la producción de aluminio, aislantes de líneas de alta tensión y para fabricar aparatos electrónicos, representan 1 por ciento de los GEI.

2.2.3 Captura de CO_2 a través de la fotosíntesis

Mecanismo mediante el cual, una planta utiliza el agua y el CO_2 como base para liberar oxígeno y formar hidratos de carbono que le permitan subsistir, de esta manera se incorpora este intercambio de gases a nivel global, siendo los protagonistas los organismos que realizan el proceso fotosintético (cianobacterias, algas y las plantas). Algunos de estos son más eficientes que otros, lo cual dependerá de cuan veloz sea la planta para capturar el dióxido de carbono, transformarlo en hidratos de carbono y finalmente desarrollar su biomasa (Almeraya del Valle & Quintanar, 2015).

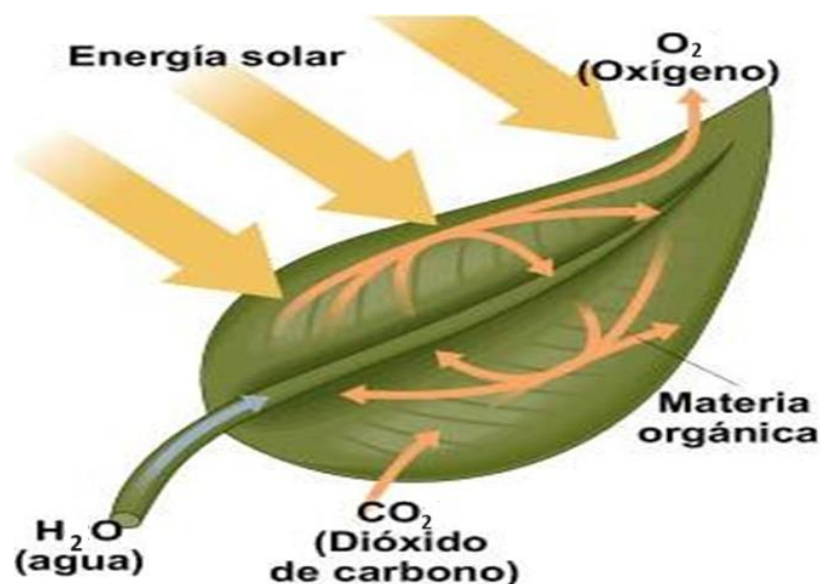


Figura 3. Absorción de CO_2 a través de las plantas.
Fuente: (Guerrero, 2012).

2.2.4 Bofedales.

En Perú, el término "bofedales" hace referencia a espacios con vegetación semejante a los humedales que cuentan con capas profundas de turba. Su importancia radica en el almacenamiento de recurso hídrico en las partes altas de una cuenca, manteniendo la humedad constante por todo el año siendo este el rasgo más característico de los bofedales. Pueden ser naturales o artificiales, inundados permanentemente o en algunos casos por ocasiones. Además, se nota la presencia de turba durante todo el

año, y su tono verdoso destaca sobre el amarillo de las áreas cercanas (Maldonado, 2014).

2.2.5 Ecosistemas de bofedal

Los ecosistemas de bofedal son llanuras de inundación intermitentes, cuenta con una variedad de flora hidrófila, que se encuentran ubicados en la zona altoandina, en depresiones o suelos de suave pendiente que encuentran en estado de inundación o impregnados de agua corriente; el suelo orgánico puede ser profundo (turba). Su flora presente es siempre verde y compactada, semejantes a almohadillas o cojín; las proporciones vegetales corresponden a pajonales de 0.1 a 0.5 metros. Este ejemplo de ecosistema se categorizan como humedales altoandinos (MINAM, 2019). En muchos lugares del país son llamados “oqonales”, cuyo significado traducido del idioma quechua significa “sitio húmedo” (Maldonado, 2014).

Los bofedales son diferenciados a partir de las siguientes características:

a. Hidroperiodo

Es la característica que marca una diferencia entre bofedales que permanecen húmedos todo el año o solo por épocas (estacionales y permanentes). La expectativa para los bofedales estacionarios es que presenten una turba menor en profundidad, como resultado, la competencia para almacenar C sería mínima. Los bofedales estacionales también presentan dominancia de vegetación en cojín u otros conjuntos de características típicas de bofedal (denominados en inglés *wet meadow*). En cambio los bofedales de característica inundada permanente, especialmente, se mostrarían como turberas (MINAM, 2019).

b. Posición topográfica

Distingue bofedales ubicados en zonas de ladera de las que están en zonas llanas (fondo de valle). Es esperado que los humedales en las zonas de laderas sean mas estacionales, y desarrollen mejor la turba de manera superficial. Aunque existen casos que presentan formación de turberas en laderas con pendiente no muy elevada, debido a la impermeabilidad de una capa del suelo, por lo general las zonas mas bajas reciben mayor cantidad de agua, es allí donde se encuentran los bofedales permanentemente inundados (Ministerio del Ambiente, 2014).

c. Importancia

Se considera de importancia los recursos que aportan, de los cuales el humano es el principal beneficiario, especialmente en la función ganadera con los camélidos sudamericanos (Meneses et al., 2014). Son hidromórficos, con vegetación herbácea hidrófila, y dependiendo de la pendiente se pueden encontrar en diferentes tipos de suelos en función de su pendiente, sus suelos se componen por turba y una vegetación mayormente verde (MINAM, 2019).

d. Peculiaridades de los bofedales

Para comprender el porcentaje de plantas perteneciente a una comunidad (composición botánica), esta variará de acuerdo a la cantidad de agua presente en cada bofedal, también según la época, conductividad eléctrica en el suelo como en el agua, pastoreo y administración del Humedal altoandino. Según los científicos, los bofedales tienen una composición botánica donde incluye el 59,5 por ciento de especies herbáceas o forbias, el 12,3 por ciento graminoides o juncáceas, el 16,4 por ciento gramíneas y el 11,7 por ciento otras especies diversas. La escasez de alimentos y las inadecuadas circunstancias de vida limitan la cantidad de especies animales que viven en esta zona. Estos animales están adaptados a los escenarios especiales de la zona. La continuidad de las especies animales, flora e incluso las vidas humanas se encuentra bajo amenaza debido al desperfecto de los ecosistemas (Cárdenas y Encina, 2005).

2.2.6 Servicios ambientales que proveen los bofedales

Existen servicios de provisión: agua, plantas medicinales, turba y forraje para el ganado; servicios de regulatorios: almacenamiento de carbono, agua, eliminación de impurezas en el agua, abastecimiento de agua, regulación climatológica local, global y protección ante la erosión de turberas y suelos; servicios de apoyo: creación de la turba, protección del hábitat de fauna silvestre y sostenimiento del ciclo de nutrientes; finalmente los servicios culturales: belleza escénica, áreas de recreación y turismo (MINAM, 2019).

Los beneficios de la parte económica, social y ambiental sean directos e indirectos, que las personas consiguen de la normal labor de los ecosistemas se denominan servicios ambientales. Estos servicios se dividen en: apoyo, suministro, regulación y

de valor cultural; en donde los ecosistemas se han alterado para lograr significativos beneficios netos para el bienestar humano y el desarrollo económico, estos beneficios han suscitado la degradación de muchos servicios ecosistémicos, mayores cambios a gran escala y acentuación de la pobreza para algunas personas. Caso contrario a no resolverse estos problemas, se generará desventaja en los bienes y beneficios que las generaciones futuras obtengan de los ecosistemas (Reid et al., 2004).

Según Gil (2013), los principales beneficios de los servicios ambientales de estos importantes ecosistemas son:

a. Provisión de agua: El agua dulce acumulada en el humedal sirve para consumo de la población, riego y cultivo, además de abastecer de agua a su ganado y de esta manera satisfacer otras necesidades humanas (Gil, 2013).

b. Regulación de esorrentía y erosión: Los humedales retienen sedimentos y previenen la erosión y la pérdida de suelo fértil. La función ecológica de los humedales ayuda a reducir las inundaciones y la erosión del suelo, ya que la vegetación actúa como un dique natural, disminuye la velocidad del agua y reduce su fuerza erosiva, las funciones ecológicas que desarrollan los humedales ayudan a disminuir las inundaciones y la erosión del suelo (Gil, 2013).

c. Zonas de filtración y recarga: El agua se acopia en los orificios del suelo, va infiltrándose a través de cada capa del suelo y finalmente forma parte de la napa freática y la otra parte pasa a estado gaseoso (evaporación), de esta manera se mantiene al ciclo hidrológico de forma continua, esto quiere decir que operan como una “esponja”, controlando el flujo de agua, evitando su escurrimiento y filtración lenta (Gil, 2013).

d. Mantenimiento de la calidad del agua: Actúan como filtros naturales, eliminando, transformando, reduciendo y diluyendo los contaminantes, en el caso de la flora, cantidad y nivel de profundidad de recurso hídrico presente en el humedal, van a permitir la disminución del flujo de su flujo y facilitar la sedimentación de los contaminantes. El contribuye con la remoción de los nutrientes y tóxicos contenidos en las partículas (Gil, 2013).

e. Protección de la diversidad biológica y del banco genético: Al poseer una enorme riqueza de biodiversidad; un continuo de vegetales, algas, peces, aves acuáticas, mamíferos, microorganismos, etc (Gil, 2013).

f. Captura de carbono: La acumulación de C en los humedales es producido principalmente en dos sectores, el recurso suelo y la fracción de biomasa vegetativa. Con un alto potencial de almacenamiento de C, se considera como sumideros de dióxido de carbono (Gil, 2013).

g. Otros valores de tipo cultural y estético: El ecoturismo de aves especialmente, tienen un entorno de gran belleza y biodiversidad, representan juegan un rol sustancial en las sociedades y sus expresiones culturales (Gil, 2013).

2.2.7 Servicios Ecosistémicos de los Bofedales.

Los humedales altoandinos son fuente de una extensa biodiversidad y pueden valorarse de acuerdo a sus implicancias; sus productos directamente explotables, como los medios hidrobiológicos y a sus cualidades, como la biodiversidad y el patrimonio cultural, que son valiosas por sí mismos o generan otros usos. La mezcla de estos semblantes hace que los bofedales tengan un alto valor natural, social y económico (MINAM, 2019).

2.2.8 Bofedales y el servicio de captura de dióxido de carbono

Los bofedales se caracterizan por brindar servicios de secuestro de CO₂, son considerados sumideros de C debido a la formación de turberas y producción de biomasa superficial (Arellano et al., 2013). Gracias a la función fotosintética de la vegetación, los bofedales captan el CO₂ y lo convierten en carbono orgánico, almacenándolo en su estructura (Hernández, 2009).

2.2.9 Determinación de las reservas del carbono

Para calcular las reservas de C de los humedales altoandinos es necesario conocer la acumulación de C en la parte vegetativa (cobertura vegetal) y aquel que se acumula en los suelos y lo que se encuentre bajo de ellos (raíz y materia orgánica) (Sequeiros y Cazorla, 2020).

2.2.10 Cálculo del carbono equivalente

Es expresado en toneladas donde una tonelada de C equivale a 3.67 tCO₂ (obtenido a partir de la razón por sus pesos moleculares 44/12), de esta manera se logra saber el CO₂ almacenado o capturado (Rügnitz, Chacón, y Porro, 2009).

2.2.11 Flujo de dióxido de carbono

En el ciclo del carbono los flujos de este elemento son variables y de suma jerarquía para una correcta ordenación climática en la tierra, se sabe que las cantidades de CO₂ han aumentado y con ello se han intensificado el efecto invernadero (Arellano et al., 2013).

Debido a las dinámicas de CO₂ entre la atmósfera y litósfera que son esenciales para el funcionamiento del ciclo global del C, las perturbaciones de estos procesos que los gradúan pueden alterar las concentraciones de CO₂ en la atmósfera (Jiménez, Treviño y Yerena, 2018).

2.2.12 Principales especies nativas herbáceas en los bofedales

Los bofedales son ecosistemas que en su conjunto se conforman por variedades de flora nativa de la familia Juncaceae, con características forma de almohadilla o cojín (Squeo et al., 2006). Tales como *Distichia muscoides* que alberga *Zameioscirpus muticus*, *Phylloscirpus boliviensis* (Cyperaceae) y *Ourisia muscosa* (Scrophulariaceae), por otro lado, se tiene a *Oxychloe andina* (Juncaceae) que contiene a especies más resistentes adaptadas a periodos de estiaje, como *Festuca dolichophylla*, *F. rigescens* (Gramíneas) (Ruthsastz, 2012).

2.2.13 Especies nativas herbáceas que capturan CO₂

Las plantas captan CO₂ de la atmósfera durante la fotosíntesis, esta importante función se traduce a todas las especies vegetales en sus diferentes tipos, las especies nativas que dominan en los bofedales no son ajenas a ello, por ello se destacan en la función de captura de CO₂ a *Distichia muscoides*, *Werneria sp*, *Oxychloe andina*, *Werneria pygmaea*, *Plantago tubulosa*, *Juncus stipulatus*, *Puccinellia oresigena*, *Calamagrostis curvula*, *Distichia humilis* y *Carex sp* (Mita, 2019).

2.3 Marco conceptual

Biomasa: Es la materia orgánica proveniente de la vegetación para ser utilizada como fuente de energía. Por sus diversas conceptualizaciones, la biomasa engloba una gran cantidad de materia orgánica caracterizada por su variedad tanto en origen como en naturaleza (Yana, 2019).

Bofedal: Humedal de tipo altoandino con flora de características en estado temporal o permanente de presencia de agua, acumulando de manera normal la conocida turba (MINAM, 2019).

Conductividad eléctrica: Es la medida que tiene un material para conducir electricidad, lo que implica una relación directa entre la concentración de sales minerales y dicha conductividad (Barbaro, Karlanian y Mata, 2018).

