

UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL



INFORME DE TESIS
“EVALUACIÓN DEL SERVICIO AMBIENTAL DE CAPTURA DE
CARBONO DE LOS BOFEDALES DEL CENTRO POBLADO ALTO
PERÚ, TACNA”

PARA OPTAR:
TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO AMBIENTAL

PRESENTADO POR:
Bach. Diego Abel Sequeiros Abarca

TACNA – PERÚ

2020

UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA

FACULTAD DE INGENIERÍA

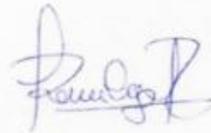
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

Tesis

“EVALUACIÓN DEL SERVICIO AMBIENTAL DE CAPTURA DE CARBONO DE LOS BOFEDALES DEL CENTRO POBLADO ALTO PERÚ, TACNA”

Tesis sustentada y aprobada el 06 de Agosto del 2020; estando el jurado calificador integrado por:

PRESIDENTE:



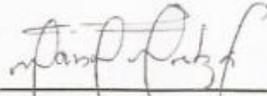
Dr. Richard Sabino Lazo Ramos

SECRETARIO:



Mtro. Milagros Herrera Rejas

VOCAL :



M.Sc Marisol Mendoza Aquino

ASESOR :



M.Sc. José Cazorla Galdos

DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD

Yo, **DIEGO ABEL SEQUEIROS ABARCA**, en calidad de: **BACHILLER** de la Escuela Profesional de **INGENIERÍA AMBIENTAL** de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Privada de Tacna, identificado con DNI 73219311.

Declaro bajo juramento que:

1. Soy autor de la tesis titulada:

“EVALUACIÓN DEL SERVICIO AMBIENTAL DE CAPTURA DE CARBONO DE LOS BOFEDALES DEL CENTRO POBLADO ALTO PERÚ, TACNA”, la misma que presento para optar:

TITULO PROFESIONAL DE INGENIERO AMBIENTAL

2. La tesis no ha sido plagiada ni total ni parcialmente, para lo cual se han respetado las normas internacionales de las citas y referencias para las fuentes consultadas.
3. La tesis presentada no atenta contra derecho de terceros.
4. La tesis no ha sido publicada ni presentada anteriormente para obtener algún grado académico previo o título profesional.
5. Los datos presentados en los resultados son reales, no han sido falsificados, ni duplicados, ni copiados.

Por lo expuesto, mediante la presente, asumo frente a LA UNIVERSIDAD cualquier responsabilidad que pudiera derivarse por la autoría, originalidad y veracidad del contenido de la tesis, así como por los derechos sobre la obra y/o intervención presentada. En consecuencia, me hago responsable frente a LA UNIVERSIDAD y a terceros, de cualquier daño que pudiera ocasionar, por el incumplimiento de lo declarado o que pudiera encontrar

como causa del trabajo presentado, asumiendo todas las cargas pecuniarias que pudieran derivarse de ello en favor de terceros con motivo de acciones, reclamaciones o conflictos derivados del incumplimiento de lo declarado o las que se encontrasen causa en el contenido de la tesis, libro y/o intento.

De identificarse fraude, piratería, plagio, falsificación o que en el trabajo de investigación haya sido publicado anteriormente; asumo las consecuencias y sanciones que de mi acción se deriven, sometiéndome a la normatividad vigente de la Universidad Privada de Tacna.

Lugar y Fecha: TACNA, 12 DE ABRIL DEL 2018

Firma:



Nombres y Apellidos: Diego Abel Sequeiros Abarca

DNI: 73219311

DEDICATORIA

A mis padres quienes a lo largo de mi vida han velado por mi bienestar y educación siendo mi apoyo en todo momento, a mis amigos por el apoyo brindado durante todo este tiempo.

AGRADECIMIENTO

A los docentes de la Universidad Privada de Tacna, por transmitirnos sus conocimientos y experiencia.