Ecosistema: Está definido por una asociación entre especies de un espacio definido y su interacción con el ambiente; dándose estos por medio de las relaciones interespecíficas (depredación, el parasitismo, la competencia y la simbiosis), así también en relación a su ambiente (por la degradación) al ser parte de los ciclos energéticos y de nutrientes (Reid et al., 2004).

Densidad de la vegetación: Representa un número de individuos en una determinada área (Matteucci y Colma, 2002).

Diversidad: Hace referencia al número y proporción de variedades presentes en la zona y está asociado de manera positiva a la permanencia y resiliencia del régimen ecológico, en razón a que las variedades se han ido adaptando luego de un proceso largo en las condiciones de abiota y biota en la región ecológica (Flores, 2016).

Humedales: Constituido por un ambiente de significativa riqueza en la cultura, económica y de biodiversidad bajo condiciones que lo caracterizan como tal; vegetación, recurso hídrico, entre otros (Arellano et al., 2013).

Potencial de hidrógeno: Mide la acidez o alcalinidad; pH bajo significa acidez y pH alto significa alcalinidad (Barbaro, Karlanian y Mata, 2018).

Sólidos disueltos totales: Es una guía que manifiesta la calidad del agua, se indica en ella la existencia mineral, de metales y otras sales que se encuentran disueltas en el agua (Sigler y Bauder, 2012).

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Ámbito de estudio

Esta investigación fue desarrollada en los ecosistemas de bofedal originados del nevado Allinccapac, que es una montaña del distrito de Macusani en la provincia de Carabaya del departamento de Puno-Perú, que fluctúa entre altitudes de (4 680 a 4 630) m.s.n.m. Forma parte de la Cordillera de Carabaya en la zona altoandina.



Figura 4. Ubicación de los ecosistemas de bofedal del nevado Allinccapac - Zona del estudio.

Fuente: Elaboración propia.

3.2 Ubicación geográfica

El nevado de Allinccapac está situado en la cordillera de Carabaya localizado en la zona altoandina del continente sudamericano al sur del Perú, comprendidos entre las

coordenadas UTM 19L 0345569E 8458019N; siendo el nevado Allinccapac el más alto de la cordillera del Carabaya con una altitud de 5 804 m.s.n.m.

3.3 Clima

Según la estación metereológica de Macusani (SENAMHI, 2022) se tuvieron las siguientes situaciones climáticas para las dos épocas de estudio, estos se observan en la tabla 1:

Tabla 1

Parámetros de clima para los ecosistemas de bofedal de nevado Allinccapac

Época	Precipitación media mensual (mm)	Temperatura media mensual (°C)	Radiación solar media mensual (kWh/m²)
Octubre 2021 (estiaje)	17	14.03	167.30
Marzo 2022 (lluvias)	108	11.66	135.70

3.4 Tipo, nivel y diseño de la investigación

La investigación es de tipo no experimental cuantitativo porque no ha habido manipulación de las variables; de nivel descriptivo porque mide, recolecta y reporta datos; el diseño es longitudinal porque se recolectaron datos en dos momentos y de tendencia porque se toman datos de una misma población (Sampieri, Baptista, y Fernández, 2018).

3.5 Población y muestra

3.5.1 Población de estudio

Está conformada por un total de 11.982 ha, aproximadamente de ecosistemas de bofedal originados de la desglaciación del nevado Allinccapac, en la comunidad campesina de Pacaje-Macusani, Carabaya.

3.5.2 Tamaño de muestra

La fase exploratoria se llevó a cabo de la forma siguiente:

- a) El reconocimiento y selección del área de estudio se tipificó objetivamente, mediante la cosecha de la biomasa vegetal aérea por ecosistema de bofedal identificado (A, B y C), con un tamaño de muestra de 6 unidades.
- b) Se tomaron las muestras en dos periodos: octubre (estiaje) y marzo (lluvias) de agua, suelo, flora y fauna.
- c) Se elaboró un mapa con el *software* ArcGIS 10.3 donde se obtuvieron los datos de zonas a identificar y sus respectivas áreas, tal como se muestra en el Anexo 1.

3.6 Materiales e instrumentos

3.6.1 Instrumentos y equipos de campo

Contómetro, cámara fotográfica (Canon, PowerShot SX-620) y GPS (Garmin, Etrex 20x), bolsas plásticas, recipiente de 1L, manguera, cinta métrica de 100 m, cordel, estacas, rótulos o tarjetas para la identificación de las muestras, *cooler*, marcadores de tinta permanentes para identificar las muestras, frasco muestreador y anillo censador.

3.6.2 Instrumentos y equipos de gabinete

Balanza analítica, paquete estadístico SPSS 22.0 y *software* Arcmap 10.3.

3.6.3 Materiales para el acondicionamiento del terreno

Tijera para esquila ovinos, pico, lampa y marco muestreador de metal.

3.7 Hipótesis

3.7.1 Hipótesis general

Los ecosistemas de bofedal originados del nevado Allinccapac en la comunidad campesina de Pacaje-Macusani, Carabaya 2021/2022, capturan dióxido de carbono en la época de estiaje y lluvias por los servicios ambientales que brindan estas áreas.

3.7.2 Hipótesis específicas

- La caracterización en base a las especies nativas predominantes, diagnóstico básico de suelos y disponibilidad de aguas superficiales permitirá la identificación de los tipos de ecosistemas de bofedal.
- La producción de biomasa total superficial por unidad de superficie en los ecosistemas de bofedal identificados posibilitará conocer su producción.

- La cantidad de captura de dióxido de carbono de la producción de biomasa total superficial es diferente en la época de lluvias en relación a la época de estiaje, de acuerdo a los tipos de ecosistemas de bofedal identificados.

3.8 Procedimiento metodológico

El procedimiento metodológico se dio en el orden secuencial de acuerdo a los tres objetivos planteados, tal como se puede observar en el siguiente flujograma (ver siguiente página):

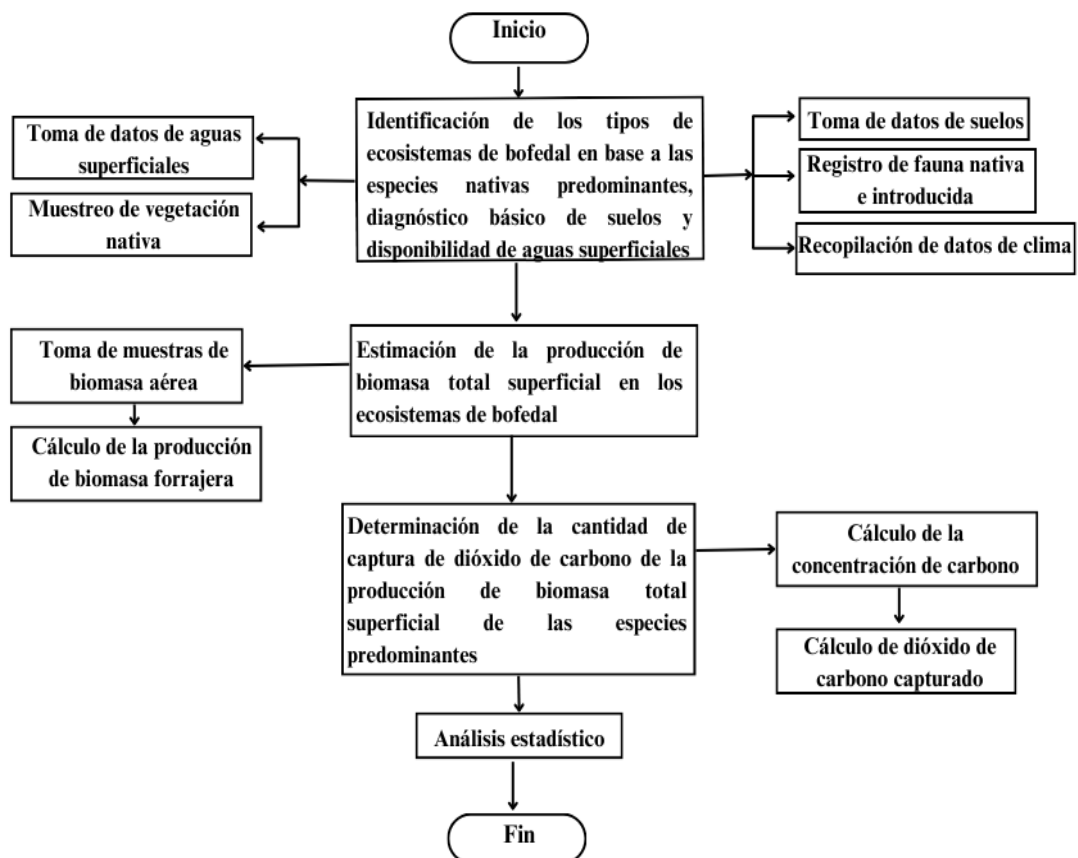


Figura 5. Diagrama de flujo de la metodología usada.
Fuente: Elaboración propia.

3.8.1 Identificación de los tipos de ecosistemas de bofedal en base a las especies nativas predominantes, diagnóstico básico de suelos y disponibilidad de aguas superficiales

Para la identificación de los tipos de ecosistemas se tomaron en cuenta a los recursos naturales: agua, suelos y flora. Los cuáles fueron muestreados según se indica a continuación:

a. Criterios para la toma de datos de aguas superficiales

El muestreo de agua para medir los parámetros pH, conductividad eléctrica (CE) y sólidos totales disueltos (STD), se tuvo en cuenta el Protocolo nacional para el monitoreo de aguas superficiales (ANA, 2016). Haciendo uso de los instrumentos y materiales correspondientes.

b. Criterios para la toma de muestras de suelo

Con un tipo de muestreo de juicio, para el parámetro de textura, pH y cantidad de Materia Orgánica se tomaron muestras de suelo, la selección de sitios para el muestreo dentro de la zona debe ser representativos para ello no se deben tomar muestras en caminos de tierra, bordes de lote, baches y zonas erosionadas. Se hizo uso de una pala pequeña para la toma de ocho muestras por cada zona, estas serán agrupadas y mezcladas para obtener dos submuestras y embolsarlas y guardarlas en un *cooler* (Luters y Salazar, 2000). Posteriormente se trasladarán al laboratorio del Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA-Puno).

c. Criterios para el muestreo de vegetación nativa

Se inició en el campo con el reconocimiento de la zona para tener una apreciación objetiva de:

- Vegetación nativa dominante
- Cobertura vegetal
- Composición florística

Para obtener estos tres puntos, se hizo uso del método de “Transección al paso” (Segura, 1963) adaptado por (Choquehuanca, 2007); considerado el más apropiado para las praderas de la zona altoandina, más detalle a continuación:

- Ubicación de las parcelas en las áreas de “Bofedal” en el predio rural de la comunidad campesina de Pacaje, Macusani. En unidades de una hectárea (10 000 m²) de bofedal en los ecosistemas (A, B y C). Mediante un estaqueo en los 4 vértices, delimitando con un cordel el perímetro de la unidad hectárea.
- Se ejecutó del censo a lo largo de las transecciones que consiste en tomar 100 observaciones a través de 100 pasos dobles utilizando un anillo censador o lupa; el que se baja en cada paso doble hacia un lado del pie y se registra la

especie que ocupa la mayor área dentro del anillo censador de 2 cm de diámetro. No deberán hacerse más de 100 registros. Todas las transecciones se anotarán en una ficha de campo (Ver anexo 2).

3.8.2 Estimación de la producción de biomasa total superficial en los ecosistemas de bofedal

a. Criterios para la toma de muestras de biomasa

Se hizo uso del método de “Cosecha de la producción total superficial” en praderas nativas (Astorga, 1984) adaptado por Choquehuanca (2007), para lo cual se tomaron muestras de vegetación dentro del área delimitada con estacas, en base al tamaño de muestra (n) del tipo de pradera identificado, luego se realizó el corte de biomasa aérea de forraje nativo haciendo uso de un marco muestreador de 0.25 m² (0.5m*0.5m), se cortó con una tijera de esquila de ovinos, teniendo en cuenta que el corte debe ser uniforme y al ras del suelo, posterior a ello la muestra fue depositada en una bolsa de plástico rotulada y llevada al laboratorio respectivo.

b. Cálculo de la producción de biomasa forrajera

Luego del traslado y conservación de los ejemplares tomados en fase de campo al laboratorio se procedió a pesar las muestras antes y después de haberse colocado en una mufla a 65°C por 48 horas y luego se calculó por diferencia de peso inicial y final la biomasa seca. (López, Fontenot y García, 2011).

c. Determinación de la cantidad de captura de CO₂ de la producción de biomasa total superficial de las especies predominantes

• Cálculo de la concentración de carbono

Luego de tener la cantidad de biomasa se hará uso del método de Walkley y Black adaptado por (Kalra y Maynard, 1991) citado por (Yana, 2019) donde se realizará el siguiente procedimiento:

- La biomasa o materia seca obtenida en el anterior procedimiento, procederá a ser molida y tamizada, luego se colocarán las muestras en envases de plástico con su respectivo rótulo.
- Luego se colocará 0.5 a 1g de muestra en un tubo de ensayo de 125 ml, repetir para cada muestra.

- Se agregará 5ml de $K_2Cr_2O_7$ 1N también 10ml de H_2SO_4 al 97-98%, antes de ello se deberá agitar suavemente por 10 segundos y dejar reposar por 30 minutos.
- Se preparará un blanco con los reactivos usados en el paso anterior, esto sin hacer uso de la muestra.
- Colocar los tubos de ensayo a la estufa durante 15 minutos a $105^\circ C$, con calentamiento previo y pasado el tiempo dispuesto retirar los tubos y dejarlos enfriar.
- Se trasladará a matraces de Erlenmeyer y así se titularán, habiendo sido aforados antes hasta 50 ml con agua desionizada, luego agregar 2 a 3 gotas de Difenilamina (indicador) y media cucharadita de NaF y así la solución cambiará a color pardo oscuro.
- Ya culminando se procederá a titular con Sal de Mohr con la bureta graduada, hasta llegar de un color ámbar pardo oscuro a verdoso lustroso.

$$\% \text{ de MO} = \frac{(V_b - V_m) \times N_{\text{sal ferrosa}} \times 1.74 \times 0.4}{P} \times M \quad (1)$$

$$\% \text{Carbono orgánico} = 1.724 \times \% \text{MO} \quad (2)$$

Donde:

V_b : Vol. (sal de Mohr) necesaria para el blanco (ml).

V_m : Vol. (sal de Mohr) necesaria para la muestra (ml).

N : Normalidad de la solución ferrosa amoniacal o Sal de Mohr (0.5).

F_c : $20/V_b$ (factor de corrección de la N de la sal de Mohr).

P : Peso de la muestra en gramos

- **Cálculo de carbono total**

Se dará mediante el uso de la siguiente fórmula (Rodríguez et al., 2016) citado por (Yana, 2019)(ver siguiente página):

$$CT = BT \times \%C \quad (3)$$

Donde:

CT: Carbono en toneladas

BT: Biomasa total en arbustos

%C: Porcentaje de carbono orgánico

- **Cálculo de CO₂ capturado**

Como último procedimiento se tendrá la estimación de CO₂, para lo cual se hizo uso de la siguiente fórmula (Medrano, Chupan y Vila, 2012) citado por (Yana, 2019):

$$\text{Captura de CO}_2 = CT \times Kr \quad (4)$$

Donde:

Captura de CO₂: En toneladas (tCO₂)

CT: Carbono en toneladas.

Kr: Factor de conversión 3.667 (relación estequiométrica de pesos moleculares), para conocer la cantidad CO₂ originada por la desintegración de C orgánico, es decir CO₂/C: 44/12).

- **Análisis estadístico**

Los datos adquiridos del análisis del suelo, agua y secuestro de C se analizaron con un análisis de varianza (ANOVA), se tomó como variación las parcelas de bofedal (A, B y C), el número de muestra como repeticiones, para los datos de obtención de biomasa total superficial y captura de C en las épocas de estiaje y lluvias (como efecto de variabilidad) utilizándose la t-student.

Se analizaron de forma paramétrica, previa demostración de los supuestos de normalidad y homogeneidad de la varianza con las pruebas de Shapiro-Wilk para cada conjunto de datos (Balzarini et al., 2016).

Se efectuó la comparación múltiple de medias de Tukey con una confianza del 95%.

El modelo estadístico t-student para muestras relacionadas fue el siguiente (ver siguiente página):

$$t = \frac{\bar{X}_D - \mu}{s_D / \sqrt{n}} \quad (5)$$

Donde:

D: Diferencia de pares

\bar{X}_D : Media

s_D : Desviación estándar

n : Número de muestras

μ : Valor a analizar

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Identificación de los tipos de ecosistemas de bofedal en base a las especies nativas predominantes, diagnóstico básico de suelos y disponibilidad de aguas superficiales

Se identificaron los tipos de ecosistema de bofedal, mediante el estudio de suelos, aguas y especies vegetales, determinando ecosistemas de bofedal: A, B y C.

4.1.1 Composición florística

En la tabla 2 (ver siguiente página), se muestran los resultados obtenidos de la composición florística de los bofedales en época de estiaje, donde se puede observar que los ecosistemas de bofedal A, B y C tienen una densidad vegetal de 90.50, 76.50 y 77.50 por ciento respectivamente, y una cobertura vegetal de 92.50, 77.00 y 85.17 por ciento; siendo el Bofedal A de mayor densidad vegetal y cobertura. Asimismo, podemos apreciar que la especie de mayor presencia fue *Distichia muscoides*, con 28.33, 15.00 y 25.50 por ciento respectivamente en los tres bofedales identificados, determinando así que los bofedales en estudio son bofedales de DISTICHETUM. Se ha encontrado también áreas sin cobertura vegetal o sin valor forrajero que corresponden a áreas desnudas, cuerpos de agua, materia orgánica, musgo, mantillo y roca, con 7.50, 23.00 y 14.83 por ciento respectivamente.

Tabla 2

Composición florística en época de estiaje (octubre) de los bofedales en estudio

Especies	Bofedales		
	A	B	C
Deseables	9.17	6.17	15.17
<i>Alchemilla diplophylla</i> Diels	2.83	0.67	2.33
<i>Alchemilla erodifolia</i>	0.33		
<i>Eleocharis albibracteata</i>	0.83	1.17	3.50
<i>Eleocharis retroflexa</i>	0.33	0.50	4.67
<i>Werneria nubigena</i> Kinch	2.33		
<i>Werneria pygmaea</i> Gill	0.50	0.67	4.50
<i>Isoetes lechleri</i>	2.00	3.17	0.17
Poco deseables	81.33	70.33	62.33
<i>Arenaria</i> sp	4.83	1.17	1.17
<i>Calamagrostis rigescens</i>	2.00	6.33	3.50
<i>Cotula pigmaea</i>			0.83
<i>Cyperus</i> sp.	4.33	1.17	1.50
<i>Distichia filamentosa</i>	6.67	10.67	1.33
<i>Distichia muscoides</i>	28.33	15.00	25.50
<i>Distichia</i> sp.	17.00	1.00	5.33
<i>Elodea potamogetum</i>		1.00	0.83
<i>Festuca rigescens</i>	1.17	0.83	0.67
<i>Gentiana podocarpa</i> (Phil) Griseb	0.33	0.17	2.50
<i>Gentianella palcana</i> (Gilg) Ho & Liu	3.00	0.33	
<i>Lucilia aretioides</i>	7.17	12.83	12.83
<i>Oreomirris</i> sp		0.50	
<i>Oreomyrrhis andicola</i>	0.17		
<i>Plantago</i> sp		15.50	1.00
<i>Plantago tubulosa</i>	5.33	3.83	3.67
<i>Werneria dactylophylla</i>	0.17		
<i>Werneria</i> sp	0.83		1.67
Indeseables	2.00	0.50	7.67
<i>Aciachne pulvinata</i> Bent	1.17		

<i>Oxicloe andina</i>		0.33	7.67
<i>Aciachne acicularis</i> Laegard	0.83	0.17	
Sin valor forrajero	7.50	23.00	14.83
Desnudo	0.00	9.50	8.83
Mantillo	0.83	3.50	4.17
Materia orgánica	5.00	3.50	0.83
Musgo	1.00	0.67	1.00
Roca	0.67	5.83	
Total	100.00	100.00	100.00

En la tabla 3, se evidencian los resultados obtenidos de la composición florística de los bofedales en época de lluvias, donde se puede observar que los ecosistemas de bofedal A, B y C tienen una densidad vegetal de 87.50, 97.00 y 82.33 por ciento, respectivamente, siendo de los bofedales B y C superiores a la época de estiaje, en tanto fue contrario para el bofedal A. Lo mismo ocurrió para cobertura vegetal siendo 89.00, 97.00 y 86.66 por ciento; siendo el Bofedal B de mayor densidad vegetal y cobertura, superando al bofedal A con respecto a la época de estiaje. Asimismo, podemos apreciar que la especie de mayor presencia fueron *Lucilia aretioides*, en bofedales A y B y *Distichia muscoides* en bofedal C, con 27.00 38.50 y 30 por ciento respectivamente. Se ha encontrado también áreas sin cobertura vegetal o sin valor forrajero que corresponde a áreas desnudas, cuerpos de agua, materia orgánica, musgo, mantillo y roca, con 11.00, 3.00 y 13.33 por ciento 7.50, 23.00 y 14.83 por ciento respectivamente siendo superior en el bofedal A e inferior en demás bofedales con respecto a época de estiaje.

Tabla 3

Composición florística en época de lluvias (marzo) de los bofedales en estudio

Especies	Bofedales		
	A	B	C
Deseables	14.67	7.50	19.50
<i>Alchemilla diplophylla</i> Diels	0.33	1.83	4.00
<i>Alchemilla pinnata</i> R. y P.	1.67	0.17	
<i>Caltha sagitata</i> Cav	0.33		

<i>Eleocharis albibracteata</i>	9.00	2.50	9.50
<i>Hipochoeris taraxacoides</i> Wallp	1.00		1.50
<i>Poa giligiana</i>	0.17	0.17	3.33
<i>Werneria heteroloba</i> Weed	0.33		
<i>Werneria villosa</i> A. Gray	0.83	0.33	
<i>Isoetes lechleri</i>	1.00	2.50	1.17
Poco deseables	72.83	89.50	62.83
<i>Calamagrostis rigescens</i>			3.83
<i>Calamagrostis sp</i>	0.17		
<i>Calamagrostis vicunarum</i>	0.33		
<i>Cotula mexicana</i>	0.33	0.50	1.00
<i>Distichia filamentosa</i>	17.83	23.17	6.00
<i>Distichia muscoides</i>	10.17	9.00	30.00
<i>Distichia sp.</i>			1.00
<i>Junelia mínima</i>	14.67	15.50	
<i>Lucilia aretioides</i>	27.00	38.50	15.83
<i>Plantago tubulosa</i>			3.33
<i>Werneria caespitosa</i>	2.33	2.83	1.83
Indeseables	1.50	0.00	4.33
<i>Aciachne pulvinata</i> Bent	1.00		
<i>Oxichloe andina</i>	0.50		4.33
Sin valor forrajero	11.00	3.00	13.33
Desnudo			7.50
Mantillo			2.83
Materia orgánica	10.67	2.67	2.00
Musgo	0.33	0.33	1.00
Total	100.00	100.00	100.00

Botello (2012), evaluó el bofedal de Huaytire en un área de 86,56 ha, encontró una diversidad vegetal con baja dominancia de las especies con mayor cobertura (*Distichia muscoides* y *Oxichloe andina*). Este resultado de mayor cobertura es similar al encontrado en el bofedal en estudio Allinccapac en época de estiaje donde la mayor cobertura fue para *Distichia muscoides*, más no así para época de lluvias.

En cuanto a épocas de estiaje y lluvias los resultados fueron de mayor densidad forrajera para la época de lluvias con respecto a época de estiaje con 88.94 y 81.50 por ciento respectivamente, para cobertura tuvo el mismo comportamiento de 90.89 y 84.89 por ciento respectivamente, de la misma manera Paytán y Poma (2023) encontraron que predomina *Distichia muscoides* en su primer bofedal y en el segundo la *Gentiana sedifolia* K. Baldoceda (2020) también encontró esa predominancia, sin embargo Mita (2019) encontró predominancia entre *Distichia filamentosa* y *Festuca rigescens*, así también Flores (2017) para el caso de *Festuca dolicophylla*.

4.1.2 Análisis de suelos

En la tabla 4 se observa los resultados del análisis de la varianza para los parámetros del suelo, mostrándose que el factor ecosistema de bofedal para pH, CE y STD no resultó significativo. También se observa valores regularmente variables para MO con 3.83 por ciento, pero para el pH y CE se observan valores dispersos con 18.01 y 48.24 por ciento respectivamente.

Tabla 4

Significancias del análisis de la varianza para parámetros del suelo

Factores	MO, %	pH	Conductividad Eléctrica,
Ecosistemas de bofedal	NS	NS	NS
Coefficiente de variación real, %	3.83	18.01	48.24
Coefficiente de variación transformado, %	1.94	-	-
Media general	2.74	6.06	166.97

Nota. NS: no significativo, *: Significativo y **: Altamente significativo

En la tabla 5 (ver siguiente página) se muestran las medias para los parámetros del suelo según ecosistema de bofedal, y considerando la significancia del factor que se muestra en la tabla 4, indica que las medias de materia orgánica (MO) para los ecosistemas de bofedal C, B y A con 2.94, 2.71 y 2.57 respectivamente son estadísticamente diferentes, para el pH no ocurre el mismo comportamiento, incluso al observarse variaciones más amplias con medias de 6.51, 5.68 y 5.98 para

ecosistemas de bofedal C, B y A también son iguales estadísticamente y finalmente para la CE también el efecto cada ecosistema de bofedal tampoco resulto diferente con medias 138.00, 173.70 y 189.20 para los ecosistemas de bofedal C, B y A.

Tabla 5

Análisis de suelo, según ecosistema de bofedal

Ecosistema de bofedal	MO %	pH	CE ($\mu\text{Sm/cm}$)
Bofedal C	2.94	6.51	138.00
Bofedal B	2.71	5.68	173.70
Bofedal A	2.57	5.98	189.20

Los resultados del estudio de suelo en laboratorio, en cuanto a los parámetros de Materia orgánica, pH y conductividad eléctrica, para MO se ha encontrado diferencia estadística significativa siendo de mayor contenido de MO el ecosistema de bofedal C, seguida del ecosistema de bofedal B y A con 2.94 por ciento, 2.71 por ciento y 2.57 por ciento de forma respectiva. En la misma tabla se puede apreciar el pH que no muestra diferencia estadística significativa entre ecosistema de bofedal, siendo de manera general suelo moderadamente ácido. En cuanto a conductividad eléctrica se encuentra muy alta.

Baldoceda (2020), obtuvo valores de: MO en alta cantidad (de 61 a 91.18 por ciento), pH moderadamente ácido y la CE baja de 0.00 a 0.07 dS/m; materia orgánica en un rango de 0.70 a 48.55 por ciento (bofedal Huachipampa); un pH ligeramente ácido y la CE también baja de 0.00 a 0.07 dS/m (bofedal del Tambo real). Valores que se asemejan al presente estudio en el pH siendo ambos ligeramente ácidos, la materia orgánica es baja en este estudio, sin embargo, para la conductividad eléctrica se tienen valores muy bajos en comparación con el presente estudio.