- Al Blgo. Oswaldo Cazorla, mi asesor, por su tiempo y dedicación brindada en el desarrollo de la formulación de la tesis.

- Al mis compañeros de la universidad, por su tiempo y apoyo en la ejecución de la tesis.

ÍNDICE GENERAL

CAPÍTULO I	9
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	9
1.1. Descripción del problema	9
1.2. Formulación del problema	10
1.2.1. Pregunta General	10
1.2.2. Preguntas específicas	10
1.3. Justificación e importancia de la investigación.....	10
1.4. Objetivos	11
1.4.1. Objetivo General.....	11
1.4.2. Objetivos Específicos	11
1.5. Hipótesis.....	11
1.5.1. Hipótesis general.....	11
1.5.2. Hipótesis específicas.....	11
CAPÍTULO II	12
MARCO TEÓRICO	12
2.1. Antecedentes del estudio	12
2.2. Bases teóricas	16
2.2.1. Efecto invernadero y cambio climático.....	16
2.2.2. Carbono y su interacción ambiental.....	18
2.2.3. Ecosistemas de humedales y bofedales	19
2.2.4. Servicios ambientales.....	22
2.2.5. Captura de carbono en los humedales y bofedales	23
2.3. Definición de términos	24
CAPÍTULO III	27
MARCO METODOLÓGICO	27
3.1. Tipo y diseño de la investigación	27
3.2. Población y/o muestra de estudio	27
3.3. Operacionalización de variables	28
3.4. Técnicas e instrumentos para la recolección de datos.....	28
3.4.1. Identificación del área de estudio	28
3.4.2. Condiciones climáticas	30
3.4.3. Delimitación del área de estudio.....	32
3.5. Procesamiento y análisis de datos.....	35
3.5.1. Localización y Descripción del área de estudio.....	35
3.5.2. Determinación de las reservas de carbono.....	37

3.5.3. Método de la determinación de fracción de carbono.....	39
3.6. Materiales y/o instrumentos	41
3.6.1. Trabajo en campo.....	41
3.6.2. Trabajo en laboratorio – gabinete	42
3.7. Tratamiento de datos y análisis estadístico	42
CAPÍTULO IV	43
RESULTADOS	43
4.1. Resultado de fracción de carbono	43
4.1.1. Fracción de carbono en la cobertura vegetal	43
4.1.2. Fracción de carbono en la turba/necromasa.....	44
4.1.3. Fracción de carbono en el suelo orgánico	45
4.2. Resultados del carbono total almacenado por tipo de muestra.....	48
4.2.1. Carbono total en la cobertura vegetal	48
4.2.2. Carbono total almacenado en la turba/necromasa.....	49
4.2.3. Carbono total almacenado en el suelo orgánico	50
4.3. Carbono total almacenado en los bofedales de Alto Perú.....	51
4.3.1. Evaluación de dióxido de carbono fijado.....	54
4.4. Análisis estadístico	54
CAPÍTULO V	59
DISCUSIÓN	59
5.1. Fracción de carbono.....	59
5.1.1. Fracción de carbono en la cobertura vegetal	59
5.1.2. Fracción de carbono en la turba necromasa.....	60
5.1.3. Fracción de carbono en el suelo orgánico	61
5.2. Carbono total almacenado por tipo de muestra	62
5.2.1. Carbono total almacenado en la cobertura vegetal.....	62
5.2.2. Carbono total almacenado en la turba necromasa.....	63
5.2.3. Carbono total almacenado en el suelo orgánico	64
5.3. Carbono total almacenado en los bofedales de Alto Perú.....	65
5.3.1. Dióxido de carbono fijado	65
CONCLUSIONES	67
RECOMENDACIONES	68
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	69
ANEXOS	74
ANEXO 01 TABLAS DE RESULTADOS	75
ANEXO 02 FICHA DE ESPECIES MUESTREADAS – <i>DISTICHIA MUSCOIDES</i>	83
ANEXO 03 FICHA DE ESPECIES MUESTREADAS – <i>OXYCHLOE ANDINA</i>	84