Omonte (2017), evidenció valores de COS, en el bofedal Pantiumpampa, Chaqirayoc y Churia, con promedios de MO, pH y CE para el bofedal Pantiumpampa (50.04 por ciento, 3.76; 987.5 $\mu\text{Sm/cm}$ respectivamente), bofedal Chaqirayoc (7.87 por ciento, 4.54 y 98.90 $\mu\text{Sm/cm}$) y Churia (3.44 por ciento, 4.84; 124.85 $\mu\text{Sm/cm}$). Siendo los resultados encontrados con respecto al estudio realizado en bofedal Allinccapac para MO superiores, para pH inferiores y para CE en Pantiumpampa superior en Chaqirayoc inferior y en Churia fueron similares.

Calla (2017), encontró en suelos de la comunidad de Kokan, donde determinó el impacto del *Eucalyptus globulus* en la MO del suelo obteniendo 1.98 por ciento de MO para *Eucalyptus globulus* y 2.13 por ciento para las pasturas.

La acidez de los suelos está directamente condicionada por la humedad y cuando la cantidad de materia orgánica es alta ya que esta condición libera el ión hidrógeno, el pH se ve alterado también cuando hay presencia de agentes contaminantes, de forma similar ocurre con la conductividad eléctrica que depende de la formación del suelo donde los valores altos perjudican el crecimiento de vegetación al verse reducida la disponibilidad de agua para su consumo (Cremona & Enriquez, 2020).

4.1.3 Análisis de agua

En la tabla 6, se observa los resultados del análisis de la varianza para las medidas del recurso hídrico, mostrándose que el factor bofedal para pH, CE y Solidos totales disueltos (STD) no resulto significativo, también se observa valores regularmente variables para el pH con 2.33 por ciento, pero para el CE y STD se observan valores extremadamente dispersos con 75.64 y 88.65 por ciento respectivamente.

Tabla 6

Significancias del análisis de la varianza para parámetros del recurso hídrico

Parámetros	pH	CE ($\mu\text{Sm/cm}$)	STD (mg/L)
Ecosistema de bofedal	NS	NS	NS
Coefficiente de variación, %	2.33	75.64	88.65
Coefficiente de variación transformado, %	-	32.98	38.48
Media general	8.03	200.83	85.00

Nota. NS: No significativo, *: Significativo y **: Altamente significativo

En la tabla 6, se evidencian las medias para los parámetros del recurso hídrico según el ecosistema de bofedal, y considerando la significancia del factor mostrado, revela que las medias del pH para los ecosistemas de bofedal C, B y A con 8.20, 7.98 y 7.93 respectivamente son estadísticamente iguales, la CE ocurre le mismo comportamiento incluso al observarse variaciones amplias con medias de 120.00, 240.00 y 242.50 para los ecosistemas de bofedal C, B y A también son iguales estadísticamente y finalmente para el STD también el efecto de los ecosistemas de

bofedal tampoco resulto diferente con medias 50, 100 y 105 para los ecosistema de bofedal C, B y A.

Tabla 7

Análisis del recurso hídrico según ecosistema de bofedal

Ecosistema de bofedal	pH	CE ($\mu\text{Sm/cm}$)	STD (mg/L)
Bofedal C	8.20	120.00	50
Bofedal B	7.98	240.00	100
Bofedal A	7.93	242.50	105

La tabla 7, evidencia los parámetros de análisis del recurso hídrico, donde no se muestra diferencia estadística significativa entre ecosistema de bofedal, encontrándose el pH entre neutro y ligeramente alcalino; así mismo, la conductividad eléctrica se encuentra entre parámetros normales; finalmente los sólidos disueltos totales se encuentran en niveles por debajo de la clasificación como excelente.

Toapanta et al. (2023) encontraron 8.40 de pH, STD 52.71 mg/L y la conductividad eléctrica 104,08 $\mu\text{S/cm}$, de forma similar Arrieta, Albuja & Leal (2021) obtuvieron valores de 8.87 para el pH, la conductividad eléctrica de 1085 $\mu\text{S/cm}$ y los STD de 680 mg/L. Estos resultados se asemejan a los del presente estudio, excepto por los STD que son mayores.

4.2 Estimar la producción de biomasa total superficial por unidad de superficie en los ecosistemas de bofedal identificados.

4.2.1 Producción de biomasa.

a) Época de estiaje

En la tabla 8 (ver siguiente página) se observan los resultados del análisis de la varianza para los parámetros de biomasa superficial, habiendo realizado antes las pruebas de normalidad (Shapiro wilk) y homogeneidad de varianzas, con significancias de 0.290 y 0.901 respectivamente siendo $p > 0.05$; posteriormente aplicaremos la prueba paramétrica ANOVA obteniendo así los siguientes resultados:

Tabla 8

Significancia del análisis de la varianza para la biomasa total superficial en época de estiaje (octubre)

Factores	Sig.	%	kg/ha
Efectos principales			
Entre ecosistemas de bofedal	0.00		
Coeficiente de variación (CV)		7.89	
Media general			9 460.66

Siendo $p < 0.05$, rechazamos la H_0 y aceptamos la H_a lo cual indica que si existe diferencia significativa entre la cantidad de biomasa superficial de los ecosistemas de bofedal, para lo cual aplicaremos la prueba post hoc, para mayor detalle ver la tabla 9:

Tabla 9

Análisis HSD Tukey según ecosistema de bofedal para la época de estiaje (octubre)

Ecosistemas de Bofedal (Variable)	N	Medias (kg/ha)	
		Grupo 1	Grupo 2
Bofedal B	6		9 196.04
Bofedal C	6		8 842.16
Bofedal A	6	10 343.78	
Sig.		0.25	1.00

Los resultados de la tabla 9 con un nivel de significación de 0.05 se observa que la cantidad de biomasa total superficial del bofedal A se encuentra en un grupo diferente de los bofedales B y C, indicando así que en el ecosistema de bofedal A con 10 343.78 kg/ha de biomasa total superficial hay mayor cantidad de biomasa total superficial que en B y C con 9 196.04 y 8 842.16 kg/ha respectivamente.

b) Época de lluvias

En la tabla 10 se observan los resultados del análisis de la varianza para los parámetros de biomasa superficial en época de lluvias, habiendo realizado antes las pruebas de normalidad (Shapiro wilk) y homogeneidad de varianzas, con

significancias de 0.54 y 0.17 respectivamente siendo $p > 0.05$; posteriormente aplicaremos la prueba paramétrica ANOVA obteniendo así los siguientes resultados:

Tabla 10

Significancia del análisis de la varianza para la biomasa total superficial en época de lluvias

Factores	Sig.	%	kg/ha
Efectos principales			
Entre ecosistemas de bofedal	0.07		
Coeficiente de variación (CV)		8.99	
Media general			12 387.77

Siendo $p > 0.05$, aceptamos la H_0 , lo cual indica que no existe diferencia significativa de biomasa entre los ecosistemas de bofedal en época de lluvias.

Según la figura 6 (ver siguiente página) la biomasa total superficial para los ecosistemas de bofedal A, B y C en época de lluvias tiene mayor cantidad a diferencia de la época de lluvias.

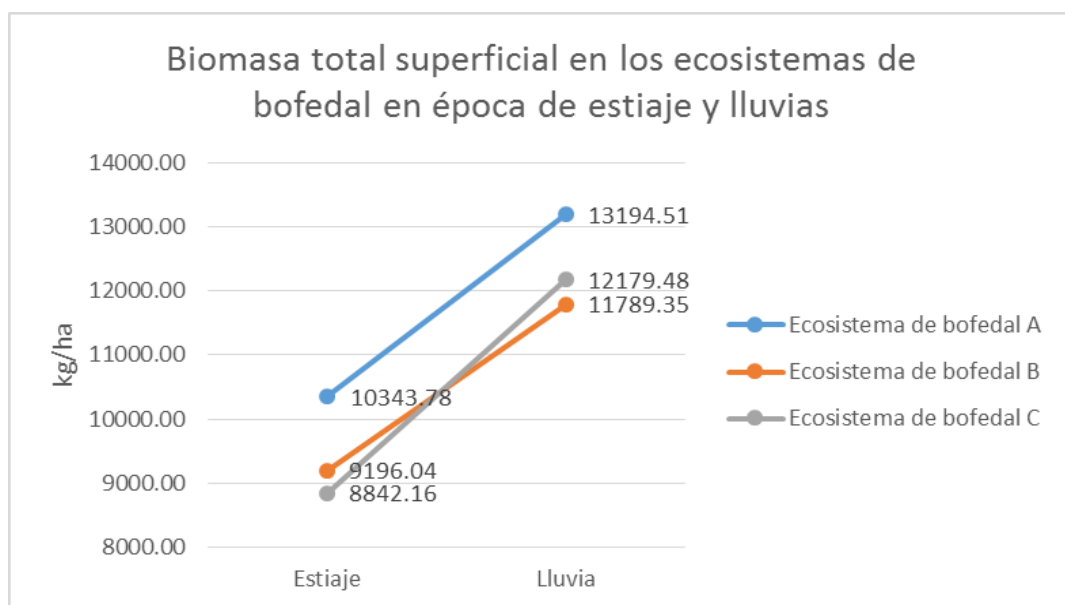


Figura 6. Biomasa total superficial según ecosistema de bofedal en las dos épocas (estiaje y lluvias).

Mita (2019) en su estudio realizado en bofedales de la laguna Conococha, encontró valores de biomasa aérea de 31 840 kg/ha a 4 906 kg/ha, aunque su estudio no tomó

como relevante la época, su menor resultado si se asemeja a los valores de la presente tesis, por otra parte Huanca (2009) encontró en los bofedales de Chichillapi, Santa Rosa y Lluzta valores de 684.21, 488.67 y 367.44 kg/ha de biomasa forrajera, de forma respectiva; su estudio lo realizó en época seca, no obstante sus valores difieren altamente de los encontrados en la presente tesis, la autora concluye que dichos valores son consecuencia del manejo que se le da a cada bofedal.

4.3 Determinación de la cantidad de captura de dióxido de carbono CO₂ de la producción de biomasa total superficial en la época de estiaje y lluvias de acuerdo a los tipos de ecosistemas de bofedal identificados

4.3.1 Captura de dióxido de carbono

a) Época de estiaje

En la tabla 11 se observan los resultados del análisis de la varianza para el parámetro de captura de CO₂, habiendo realizado antes las pruebas de normalidad (Shapiro wilk) y homogeneidad de varianzas, con significancias de 0.53 y 0.41 respectivamente siendo $p > 0.05$; posteriormente aplicaremos la prueba paramétrica ANOVA obteniendo así los siguientes resultados:

Tabla 11

Significancia del análisis de la varianza para la captura de dióxido de carbono en época de estiaje (octubre)

Factores	Sig.	%	t/ha
Efectos principales			
Entre ecosistemas de bofedal	0.00		
Coeficiente de variación		8.34	
Media general			9.03

Siendo $p < 0.05$, rechazamos la Ho y aceptamos la Ha la cual indica que si existe diferencia significativa entre los ecosistemas de bofedal respecto a la captura de CO₂, seguidamente se aplicó una prueba Pos-Hoc, para mayor detalle observaremos la tabla 12 (ver siguiente página):

Tabla 12

Significancia del análisis de la varianza para la captura de dióxido de carbono en época de estiaje para cada parcela de bofedal

Ecosistemas de Bofedal (Variable)	N	Medias (t/ha)		
		Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3
Bofedal C	6	8.25		
Bofedal B	6		9.05	
Bofedal A	6			9.78
Sig.		1.00	1.00	1.00

En la tabla 12 con un nivel de significación de 0.05 según la prueba de Tukey, se observa que la cantidad de captura de dióxido de carbono de los ecosistemas de bofedal A, B y C se encuentran en grupos diferentes, indicando así la captura de CO₂ en el bofedal A con 9.78 t/ha es superior que en el ecosistema de bofedal B y C, además el bofedal B con 9.05 t/ha captura mayor cantidad de CO₂ que el bofedal C con 8.25 t/ha.

b) Época de lluvias

En la tabla 13 se observan los resultados del análisis de la varianza para los parámetros de captura de CO₂ en época de estiaje, habiendo realizado antes las pruebas de normalidad (Shapiro wilk) y homogeneidad de varianzas, con significancias de 0.37 y 0.20 respectivamente siendo $p > 0.05$; posteriormente aplicaremos la prueba paramétrica ANOVA obteniendo así los siguientes resultados:

Tabla 13

Significancia del análisis de la varianza para la captura de dióxido de carbono en época de lluvias (Marzo)

Factores	Sig.	%	t/ha
Efectos principales			
Entre ecosistemas de bofedal	0.06		
Coefficiente de variación		9.62	
Media general			24.64

Siendo $p > 0.05$, aceptamos la H_0 , lo cual indica que no existe diferencia significativa de captura de dióxido de carbono entre los ecosistemas de bofedal en época de lluvias, teniendo así 26.43 t/ha para el ecosistema de bofedal A, 23.54 t/ha para B y 23.96 para C.

c) Época de estiaje vs. Época de lluvias

En la tabla 14 se observan los resultados del análisis de la varianza para los parámetros de captura de CO_2 en época de estiaje vs. Época de lluvias para los ecosistemas de bofedal A, B y C, aplicaremos la prueba t-student obteniendo así los siguientes resultados:

Tabla 14

Significancias para la prueba t-student entre ecosistemas de bofedal en dos épocas (estiaje y lluvias; octubre y marzo)

Ecosistemas de Bofedal	N		Media		Sig.
	Estiaje	Lluvias	Estiaje	Lluvias	
Bofedal A	6	6	9.78	26.43	0.00
Bofedal B	6	6	9.06	23.54	0.00
Bofedal C	6	6	8.25	23.96	0.00

En la tabla 14 con un nivel de significación de 0.05 según la prueba t-student, siendo $p < 0.05$, rechazamos la H_0 y aceptamos la H_a lo cual indica que sí existe diferencia significativa entre las medias de captura de CO_2 en la época de estiaje y lluvias, por lo cual se concluye que la época si tiene efectos sobre la captura de CO_2 .

Según la figura 6 (ver siguiente página) la cantidad de captura de CO_2 para los ecosistemas de bofedal A, B y C es menor en época de estiaje a diferencia de época de lluvias.

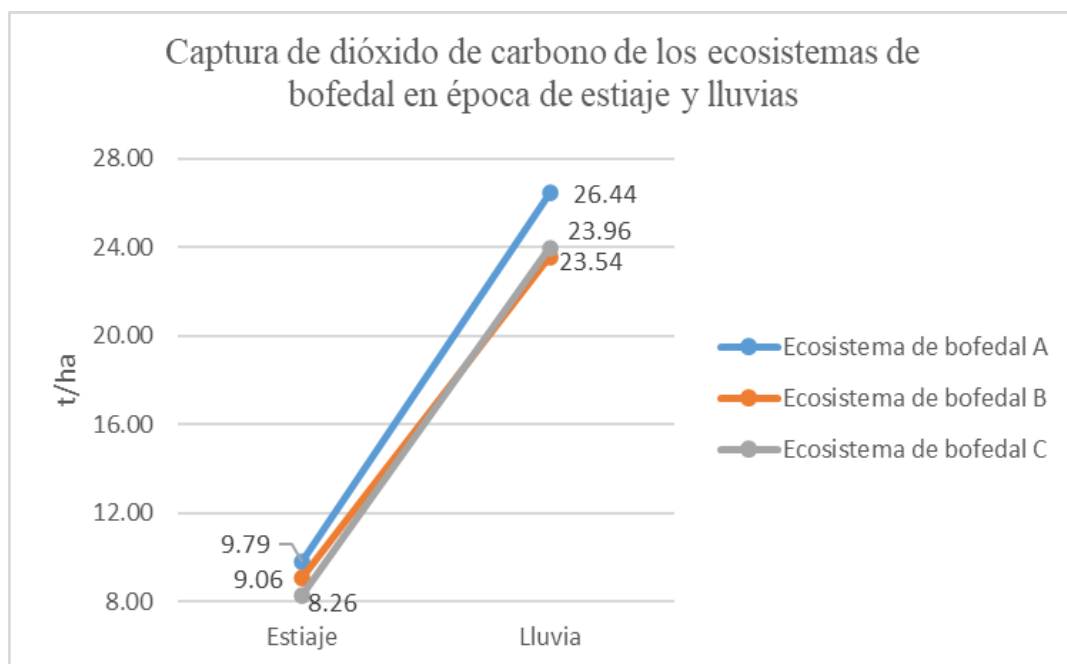


Figura 7. Captura de dióxido de carbono en dos diferentes épocas (estiaje y lluvias).

Los resultados encontrados son similares a los mostrados por Palomino y Cabrera (2007) donde los totales capturaron 73.7 tCO₂/ha y 40.6 tCO₂/ha en juncuales, teniendo en cuenta que estas especies tienen características que les permite almacenar mayor cantidad de C en su distribución tal como lo indica Alvis et al. (2018); así también Pérez et al. (2015) encontraron la cantidad de arresto de dióxido de carbono en la biomasa total presente en totorales de los humedales de Villa María es de 84.05 tCO₂/ha.

Estos resultados encontrados en las investigaciones citadas y el presente estudio difieren de Sequeiros y Cazorla (2020) que encontraron 576.22 tCO₂/ha en su estudio, cabe resaltar que tomaron en cuenta la totalidad de secuestro de C de la biomasa superficial, turba y suelos. También Alvis (2018) calculó 901.28 tCO₂/ha con una totalidad de 795 415.65 tCO₂ en toda el área de los bofedales de Chalhuanca; de igual manera Mita (2019) determinó que la extensión total de los bofedales influye en el secuestro de dióxido de carbono ya que, a mayor área mayor es la cobertura y por lo tanto es mayor la captura de CO₂.

d) Captura de dióxido de carbono por área

En la tabla 15 se observa los resultados del procesamiento de datos donde se calculó la captura de CO₂ de acuerdo a la extensión de cada ecosistema de bofedal, asimismo se calculó la captura de CO₂ total por época en toneladas.

Tabla 15

Captura de dióxido de carbono por área para cada ecosistema de bofedal

Ecosistema de bofedal	Captura total de dióxido de carbono (t)	
	Estiaje	Lluvia
A	20.72	55.96
B	27.27	70.86
C	56.61	164.25

Según el procesamiento de datos, se calculó la captura de CO₂ por la extensión de cada ecosistema de bofedal en las dos épocas, teniendo al ecosistema de bofedal C con 56.61 y 164.25 t, 27.27 y 70.86 t para el ecosistema de bofedal B, 20.72 y 55.96 t para el ecosistema de bofedal A en época estiaje y lluvias.

Tabla 16

Captura de dióxido de carbono según área

Época	Captura total de dióxido de carbono (t)
Estiaje	108.26
Lluvia	295.31

Luego del procesamiento de datos de captura de CO₂ para cada época por el área total de los ecosistemas de bofedal (A, B y C), se obtuvieron los valores de 108.26 y 295.31 t para estiaje y lluvias respectivamente.

De la misma manera Barra (2019) obtuvo como resultado final 331 620.5 t de captura de carbono, que calculó a partir del área total del bofedal de la Moya, Alvis (2018) calculó 901.28 tCO₂/ha con una totalidad de 795 415.65 t CO₂ en toda el área de los

bofedales de Chalhuanca así también Mita (2019) calculó la totalidad de secuestro de CO₂ para los bofedales de la laguna de Conococha obteniendo 118 435.543 t de carbono concluyendo que el área total de estos ecosistemas altoandinos influye en la captura de CO₂ ya que a mayor área, mayor es la cobertura y por lo tanto es mayor la captura de CO₂.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

Según el análisis de los resultados en base a los objetivos planteados, se concluye lo siguiente:

- Los ecosistemas de bofedal (A, B y C), son de condición regular, con mayor cobertura en el ecosistema de bofedal A con 92.50 por ciento y dominancia de *Distichia muscoides* para época de estiaje, para época de lluvias el bofedal con mayor cobertura fue el B con 97 por ciento y dominancia de *Lucilia aretioides*, sus suelos son ligeramente ácidos, con bajo contenido de materia orgánica, los sólidos disueltos totales en el agua se encuentran en niveles bajos.
- La producción de biomasa total superficial de los bofedales en estudio es: para la época de estiaje en el ecosistema de bofedal A con 10 343.78 kg/ha que difiere de los ecosistemas B y C con 9 196.04 y 8 842.16 kg/ha de biomasa total superficial, en cambio para la época de lluvia la producción no difiere significativamente entre ecosistemas bofedal con 13 194.51, 12 179.48 y 11 789.35 kg/ha para los ecosistemas de bofedal A, B y C respectivamente.
- La captura de CO₂ entre ecosistemas de bofedal para la época de estiaje difieren entre ellos, teniendo así al ecosistema de bofedal A con 9.78 t/ha, al B con 9.05 t/ha y al C con 8.25 t/ha, en cambio en la época de lluvia no existe diferencia significativa entre ecosistemas de bofedal con 26.43 t/ha para el ecosistema de bofedal A, 23.54 t/ha para B y 23.96 para C, la diferencia entre la época de lluvia denota un incremento en la captura de dióxido de carbono a comparación de la época de estiaje por lo tanto se concluye que, la época si tiene efectos sobre la captura de CO₂.

5.2 Recomendaciones

- Realizar más estudios que permitan la utilización de programas de información geográfica para identificar los tipos de ecosistemas de bofedal u otros en base a la densidad vegetal en diferentes niveles para brindar mayor conocimiento.
- Gestionar presupuesto o financiamiento para extender el número de muestras, ya que los costos de análisis en laboratorio para el cálculo de biomasa y porcentaje de carbono son elevados, además de solventar costos de transporte y personal calificado.
- Realizar estudios de valoración económica de los servicios de secuestro de CO₂ y cuantificar los costos de dicho servicio ambiental, independientemente o no de si tienen un precio en el mercado.

BIBLIOGRAFÍA

- Almeraya del Valle, E., y Quintanar, E. (2015). Adaptaciones fotosintéticas en las plantas para mejorar la captación de carbono. *Ciencia*, 74-79.
- Astorga, J. (1984). *Algunos problemas en el manejo de praderas para la producción ganadera en el altiplano peruano*. Puno-Perú: UNTA.
- Alvis, T., Villasante, J., Pauca G., Quispe, J., y Luque C. (2021). “Cálculo y Valoración Del Almacenamiento de Carbono Del Humedal Altoandino de Chalhuanca, Arequipa (Perú).” *Revista de Investigaciones Altoandinas - Journal of High Andean Research* 23(3):139–48. doi: 10.18271/ria.2021.314.
- Arellano, E., Meza, F., Miranda, M., y Camaño, A. (2013). “El Cuidado de Los Humedales y Su Rol En El Secuestro de Carbono.” *Agronomía y Forestal*, 22–27.
- Arrieta, S., Albuja, A., & Leal, F. (2021). Calidad fisicoquímica del agua de la laguna Colta. Chimborazo. Ecuador. *FIGEMPA: Investigación y Desarrollo*, 11. doi: <https://doi.org/10.29166/revfig.v11i1.3135>
- Autoridad Nacional del Agua. (2016). *Protocolo Nacional Para El Monitoreo de La Calidad de Los Recursos Hídricos Superficiales*.
- Baldoceda, Idania. (2020). “Análisis de La Humedad de Suelo de Los Bofedales Huachipampa y Tambo Real, En La Reserva Paisajística Nor Yauyos Cochas.”
- Balzarini, M., J. Di Rienzo, M. Tablada, L. Gonzalez, C. Bruno, M. Córdoba, y F. Casanoves. (2016). Estadística y Biometría: Ilustraciones Del Uso de Infostat En Problemas de Agronomía. *Statistics and Biometrics: Illustrations of the Use of Infostat in Agronomic Problems*.
- Barbaro, L., Karlanian, M., y Mata, D. (2018). Importancia del pH y la conductividad eléctrica (CE) en los sustratos para plantas. Buenos Aires: Ediciones INTA.
- Barra, Midward. (2019). “Captura de Carbono Por La Vegetación En El Bofedal de La Moya, En El Distrito de Melgar – Ayaviri, 2019.” 71.
- Basurto B. (2001). “Almacenamiento de Carbono En La Especie *Distichia Muscoides* Nees & Meyen En El Bofedal Del Centro de Poblado de Choclococha-Huancavelica.”
- Botello, Geovani. (2012). “Capacidad de Carga, Sorportabilidad y Diversidad Vegetal Del Bofedal de Huaytire de La Provincia de Candarave - Tacna.” Universidad

Nacional Jorge Basadre Grohmann Tacna.

- Caballero, M., Lozano, S., & Ortega, B. (2007). Efecto invernadero, calentamiento global y cambio climático: una perspectiva desde las ciencias de la tierra. *Revista digital universitaria*.
- Calva-Benítez, L., and Torres-Alvarado, R. (2011). “Carbono orgánico y características texturales de sedimentos en áreas del pasto marino *Thalassia testudinum* en ecosistemas costeros del sureste del golfo de México.” *Universidad y Ciencia* 27(2):133–44.
- Calla, J. (2017). *Determinación de los impactos negativos de la forestación Eucaliptus globulus Labill sobre las propiedades del suelo en la comunidad de Kocan*. Juliaca: Universidad Nacional del Altiplano.
- Cárdenas, M., y Encina, G. (2005). “Gestión Sustentable de Bofedales Del Salar Del Huasco.” 1–20.
- Chang, C., y Mandarachi, M. (2021). “Estimacion de La Captura de Carbono En Las Especies Predominantes Del Humedal Tragadero-Junin.”. Universidad San ignacio de Loyola.
- Choquehuanca, José Domingo. (2007). “Caracterizacion Agrostologica de La Capacidad de Carga En Praderas Nativas de Cala Cala, Puno.”
- Cremona, M., & Enriquez, A. (2020). *Algunas propiedades del suelo que condicionan su comportamiento: El pH y la conductividad eléctrica*. San Carlos de Bariloche: INTA.
- Cochi, N., Prieto, G., Dangles, O., Rojas, A., Ayala, C., Condori, B., Casazola, J., 2014. “Metodología Para Evaluar El Potencial Productivo y La Dinámica Socioecológica de La Ganadería En Bofedales Altoandinos.” *Ecología En Bolivia* 49(3):120–31.
- Díaz, B., y Velásquez, L. (2015). “Análisis de Captura de Carbono En Seis Especies Forestales Nativas (3 Esciofitas-3 Heliofitas) Plantadas Con Fines de Restauración En El Parque Ecológi- Co La Poma (PEP) -Sabana de Bogotá – Colombia.” *Revista Mutis* 5(2):46–54.
- Farmer, J., Langan, C., & Smith, J. (2022). Temporal Variability in Heterotrophic Carbon Dioxide Emissions From A Drained Tropical Peatland in Uganda. *Frontier Soil Sci*. doi:<https://doi.org/10.3389/fsoil.2022.904647>.