ANEXO 04 FICHAS DE MUESTREO DE CAMPO	85
ANEXO 05 REGISTRO FOTOGRÁFICO	88
ANEXO 06 MAPAS DE LA ZONA DE ESTUDIO.....	95
ANEXO 07: MATRIZ DE CONSISTENCIA	97

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Principio del efecto invernadero	16
Figura 2. Causa y efectos del incremento de la temperatura a nivel mundial.....	17
Figura 3. Temperatura global y emisión de GEI.....	18
Figura 4. Captación del CO ₂ atmosférico en humedales	24
Figura 5. Mapa de ubicación del Centro Poblado Alto Perú	29
Figura 6. Precipitación anual – Estación Meteorológica Paucarani 2006-2013	30
Figura 7. Precipitación anual – Estación Meteorológica Paucarani 2015-2018	31
Figura 8. Delimitación del área de estudio - Zona 01: Índice de vegetación de diferencia normalizada, (izquierda)	34
Figura 9. Delimitación del área de estudio - Zona 02: Índice de vegetación de diferencia normalizada, (derecha).....	34
Figura 10. Parcelación mediante grillas de 100x100 m - Zona 01: (izquierda)	36
Figura 11. Parcelación mediante grillas de 100x100 m - Zona 02: (derecha).....	36
Figura 12. Gráfico de fracción de carbono por tipo de muestra.....	47
Figura 13. Gráfico de carbono orgánico total almacenado por tipo de muestra.....	52
Figura 14. Gráfico de carbono total almacenado en los bofedales de A.P.	53
Figura 15. Gráfico Quantil-Quantil (Q-Q) normales sin tendencia de TN C/HA para muestra de cobertura vegetal	56
Figura 16. Gráfico Quantil-Quantil (Q-Q) normales sin tendencia de TN C/HA para muestra de Turba/necromasa	57
Figura 17. Gráfico Quantil-Quantil (Q-Q) normales sin tendencia de TN C/HA para muestra de suelo orgánico.....	57
Figura 18. Identificación en campo de punto de muestreo	88
Figura 19. Corte de la cobertura vegetal con radio muestreador.....	88
Figura 20. Recolección de muestras en bolsas ziploc.....	89
Figura 21. Recolección de muestra de turba y suelo con barreno manual	89
Figura 22. Vista de zona seca del bofedal	90

Figura 23. Tratamiento para el traslado de las muestras	90
Figura 24. Pesaje y secado de muestras de suelo con estufa eléctrica	91
Figura 25. Se preparó bolsas de papel para el secado de muestras de cobertura vegetal.....	91
Figura 26. Separación manual de la turba del suelo	92
Figura 27. Pesaje de muestras secas para determinación de fracción de carbono por el método de Walkley y Black	92
Figura 28. Se preparó la oxidación de la muestra con dicromato de potasio.....	93
Figura 29. Se oxidó con dicromato de potasio y ácido sulfúrico	93
Figura 30. Se agregó agua destilada y se tituló con sulfato ferroso amoniacal	94
Figura 31. Viraje a color verde oscuro – fin de titulación	94

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Diferencias entre los niveles de las turberas - Acrotelmo y Catotelmo	20
Tabla 2. Operacionalidad de las variables	28
Tabla 3. Precipitación de la Estación Meteorológica Paucarani 2006-2013	31
Tabla 4. Precipitación de la Estación Meteorológica de Paucarani 2015 - 2018	32
Tabla 5. Landsat 8 - Distribución de bandas	33
Tabla 6. Fracción de carbono en la cobertura vegetal	43
Tabla 7. Fracción de carbono en la turba/necromasa	44
Tabla 8. Fracción de carbono en el suelo	45
Tabla 9. Resumen de fracción de carbono en la biomasa herbácea aérea.....	46
Tabla 10. Resumen de fracción de carbono en la turba/necromasa	46
Tabla 11. Resumen de la fracción de carbono en el suelo orgánico	47
Tabla 12. Carbono total en la cobertura vegetal	48
Tabla 13. Carbono total en turba/necromasa	49
Tabla 14. Carbono total en el suelo orgánico.....	50
Tabla 15. Resumen del carbono total en la cobertura vegetal	51
Tabla 16. Resumen del carbono total en la turba/necromasa	51
Tabla 17. Resumen del carbono total en el suelo orgánico.....	52
Tabla 18. Carbono total almacenado en los bofedales de Alto Perú	53
Tabla 19. Resumen del procesamiento de los casos	54