- Flores, E. (2016). “Marco Conceptual Y Metodológico Para Estimar El Estado De Salud De Bofedales De Alta Montaña.” *Notas Técnicas Sobre Cambio Climático* 1–120.
- Flores, M. (2017). *Captura de dióxido de carbono en la “Chillihua” (Festuca dolichophylla presl) de los pastizales del CIP Illpa-Puno*. Puno: Universidad Nacional del Altiplano.
- Fuentealba, B., y Riosa, R. (2023). “Memoria Descriptiva Inventario Nacional de Bofedales.” *Jurnal Penelitian Pendidikan Guru Sekolah Dasar*, 128.
- Gallant, K., Withey, P., Risk, D., Cornelis van Kooten, G., & Spafford, L. (2020). Measurement and economic valuation of carbon sequestration in Nova Scotian wetlands. *Ecological Economics*. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2020.106619>.
- Gil, J. (2013). “Servicios Ambientales de Los Humedales Altoandinos.” P. 20 pp in.
- Guerrero, J. (2012). *Comunicador Ambiental*. Obtenido de <http://elcomunicadorambiental.blogspot.com/2012/11/absorcion-de-las-plantas-de-co2-y-gases.html>
- Gobierno Regional Puno. (2016). “Memoria Anual.”
- Hernández, M. (2009). “Suelos de Humedales Como Sumederos de Carbono y Fuentes de Metano.” *Terra Latinoamericana* 28:139–47.
- Hernández-Sampieri, R., & Mendoza, C. (2018). *Metodología de la investigación. Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*. México: Mc Graw Hill Education. doi: <https://doi.org/10.22201/fesc.20072236e.2019.10.18.6>
- Hribljan, J. A., D. J. Cooper, J. Sueltenfuss, E. C. Wolf, K. A. Heckman, E. A. Lilleskov, and R. A. Chimner. (2015). “Carbon Storage and Long-Term Rate of Accumulation in High-Altitude Andean Peatlands of Bolivia.” *Mires and Peat* 15(12):1–14.
- Huanca, N. (2012). “*Evaluación de La Condición Vegetal de Tres Bofedales Altoandinos En Época Seca de La Cuenca Alata Ilave-Puno.*”
- Hurtado Quispe, C. (2019). Evaluación y soportabilidad de los bofedales de la cuenca del uchusuma zona altoandina de tacna - 2006. *Ciencia & Desarrollo*, 10, 103–106. doi:<https://doi.org/10.33326/26176033.2006.10.211>

- IPCC. (2023). *Climate change 2023: Synthesis Report*. Geneva, Switzerland: IPCC . doi: 10.59327/IPCC/AR6-9789291691647.
- Jiménez, J., Treviño, E., y Yerena, J. (2018). “Concentración de Carbono En Especies Del Bosque de Pino-Encino En La Sierra Madre Oriental.” *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 4(17):50–61. doi: 10.29298/rmcf.v4i17.420.
- Kalra, Y. P., y D. G. Maynard (1991). *Methods Manual for Forest Soil and Plant Analysis (Information Report NOR-X-319)*.
- López, I, Fontenot, J., y García, T. (2011). “Comparaciones Entre Cuatro Métodos de Estimación de Biomasa En Praderas de Festuca Alta.” *Revista Mexicana De Ciencias Pecuarias* 2(2):209–20.
- Luters, A., y Salazar, J. (2000). “*Guía Para La Evaluación de La Calidad y Salud Del Suelo.*”
- Maldonado, I., y Aparicio, M. (2021). “Estimación Del Almacenamiento de Carbono En La Biomasa de Macrófitas En La Bahía Interior de Puno - Lago Titicaca.” *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios* 8(2):1–10. doi: 10.19136/era.a8n2.2848.
- Maldonado, F. (2014). “Introducción a Los Bofedales de La Región Altoandina Peruana.” *Mires and Peat* 13(2006):1–13.
- Matteucci, S., y Colma, A. (2002). *Metodología para el estudio de la vegetación*. Secretaría general de los estados americanos.
- Maucieri, C., Borin, M., y Barbera, A. (2014). “Role of C3 Plant Species on Carbon Dioxide and Methane Emissions in Mediterranean Constructed Wetland.” *Italian Journal of Agronomy* 9(3):120–26. doi: 10.4081/ija.2014.601.
- Medrano, R., Chupan, L., y Vila, M.. (2012). “Almacenamiento de Carbono En Especies Predominantes de Flora En El Lago Chinchaycocha Carbon Storage in Predominant Species of Flora in Chinchaycocha Lake.” *Apuntes de Ciencia & Sociedad* 2(02):110–17.
- Meneses, R., Loza, S., Lliully, A., Palabral, A., y Anthelme, F. (2014). “Métodos Para Cuantificar Diversidad y Productividad Vegetal de Los Bofedales Frente Al Cambio Climático.” *Ecología En Bolivia* 49(3):42–55.
- MINAM. (2019). “Decreto Supremo N°010 -2019: MINAM.” *Ministerio Del Ambiente* 101.

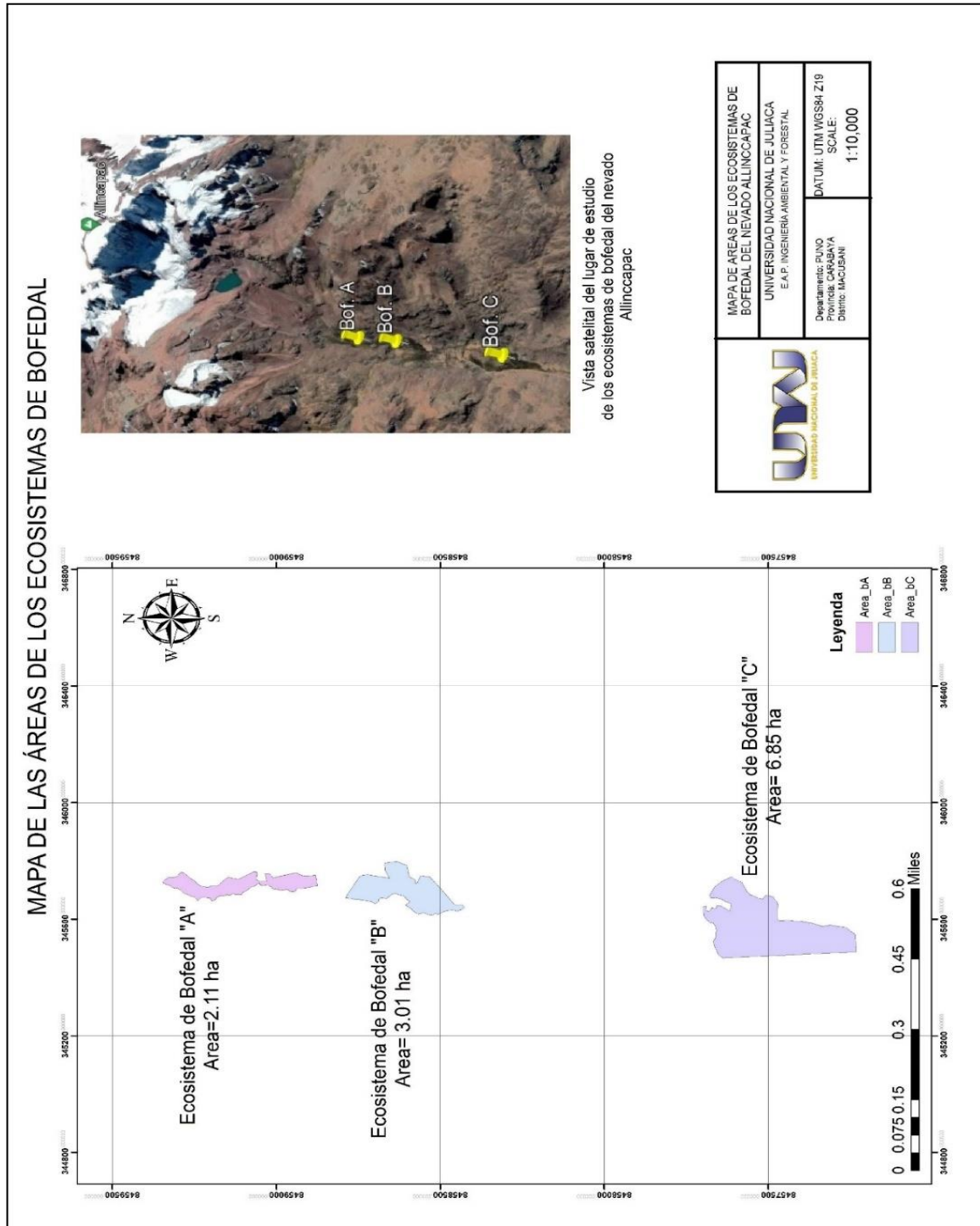
- Ministerio del Ambiente. (2014). “Guía para el muestreo de suelos.” *Ministerio Del Ambiente, Decreto Supremo N°002-2013-MINAM*, 72.
- Mita, Miguel. (2019). “Evaluación de a captura de carbono en los bofedales de lalagua de Conoccocha en base a la especie de flora predominante del área de estudio-provincia de Recuay-departamento de Ancash-2018”. Universidad Nacional ‘Santiago Antunez de Mayolo.’
- Mollocondo, M. N., & Aguilar, L. E. (2018). *Estimación de la captura de CO2 en plantaciones forestales de Polylepis sp, Cupressus spp y Eucaliptus globulus, para mitigar el cambio climático en el Centro de Producción San Juan de Potojani – Puno*. Universidad Peruana Unión.
- Palomino, D. y Cabrera, C. (2008). *Estimación del servicio ambiental de captura del CO2 en la flora de Los Humedales de Puerto Viejo*. Tesis para optar el grado de Magíster en Ciencias Ambientales con mención en Control de la Contaminación y Ordenamiento Ambiental. Facultad de Ingeniería Geológica, Minera Metalúrgica y Geográfica. Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Lima, Perú.
- Paytán, B. D., y Poma, E. (2023). *Identificación de especies vegetativas predominantes y su capacidad en la captura de carbono en bofedales de la laguna Ampacchocha, distrito Huando – Huancavelica, 2022*. Huancavelica: Universidad Nacional de Huancavelica.
- Peña, E. J., H. Sandoval, O. Zuñiga, and M. Torres. (2009). “Estimates of Carbon Reservoirs in High-Altitude Wetlands in the Colombian Andes.” *Journal of Agriculture and Rural Development in the Tropics and Subtropics* 110(2):115–26.
- Pérez P., Luccini E., Herrera L., Parodi M., Matar M., Barrea L., Mechni M. y Masramon E. (2015). Cuantificación de la captura de CO2 por la flora nativa de totora en un humedal costero de Perú. *Energía*, Vol. 13, Nro. 13, 2015, ISSN 1668-1622. Perú.
- Ramiro, Edison, and Alberto Caballero. 2011. “Inconsistencia Del Coeficiente de Variación Para Expresar La Variabilidad de Un Experimento En Un Modelo de Análisis de Varianza.” *Cultivos Tropicales* 32(3):42–45.
- Ramsar. 2016. “*Manual de La Convension de RAMSAR.*”
- Reid, Walter, A. Mooney, Harold, Angela Cropper, Carpenter Capistrano, Doris Stephen, Kanchan Chopra, Partha Dasgupta, Thomas Dietz, Anantha Kumar Duraiappah,

- Rashid Hassan, Roger Kasperson, Rik Leemans, Robert M. May, Tony McMichael, Pingali Pingali, Cristián Samper, Robert Scholes, Robert T. Watson, A. H. Zakri, Zhao Shidong, Neville J. Ash, Elena Bennett, Pushpam Kumar, Marcus J. Lee, Ciara Raudsepp, Henk Simons, Jillian Thonell, and Monika B. Zurek. (2004). “*Evaluacion de Los Ecosistemas Del Milenio.*” 2(january 2018):13–19.
- Rügnitz, M., Chacón, M., & Porro, R. (2009). *Guía para la determinación de Carbono en pequeñas propiedades rurales*. Lima: Centro Mundial Agroforestral (ICRAF)-Consórcio Iniciativa Amazônica (IA).
- Ruthsatz, B. 2012. “Vegetación y Ecología de Los Bofedales Altoandinos de Bolivia.” 43(1–2):169. doi: 10.1127/0340-269X/2013/0043-0002.
- SENAMHI. (2022). *Datos meteorológicos*. Puno: Estación Meteorológica Macusani.
- Sequeiros, D., y Cazorla, J. (2020). “Servicio Ambiental de Captura de Carbono de Los Bofedales Del Centro Poblado Alto Perú, Tacna.” *Ingeniería Investiga* 2(2):357–75. doi: 10.47796/ing.v2i2.411.
- Segura, M. (1963). *Evaluación de la productividad de campos forrajeros de Puna*. Lima-Perú: Ministerio de Agricultura.
- Sigler, A., & Bauder, J. (2012). *Well educated (Educación en el agua de pozo)*. Bozeman: Universidad estatal de Montana.
- Squeo, F., Warner, B., Aravena, R., y Espinoza, D. (2006). “Bofedales: High Altitude Peatlands of the Central Andes.”
- Suaña Jaen, H. I. (2023). *Estimación de la captura de (CO2) en totora (Schoenoplectus)*. Juliaca, Perú: Universidad Peruana Unión.
- Sucari Sucapuca, J., & Gomez Vilcapaza, D. (2023). *Concentración de carbono en queñuales y bofedales en las comunidades Altoandinas de la provincia de Lampa-Puno, Perú*. Juliaca: Universidad Peruana Unión.
- Trespalcios, J., Blanquicett, C., & Carillo, P. (2018). *Gases y efecto invernadero*. Madrid: Universidad del Norte.
- Toapanta, V., Ruales, E., Rosero, L., Galarza, G., Rodriguez, J., & Pérez, E. (2023). Calidad fisicoquímica del agua de la laguna Limpiopungo del parque nacional Cotopaxi – Ecuador. *Revista Sanitaria de Investigación*. doi:10.34896/RSI.2023.95.20.001

- United Nations Environment Programme. (2023). *Emissions Gap Report 2023: Broken Record – Temperatures hit new highs, yet world fails to cut emissions (again)*. Nairobi. Obtenido de <https://wedocs.unep.org/20.500.11822/43922>.
- Yana, D. (2019). *Captura de Dióxido de Carbono En Relación a La Biomasa Aérea de Las Especies Forestales Predominantes Del Ornato Urbano En Juliaca, 2019*. Universidad Nacional de Juliaca.

ANEXOS

ANEXO 1. Mapa de áreas de la zona de estudio



ANEXO 2. Ficha de recolección de datos del transecto en línea

FICHA REGISTRO DE TRANSECTO EN LÍNEA

Distrito.....Provincia.....Dpto.....

....

Stand N.....Transección N.....Área stand

N.....

Aspecto.....Fecha.....

Tipo de

vegetación.....Época.....

Periodo.....Investigador.....

...

Observaciones.....

....

Factores en estudio:

-Altitud

(msnm).....

-Profundidad

efectiva.....

-Textura del

suelo.....

-Distancia abrevadero

(m).....

Altura foliar de especies predominantes (cm):

Especies clave	Lecturas (10)	Promedio	DS	Estándar (optimo)

Fuente: (Choquehuanca, 2007)

ANEXO 3. Especies encontradas en el estudio.

Especies	Familias
Deseables	
<i>Alchemilla diplophylla</i> Diels	Rosácea
<i>Alchemilla erodiifolia</i>	Rosácea
<i>Alchemilla pinnata</i> R. y P.	Rosácea
<i>Caltha sagitata</i> Cav	Ranunculácea
<i>Eleocharis albibracteata</i>	Ciperácea
<i>Eleocharis retroflexa</i>	Ciperácea
<i>Hipochoeris taraxacoides</i> Wallp	Compuesta
<i>Werneria heteroloba</i> Weed	Compuesta
<i>Werneria nubigena</i> Kinch	Compuesta
<i>Werneria pygmaea</i> Gill	Compuesta
<i>Werneria villosa</i> A. Gray	Compuesta
<i>Poa giligiana</i>	Gramínea
<i>Isoetes lechleri</i>	Isoetácea
Poco deseables	
<i>Arenaria</i> sp	Cariophyllacea
<i>Calamagrostis rigescens</i>	Gramínea
<i>Calamagrostis</i> sp	Gramínea
<i>Calamagrostis vicunarum</i>	Gramínea
<i>Festuca rigescens</i>	Gramínea
<i>Cotula mexicana</i>	Compuesta
<i>Cotula pigmaea</i>	Compuesta
<i>Lucilia aretioides</i>	Compuesta
<i>Werneria caespitosa</i>	Compuesta
<i>Werneria dactylophylla</i>	Compuesta
<i>Werneria</i> sp	Compuesta
<i>Cyperus</i> sp.	Ciperácea
<i>Distichia filamentosa</i>	Juncácea
<i>Distichia muscoides</i>	Juncácea
<i>Distichia</i> sp.	Juncácea
<i>Elodea potamogetum</i>	Hydrocharitacea
<i>Gentiana podocarpa</i> (Phil) Griseb	Gentianacea

<i>Gentianella palcana</i> (Gilg) Ho & Liu	Gentianacea
<i>Junelia mínima</i>	Verbenácea
<i>Oreomirris</i> sp	Umbelífera
<i>Oreomyrrhis andicola</i>	Umbelífera
<i>Plantago</i> sp	Plantaginácea
<i>Plantago tubulosa</i>	Plantaginácea

Indeseables

<i>Aciachne pulvinata</i> Bent	Gramínea
<i>Aciachne acicularis</i> Laegard	Gramínea
<i>Oxicloe andina</i>	Juncácea

ANEXO 4. Resumen de datos para el procesamiento de obtención de biomasa total superficial y captura de dióxido de carbono.

Época	Muestra	Materia seca	Biomasa total	Carbono en toneladas	Captura CO2
Estiaje	A-1	0.2577939	10311.756	2.6872436	9.8541223
	A-2	0.2655774	10623.096	2.7651919	10.139959
	A-3	0.2686425	10745.700	2.7981803	10.260927
	A-4	0.2436693	9746.7720	2.4639840	9.0354292
	A-5	0.2496296	9985.1840	2.5292471	9.2747491
	A-6	0.2662550	10650.200	2.7711820	10.161925
	B-1	0.2169080	8676.3200	2.3165774	8.4948895
	B-2	0.2389392	9557.5680	2.5595167	9.3857478
	B-3	0.2313915	9255.6600	2.4805169	9.0960554
	B-4	0.2342683	9370.7320	2.5282235	9.2709956
	B-5	0.2210460	8841.8400	2.3881810	8.7574597
	B-6	0.2368531	9474.1240	2.5504342	9.3524421
	C-1	0.2320245	9280.9800	2.3285979	8.5389684
	C-2	0.2262862	9051.4480	2.3678588	8.6829382
	C-3	0.2266890	9067.5600	2.3212954	8.5121901
	C-4	0.2151009	8604.0360	2.1871460	8.0202642
	C-5	0.2081276	8325.1040	2.1187390	7.7694158
	C-6	0.2180960	8723.8400	2.1896838	8.0295706
Lluvias	A-1	0.3376100	13504.400	7.4544288	27.335390
	A-2	0.3188600	12754.400	6.9128848	25.349549
	A-3	0.3466100	13864.400	7.6115556	27.911574
	A-4	0.3308640	13234.560	7.3054771	26.789185
	A-5	0.2968080	11872.320	6.4585421	23.683474
	A-6	0.3484240	13936.960	7.5120214	27.546583
	B-1	0.2742410	10969.640	5.9126360	21.681636
	B-2	0.3411260	13645.040	7.5457071	27.670108
	B-3	0.2981120	11924.480	6.3676723	23.350254
	B-4	0.3258360	13033.440	7.1423251	26.190906
	B-5	0.2487120	9948.4800	5.4517670	19.991630
	B-6	0.2803750	11215000	6.1009600	22.372220
	C-1	0.3197480	12789.920	6.9321366	25.420145
	C-2	0.3082560	12330.240	6.4733760	23.737870
	C-3	0.3176550	12706.20	6.8740542	25.207157
	C-4	0.3154320	12617.28	6.8511830	25.123288
	C-5	0.2810780	11243.12	6.0375554	22.139716
	C-6	0.2847530	11390.12	6.0367636	22.136812

ANEXO 5. Resultados de laboratorio para el análisis de aguas en época de estiaje.



PERÚ

Ministerio
de Desarrollo Agrario
y Riego



SOLICITANTE	: Jhelsi Milagros Mamani Quispe.
PROCEDENCIA	:
PRODUCTO	: Aguas.
CANTIDAD	:
MUESTREO	: Interesado.
TIPO DE ANALISIS	: Análisis de pH y CE.
N° DE ANALISIS	: 04.
FECHA DE RECEPCIÓN	: 29 de Octubre del 2021.
FECHA DE CERTIFICACIÓN	: 03 de Diciembre del 2021.
DETERMINACIONES FISICO QUIMICAS:	

CERTIFICADO DE ANALISIS

N°	CLAVE LABORAT	CLAVE USUARIO	pH	CE	STD
				uSm/cm	mg/L
01	1933	A-1 0345704/8459210	7.60	400.00	170.00
02	1934	A3 345748/8459101	7.90	260.00	120.00
03	1935	C1 345527/8457960	8.00	130.00	060.00
04	1936	A4 345763/8458967	8.10	140.00	060.00
05	1937	C3 345694/8458032	8.10	120.00	050.00
06	1938	B1 345704/8458797	7.80	100.00	040.00
07	1939	C4 345736/8457601	8.20	120.00	050.00
08	1940	C2 345562/8458019	8.30	110.00	040.00
09	1941	A2 345747/8459119	8.10	170.00	070.00
10	1942	B4 345794/8458714	7.90	100.00	040.00
11	1943	B2 345755/8458792	8.20	090.00	040.00
12	1944	B3 345766/8458738	8.00	590.00	280.00

Referencias:

Methods of analysis for soils, plants and waters. University of California, División de Agricultural Sciences E.U.A. Sexta reimpresión, Octubre 1988. 195p.
1.-Determinación de CIC Lavado con acetato de amonio utilizando Kjeldahl.

Conclusiones:

La muestra analizada de SUELOS CUMPLE con los requisitos de documentos referenciales, utilizados en el análisis.

Nota:

(*) hojarasca excesiva.

Validez del Certificado:

El presente Certificado es válido, si permanece en el papel original. El documento en su papel original tendrá validez por el periodo de noventa (90) días calendario a partir de la fecha de emisión.



INIA
ESTACIÓN EXPERIMENTAL ILLPA - PUNO

Ing^o JORGE CANHUJA ROJAS
Jefe Laboratorio Análisis
SALCEDO

La Rinconada Salcedo S/N*-Puno
T: (051) 363 812
www.inia.gob.pe
www.minagri.gob.pe

ANEXO 6. Resultados de laboratorio para el análisis de suelos en época de estiaje.



PERÚ

Ministerio
de Desarrollo Agrario
y Riego



CERTIFICADO DE ANALISIS

SOLICITANTE : Jhelsi Milagros Mamani Quispe.
 PROCEDENCIA :
 PRODUCTO :
 CANTIDAD :
 MUESTREO : Interesado.
 TIPO DE ANALISIS : Análisis de MO, pH y CE.
 N° DE ANALISIS : 06.
 FECHA DE RECEPCIÓN : 22 de Marzo del 2022.
 FECHA DE CERTIFICACIÓN : 28 de Marzo del 2022.

DETERMINACIONES FISICO QUIMICAS:

CLAVE LAB	CLAVE USUARIO	ANALISIS MECANICO				MO uSm/cm	pH	CE uSm/cm	Al meq/100gr	CO ₃ %
		Arena	Arcilla	Limo	Textura					
		%	%	%						
320A1	A1	14.72	9.28	76.00	FL	2.54	6.074	272.00	0.00	0.00
320A2	A2	36.72	3.28	60.00	FL	2.60	5.885	106.40	T	0.00
320A3	B1	36.72	3.28	60.00	FL	2.59	5.539	225.00	T	0.00
320A4	B2	14.72	9.28	76.00	FL	2.83	5.826	122.40	T	0.00
320A5	C1	36.72	3.28	60.00	FL	2.97	7.826	122.40	0.00	1.18
320B1	C2	14.72	9.28	76.00	FL	2.90	5.183	153.60	2.46	0.00

Referencias:

Methods of analysis for soils, plants and waters. University of California, Division of Agricultural Sciences E.U.A. Sexta reimpression, Octubre 1988. 135p
 1.-Determinación de CIC Lavado con acetato de amonio utilizando Kjeldahl.

Conclusiones:

La muestra analizada de SUELOS CUMPLE con los requisitos de documentos referenciales, utilizados en el análisis.

Nota:

(*) hojarasca excesiva.

Validez del Certificado:

El presente Certificado es válido, si permanece en el papel original. El documento en su papel original tendrá validez por el periodo de noventa (90) días calendarios a partir de la fecha de emisión.



INIA
ESTACIÓN EXPERIMENTAL ILLPA - PUNO

Ing° JORGE CANHUA ROJAS
Jefe Laboratorio Análisis
SALCEDO

La Rinconada Salcedo S/N°-Puno
 T: (051) 363 812
 www.inia.gob.pe
 www.minagri.gob.pe

ANEXO 7. Resultados de laboratorio para la cuantificación de carbono en época de estiaje.



FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGRONÓMICA
LABORATORIO DE AGUAS Y SUELOS



RESULTADO DE ANÁLISIS

ASUNTO: ANALISIS DE CARBONO ORGANICO, HUMEDAD Y MATERIA SECA

PROCEDENCIA : BOFEDALES DEL NEVADO ALLINCCAPAC – PACAJE – MACUSANI - PUNO
INTERESADO : JHELSI MILAGROS MAMANI QUISPE
MOTIVO : ANALISIS DE HUMEDAD
FECHA DE MUESTREO : 06/11/2021 (por el interesado)
FECHA DE ANALISIS : 08/11/2021
TOTAL DE MUESTRAS : 18 MUESTRAS

MUESTRA 01 - 18:

DETERMINACIONES FISICO - QUIMICAS:

CODIGO DE MUESTRAS	M - A1	M - A2	M - A3	M - A4	M - A5	M - A6
CARBONO ORGANICO %	26.06	26.03	26.04	25.28	25.33	26.02
HUMEDAD %	82.71	83.17	82.15	86.21	85.07	74.25
MATERIA SECA %	26.06	26.03	26.07	25.28	25.33	26.02

CODIGO DE MUESTRAS	M - B1	M - B2	M - B3	M - B4	M - B5	M - B6
CARBONO ORGANICO %	26.70	26.78	26.80	26.98	27.01	26.92
HUMEDAD %	87.15	44.69	78.15	81.51	80.05	78.33
MATERIA SECA %	26.70	26.78	26.80	26.98	21.01	26.92

CODIGO DE MUESTRAS	M - C1	M - C2	M - C3	M - C4	M - C5	M - C6
CARBONO ORGANICO %	25.09	26.16	25.60	25.42	25.45	25.10
HUMEDAD %	83.15	82.14	85.45	86.03	78.41	84.15
MATERIA SECA %	25.09	26.16	25.60	25.42	25.45	25.10

H= Humedad
 MS= Materia seca

ANALISTA
 PUNO - PERU
 FAC. DE CIENCIAS AGRARIAS
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA AGRONOMICA
 ANALISIS DE LAB. CONTROL DE CALIDAD DE AGUAS
 PLANIFICACION, BIODIVERSIDAD DE ALIMENTOS Y FERTILIZANTES

ANEXO 8. Resultados de laboratorio para la cuantificación de carbono en época de lluvias.