Tabla 20. Datos descriptivos.....	55
Tabla 21. Pruebas de normalidad.....	56
Tabla 22. Análisis de varianza en Toneladas de Carbono por hectárea.....	58
Tabla 23. Comparaciones múltiples – variable dependiente: Toneladas de carbono por Ha.....	58
Tabla 24. Punto de muestreo de zona de estudio 01 – húmeda	75
Tabla 25. Punto de muestreo de zona de estudio 01 – seco.....	75
Tabla 26. Punto de muestreo de zona de estudio 02 – húmeda	76
Tabla 27. Punto de muestreo de zona de estudio 02 – seco.....	76
Tabla 28. Fracción de carbono en la cobertura vegetal	77
Tabla 29. Fracción de carbono en la turba necromasa	78
Tabla 30. Fracción de carbono en el suelo orgánico.....	79
Tabla 31. Carbono total en la cobertura vegetal	80
Tabla 32. Carbono total almacenado en la turba necromasa	81
Tabla 33. Carbono total almacenado en el suelo orgánico.....	82

RESUMEN

El presente trabajo de investigación de la evaluación del servicio ambiental de captura de carbono fue realizado en el Centro Poblado Alto Perú, Región de Tacna durante los meses de septiembre a diciembre del 2019. El trabajo empezó con una primera fase de gabinete, la cual consistió en recopilar toda la información posible del área de estudio, incluyendo la descarga de imágenes del satélite Landsat 8, con el fin de calcular el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) y así dividir el área de estudio según el estado de conservación de la cobertura vegetal. Durante la segunda fase del estudio se procedió a realizar la recolección de las muestras en campo, siguiendo la metodología del Centro Mundial Agroforestal (2009) recolectando 03 tipos de muestras denominadas como cobertura vegetal, turba/necromasa y suelo orgánico con el fin de calcular el carbono orgánico total para cada tipo de muestra. La fase final de laboratorio sirvió para la determinación de la fracción de carbono y la densidad aparente del suelo, cuyos datos fueron utilizados para el stock de carbono total. Como resultados tenemos 157.18 Tn C/Ha, de esta manera queda demostrado el alto potencial que tienen los bofedales como aporte al servicio ambiental de captura de carbono; y siendo necesario implementar y reforzar los programas ya existentes de conservación de dichos ecosistemas.

PALABRAS CLAVE: Bofedales altoandinos, Carbono total, Servicio ambiental.

ABSTRACT

The present research work on the evaluation of the carbon sequestration environmental service was carried out in the Centro Poblado Alto Peru, Tacna Region, during the months of September to December 2019. The work began with a first cabinet phase, which it consisted of collecting all possible information from the study area, including the download of images from the Landsat 8 satellite, in order to calculate the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) and thus divide the study area according to the conservation status of plant cover. During the second phase of the study, the samples were collected in the field, following the methodology of the World Agroforestry Center (2009) collecting 03 types of samples called aerial herbaceous biomass, underground biomass and organic soil in order to calculate the total organic carbon for each type of sample. The final laboratory phase was used to determine the carbon fraction and the apparent density of the soil, whose data was used for the total carbon stock. As results we have 157.18 TnC/Ha, this demonstrates the high potential of bofedales as a contribution to the environmental carbon sequestration service; and it is necessary to implement and strengthen the existing conservation programs for these ecosystems.

KEYWORDS: Total carbon, Environmental service, high Andean bofedales.

INTRODUCCIÓN

Los humedales altoandinos, también llamados bofedales, son ecosistemas con áreas inundadas permanente o temporalmente sobre suelos con características edáficas que permiten el almacenamiento de agua (Suárez et al., 2016). Dichos ecosistemas se ubican por encima de los 4200 m.s.n.m en depresiones de las planicies altoandinas (ACRVM ,2012).

El aumento en las actividades humanas trajo consigo un incremento en las concentraciones de los gases de efecto invernadero en la atmósfera siendo dióxido de carbono (CO₂) encontrado en mayor proporción. Los servicios ambientales o también denominados servicios ecosistémicos regulatorios, se caracterizan porque generalmente no llevan un valor monetario, traen consigo un aporte a la regulación del clima, y se identifican como el almacenamiento del carbono atmosférico gracias a los procesos fotosintéticos de la cobertura vegetal.

Los bofedales son ecosistemas, cuya contribución a la captura del CO₂ atmosférico es generalmente elevada, debido a encontrarse en climas fríos con baja tasa de descomposición. Cabe resaltar, que dicho balance entre la descomposición de la materia orgánica y la captura del CO₂ nos indicaría si el bofedal funcionaría como sumidero o generador de CO₂, siendo la principal variable el estado de conservación del bofedal (Arellano et al., 2013). Por ello, es necesario generar conocimientos sobre los servicios ambientales que brindan dichos ecosistemas, para así incrementar su valor ante la toma de decisiones por parte de las autoridades.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Descripción del problema

Los bofedales son formaciones vegetativas ubicadas en las zonas altoandinas que generalmente ocupan terrenos inmediatos a lagunas o aguas de corriente lenta, en ellas el suelo está saturado en agua estacional o permanentemente, en estos sitios semipantanosos se desarrolla una vegetación hidrófila siempre verde. (Flores et al., 2005).

Dichos ecosistemas, son esenciales para la adaptación de muchas comunidades humanas al cambio climático y también, particularmente sensibles a este fenómeno (Franco et al., 2012), además, los bofedales prestan diversos servicios ecosistémicos; se consideran sistemas claves en las dinámicas del ciclo del carbono a nivel global. Esto se debe a que son importantes sumideros de carbono, presentan altas tasas de emisión de metano (CH₄) y un alto potencial de secuestro de CO₂ mediante la formación de turberas, deposición de sedimentos, y en la producción de biomasa de las plantas (Arellano et al., 2013).

El centro poblado de Alto Perú, se encuentra ubicado en el sitio de protección prioritario denominado Alto Perú – Tripartito. Los cuales son claves para la conservación de especies y ecosistemas frágiles. El principal problema que afecta los bofedales del Centro Poblado de Alto Perú es que no cuentan con un eficiente tratamiento de aguas residuales domésticas, cuyos efluentes son vertidos a los cuerpos de agua, ubicados en los bofedales circundantes a dicho centro poblado, ocasionando así un desbalance por el incremento de nutrientes y alterándose así los niveles tróficos.

Con lo planteado anteriormente, es necesario generar nuevos conocimientos que nos permitan valorar los servicios ecosistémicos que nos brindan las diferentes formaciones vegetales, como son los bofedales, para así facilitar la toma de decisiones sobre la conservación y uso eficiente de los recursos.

1.2. Formulación del problema

1.2.1. Pregunta General

- ¿Cuál será el aporte a la cantidad de carbono que brindan los bofedales del Centro Poblado Alto Perú como servicio ambiental?

1.2.2. Preguntas específicas

- ¿Cuál será la fracción de carbono de la cobertura vegetal, turba y el suelo orgánico de los bofedales del Centro Poblado Alto Perú?
- ¿Cuánto será el carbono total almacenado en los bofedales del Centro Poblado Alto Perú?