INFORME DE ENSAYO N°: IE-22-4478

I. DATOS DEL SERVICIO

1.-RAZON SOCIAL	: JHELSE MILAGROS MAMANI QUISPE
2.-DIRECCIÓN	: MACUSANI
3.-PROYECTO	: BOTE DALES-AHINCCAPAC
4.-PROCEDENCIA	: PUNO
5.-SOLICITANTE	: JHELSE MILAGROS MAMANI QUISPE
6.-ORDEN DE SERVICIO N°	: 0000001288-2022-0000
7.-PROCEDIMIENTO DE MUESTREO	: NO APLICA
8.-MUESTREADO POR	: EL CLIENTE
9.-FECHA DE EMISIÓN DE INFORME	: 2022-04-01

II. DATOS DE ÍTEMS DE ENSAYO

1.-PRODUCTO	: Material Vegetal
2.-NÚMERO DE MUESTRAS	: 18
3.-FECHA DE RECEP. DE MUESTRA	: 2022-03-28
4.-PERÍODO DE ENSAYO	: 2022 03-28 al 2022-04-01

Eder Sergio Recuay Granados
Supervisor de laboratorio Agronomía
Ing. Químico
CIP N° 221809



Los resultados contenidos en el presente documento sólo están relacionados con los ítems ensayados.
No se debe reproducir el informe de ensayo, excepto en su totalidad, sin la aprobación escrita de Analytical Laboratory E.I.R. L.
Los resultados de los ensayos, no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

III. MÉTODOS Y REFERENCIAS

TIPO DE ENSAYO	NORMA DE REFERENCIA	TÍTULO
Carbono Orgánico Total ^(*)	Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000, AS-07, Ítem 7.1.7	Método de Walkley y Black
Humedad en Material Vegetal	Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000, AS-05, Ítem 7.1.5	Método de Humedad Gravimétrica
Preparación Muestras Vegetales ^(*)	Handbook of Methods for Plant Analysis, Item 3	Preparación de Muestras Vegetales

^(*)NOM : Norma Oficial Mexicana

^(*) El Ensayo indicado no ha sido acreditado

INFORME DE ENSAYO N°: IE-22-4478
IV. RESULTADOS

ITEM	1	2	3	4			
CÓDIGO DE LABORATORIO:	M-22-13516	M-22-13517	M-22-13518	M-22-13519			
CÓDIGO DEL CLIENTE:	PASTOS A-1	PASTOS A-2	PASTOS A-3	PASTOS A-4			
COORDENADAS:	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA			
UTM WGS 84:	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA			
PRODUCTO:	MATERIAL VEGETAL						
INSTRUCTIVO DE MUESTREO:	NO APLICA						
INICIO DE MUESTREO (FECHA y HORA):	10-03-2022 00:00	10-03-2022 00:00	10-03-2022 00:00	10-03-2022 00:00			
FIN DE MUESTREO (FECHA y HORA):	10-03-2022	10-03-2022	10-03-2022	10-03-2022			
ENSAYO	UNIDAD	L.D.M.	L.C.M.	RESULTADOS			
Carbono Orgánico Total (**)	%	0,04	0,10	55,2	54,2	54,9	55,2
Humedad Gravimétrica (**)	%	0,1	0,2	87,0	85,1	86,3	87,8
Preparación Muestras Vegetales (**)	no unidad	NA	NA	FINALIZADO	FINALIZADO	FINALIZADO	FINALIZADO

(**) El Ensayo indicado no ha sido acreditado

L.C.M.: Límite de cuantificación del método, " \leq "= Menor que el L.C.M.

L.D.M.: Límite de detección del método, " \leq "= Menor que el L.D.M.

"-": No ensayado

NA: No Aplica

INFORME DE ENSAYO N°: IE-22-4478

ITEM	5	6	7	8			
CÓDIGO DE LABORATORIO:	M-22-13520	M-22-13521	M-22-13522	M-22-13523			
CÓDIGO DEL CLIENTE:	PASTOS A-5	PASTOS A-6	PASTOS B-1	PASTOS B-2			
COORDENADAS:	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA			
UTM WGS 84:	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA			
PRODUCTO:	MATERIAL VEGETAL						
INSTRUCTIVO DE MUESTREO:	NO APLICA						
INICIO DE MUESTREO (FECHA y HORA):	10-03-2022 00:00	10-03-2022 00:00	10-03-2022 00:00	10-03-2022 00:00			
FIN DE MUESTREO (FECHA y HORA):	10-03-2022	10-03-2022	10-03-2022	10-03-2022			
ENSAYO	UNIDAD	L.D.M.	L.C.M.	RESULTADOS			
Carbono Orgánico Total (**)	%	0,04	0,10	54,4	53,9	53,9	55,3
Humedad Gravimétrica (**)	%	0,1	0,2	90,4	80,6	89,3	80,9
Preparación Muestras Vegetales (**)	no unidad	NA	NA	FINALIZADO	FINALIZADO	FINALIZADO	FINALIZADO

(**) El Ensayo indicado no ha sido acreditado

L.C.M.: Límite de cuantificación del método, "<"= Menor que el L.C.M.

L.D.M.: Límite de detección del método, "<"= Menor que el L.D.M.

*.: No ensayado

NA: No Aplica

INFORME DE ENSAYO N°: IE-22-4478

ITEM	9	10	11	12			
CÓDIGO DE LABORATORIO:	M-22-13524	M-22-13525	M-22-13526	M-22-13527			
CÓDIGO DEL CLIENTE:	PASTOS B-3	PASTOS B-4	PASTOS B-5	PASTOS B-6			
COORDENADAS:	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA			
UTM WGS 84:	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA			
PRODUCTO:	MATERIAL VEGETAL						
INSTRUCTIVO DE MUESTREO:	NO APLICA						
INICIO DE MUESTREO (FECHA y HORA):	10-03-2022 00:00	10-03-2022 00:00	10-03-2022 00:00	10-03-2022 00:00			
FIN DE MUESTREO (FECHA y HORA):	10-03-2022	10-03-2022	10-03-2022	10-03-2022			
ENSAYO	UNIDAD	L.D.M.	L.C.M.	RESULTADOS			
Carbono Orgánico Total (**)	%	0,04	0,10	53,4	54,8	54,8	54,4
Humedad Gravimétrica (**)	%	0,1	0,2	86,3	81,1	91,4	87,5
Preparación Muestras Vegetales (**)	no unidad	NA	NA	FINALIZADO	FINALIZADO	FINALIZADO	FINALIZADO

(**) El Ensayo indicado no ha sido acreditado

L.C.M.: Límite de cuantificación del método, "<"= Menor que el L.C.M.

L.D.M.: Límite de detección del método, "<"= Menor que el L.D.M.

"-": No ensayado

NA: No Aplica

INFORME DE ENSAYO N°: IE-22-4478

ITEM	13	14	15	16			
CÓDIGO DE LABORATORIO:	M-22-13528	M-22-13529	M-22-13530	M-22-13531			
CÓDIGO DEL CLIENTE:	PASTOS C-1	PASTOS C-2	PASTOS C-3	PASTOS C-4			
COORDENADAS:	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA			
UTM WGS 84:	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA			
PRODUCTO:	MATERIAL VEGETAL						
INSTRUCTIVO DE MUESTREO:	NO APLICA						
INICIO DE MUESTREO (FECHA y HORA):	10-03-2022 00:00	10-03-2022 00:00	10-03-2022 00:00	10-03-2022 00:00			
FIN DE MUESTREO (FECHA y HORA):	10-03-2022	10-03-2022	10-03-2022	10-03-2022			
ENSAYO	UNIDAD	L.D.M.	L.C.M.	RESULTADOS			
Carbono Orgánico Total (**)	%	0,04	0,10	54,2	52,5	54,1	54,3
Humedad Gravimétrica (**)	%	0,1	0,2	83,1	77,2	81,9	84,4
Preparación Muestras Vegetales (**)	no unidad	NA	NA	FINALIZADO	FINALIZADO	FINALIZADO	FINALIZADO

(**) El Ensayo indicado no ha sido acreditado

L.C.M.: Límite de cuantificación del método, "<"= Menor que el L.C.M.

L.D.M.: Límite de detección del método, "<"= Menor que el L.D.M.

"-": No ensayado

NA: No Aplica

INFORME DE ENSAYO N°: IE-22-4478

ITEM	17	18			
CÓDIGO DE LABORATORIO:	M-22-13532	M-22-13533			
CÓDIGO DEL CLIENTE:	PASTOS C-5	PASTOS C-6			
COORDENADAS:	NO APLICA	NO APLICA			
UTM WGS 84:	NO APLICA	NO APLICA			
PRODUCTO:	MATERIAL VEGETAL				
INSTRUCTIVO DE MUESTREO:	NO APLICA				
INICIO DE MUESTREO (FECHA y HORA):	10-03-2022 00:00	10-03-2022 00:00			
FIN DE MUESTREO (FECHA y HORA):	10-03-2022	10-03-2022			
ENSAYO	UNIDAD	L.D.M.	L.C.M.	RESULTADOS	
Carbono Orgánico Total (**)	%	0,04	0,10	53,7	53,0
Humedad Gravimétrica (**)	%	0,1	0,2	88,1	86,7
Preparación Muestras Vegetales (**)	no unidad	NA	NA	FINALIZADO	FINALIZADO

(**) El Ensayo indicado no ha sido acreditado

L.C.M.: Límite de cuantificación del método, "<"= Menor que el L.C.M.

L.D.M.: Límite de detección del método, "<"= Menor que el L.D.M.

"*": No ensayado

NA: No Aplica

V. OBSERVACIONES

Los resultados se aplican a la muestra cómo se recibió.

"FIN DE DOCUMENTO"

ANEXO 9. Panel fotográfico.



Figura 8. Vista panorámica del ecosistema de bofedal “A” en época de estiaje.



Figura 9. Vista panorámica del ecosistema de bofedal “B” en época de estiaje.



Figura 10. Vista panorámica del ecosistema de bofedal “B” en época de lluvias.



Figura 11. Vista panorámica del ecosistema de bofedal “C” en época de estiaje.



Figura 12. Vista panorámica del ecosistema de bofedal "C" en época de lluvias.



Figura 13. Tomando muestra de aguas superficiales.



Figura 14. Tomando muestra de aguas superficiales en el bofedal "C".



Figura 15. Tomando muestra de suelo en el bofedal "B".



Figura 16. Tomando muestra de suelo en el ecosistema de bofedal "A".



Figura 17. Perfil del suelo del ecosistema de bofedal "A".



Figura 18. Perfil del suelo del ecosistema de bofedal "B".



Figura 19. Perfil del suelo del ecosistema de bofedal "C".



Figura 20. Aplicando método de transecto en línea con anillo censador, para conteo de especies predominantes en época de estiaje.



Figura 21. Aplicando método de transecto en línea con anillo censador, para conteo de especies predominantes en época de lluvias.



Figura 22. Haciendo corte de la biomasa forrajera con tijera para esquilar ovinos.



Figura 23. Muestras de biomasa aérea en el laboratorio de suelos y aguas de la facultad de ciencias agrarias en la UNA-Puno.



Figura 24. Haciendo pesaje de muestras de biomasa aérea en el laboratorio de suelos y aguas de la facultad de ciencias agrarias en la UNA-Puno.

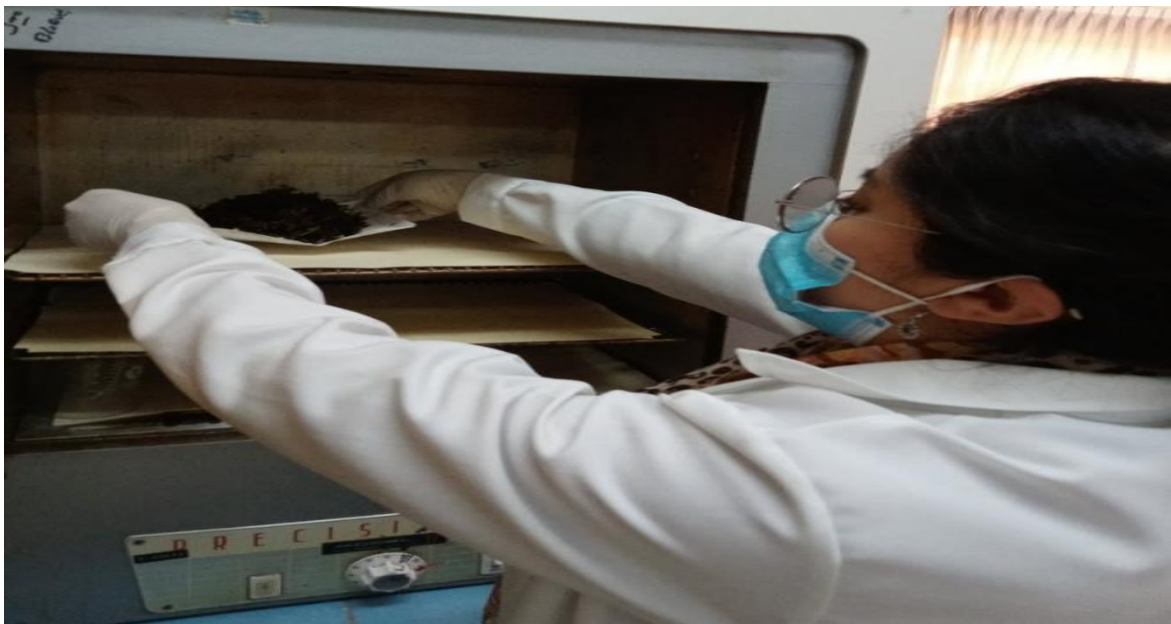


Figura 25. Colocando en la mufla las muestras de biomasa aérea en el laboratorio de suelos y aguas de la facultad de ciencias agrarias en la UNA-Puno.