1.3. Justificación e importancia de la investigación

La convención Ramsar afirma que los humedales están entre los ecosistemas más diversos, productivos y frágiles del mundo, proporcionando así diferentes servicios ambientales como productivos y regulatorios.

Los servicios ambientales de regulación son funciones no consuntivas, tales como regulación de la calidad del aire, secuestro de carbono, moderación de eventos climáticos, reciclaje de nutrientes, entre otros (Rojas et al., 2016). El incremento de los gases de efecto invernadero como el CO₂, provoca una retención de calor en la atmósfera, cuyo fenómeno climatológico se le denomina como calentamiento global, este incremento de temperatura ocasiona cambios en el clima a nivel global.

Como se planteó anteriormente, los bofedales son considerados fundamentales para la regulación del ciclo del carbono, cumpliendo la función de sumideros naturales para la mitigación del cambio climático, el cual representa un peligro para los ecosistemas y la supervivencia del hombre. Es por ello, la importancia de conocer la cantidad de carbono que se almacena en los diferentes ecosistemas, como reguladores del ciclo del carbono en la tierra (Hernández, 2010).

Actualmente, los bofedales de las zonas altoandinas, incluyendo los del Centro Poblado Alto Perú vienen siendo amenazados por actividades antrópicas como el sobrepastoreo, descenso de niveles de agua ocasionados por los proyectos

de transvase hídrico y otras amenazas como los efectos del cambio climático, desertificación, retroceso glaciar y variaciones extremas en patrones de precipitación.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo General

- Estimar el carbono capturado como parte del servicio ambiental de regulación en los bofedales del Centro Poblado Alto Perú.

1.4.2. Objetivos Específicos

- Determinar la fracción de carbono presente en la cobertura vegetal, turba/necromasa y el suelo orgánico de los bofedales del Centro Poblado Alto Perú.
- Estimar cuantitativamente el carbono total almacenado en los bofedales del Centro Poblado Alto Perú.

1.5. Hipótesis

1.5.1. Hipótesis general

- El carbono almacenado en los bofedales del Centro Poblado Alto Perú contribuye de forma significativa como servicio ambiental presente en el sitio de protección prioritario Alto Perú Tripartito.

1.5.2. Hipótesis específicas

- La fracción de carbono de la cobertura vegetal, turba y suelo orgánico nos brinda datos para estimar el carbono total almacenado en los bofedales del Centro Poblado Alto Perú.
- La cantidad de carbono total almacenado nos permitirá estimar el servicio ambiental de regulación en los bofedales del Centro Poblado Alto Perú.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes del estudio

A nivel internacional

En el artículo de investigación “Los Manglares de Tabasco, una reserva natural de Carbono”, donde se planteó que los suelos orgánicos de los manglares promedios de descomposición son bajos, a cambio de un alto potencial de almacenamiento de carbono. En dicho estudio se cuantificó la reserva de carbono orgánico en la vegetación de mangle (*Rhizophora mangle* L. y *Laguncularia racemosa* (L.) Gaertn) en la parte oeste el estado de Tabasco, México, encontrándose que el contenido de carbono fluctúa entre 47 kg/C m² y 82 kg C/m², lo cual refleja el gran potencial que tienen dichos ecosistemas (Moreno et al., 2002).

En la investigación “Análisis de carbono secuestrado en humedales altoandinos de dos áreas protegidas del Ecuador”, nos menciona que los humedales son considerados globalmente importantes para almacenar carbono por su alta productividad en plantas y bajo índice de descomposición de materia orgánica que ocurren en suelos inundados. Durante el estudio, a través del muestreo sistemático se analizó 03 bofedales de cada área natural protegida, donde se concluyó que los bofedales en buen estado de conservación tienen mayor contenido de carbono, el drenado, quemadas y pastoreo provocan la liberación de CO₂, por lo que la conservación de los humedales es un punto crítico en la regulación del ciclo de carbono en la tierra (Suárez et al., 2016).

A nivel nacional

En la tesis de post grado denominado “Estimación del servicio ambiental de captura del CO₂ en la flora de los humedales de Puerto Viejo”, cuyo estudio se estimó el potencial de captura de CO₂ en 04 especies predominantes, siendo la “grama salada” *Paspalum vaginatum* Swartz, la “Salicornia” *Salicornia fruticosa* Linneo y la especie de valor artesanal como la “tatora” *Schoenoplectus*

californicus, y el “junco” *Scirpus americanus*. Para el desarrollo de esta investigación se siguieron los lineamientos del ICRAF, sobre la determinación de reservas de carbono y los resultados de la fracción de carbono se obtuvieron gracias al método de “Walkley y Black”, dando como resultado que la “totora” es la especie con mayor índice de captura de CO₂ 73.7 t CO₂/ha, seguido del junco con 40.6 t CO₂/ha.

En el artículo denominado “Almacenamiento de carbono en especies predominantes de flora en el lago Chinchaycocha (Junín)”, cuyo estudio se realizó en 03 ecosistemas representativos dentro del humedal, los cuales son los totorales (*Schoenoplectus Californicus Var, Totora y Juncos articus*), pajonales (*Deyeuxia recta Kunth*) y los bofedales (*Plantago tubulosa, Eleocharis albibracteata y Limosella australis*). Donde se concluye que el ecosistema predominante en almacenamiento de carbono es el totoral, seguido del pajonal y por último el bofedal, en cuanto al suelo, este se considera el mayor sumidero de carbono (Medrano et al., 2012).

En la tesis de titulación de pregrado denominado “Almacenamiento de carbono en los humedales altoandinos del centro poblado Chalhuanca, Caylloma – Arequipa”, en cuyo estudio se establecieron 30 puntos de muestreo de forma aleatoria por medio del QGIS 2.68, donde las tomas de muestras se recolectaron por un muestreador tipo corer, recolectándose así biomasa aérea, radicular y suelo orgánico y mineral el contenido de carbono se estimó por el método del Walkey y Black. Se concluye que el carbono total almacenado en los bofedales de Chalhua es de 795 415.65 T/CO₂ para 882.54 Ha. Y se concluye que la mayor fracción de carbono se haya en la biomasa aérea (49.11%), seguido de suelo orgánico (43.05%), biomasa bajo el suelo o radicular (42.53%) y suelo mineral (1.99%) (Alvis, 2017).

En la tesis de titulación de pregrado denominado “Marco conceptual y metodológico para estimar el estado de salud de bofedales de alta montaña”, donde se plantea que para estimar el estado de salud de dichos ecosistemas se basa en 03 atributos; integridad biótica, función hidrológica y estabilidad del sistema, cada uno con sus respectivos indicadores. Se consideran tres estados de salud; saludable, saludable con problemas de manejo y no saludable y un esquema basado en el valor de los indicadores de vegetación, suelo y agua. Con dicho análisis se concluyó que la metodología de evaluación de los estados de

salud refleja el estado de la estructura y el nivel en que se encuentran las funciones ecológicas básicas como productividad, ciclo hidrológico, biodiversidad y estabilidad del sistema ecológico (Calvo, 2016).

En la investigación “Cuantificación de la captura de CO₂ por flora nativa de totora en un humedal costero en Perú” se cuantificó la captura de CO₂ por la flora nativa de totora (*Schoenoplectus californicus*) en los humedales de Villa María, sobre la costa del Pacífico en Perú, Donde se delimitó el área representativa ocupada por esta especie para evitar zonas heterogéneas y se cuadrículó la zona trazando líneas que atravesasen toda el área, donde se realizaron muestreos aleatorios de 1 m² de la parte aérea y de la raíz de la biomasa. De dicha investigación se obtuvo un valor de contenido de dióxido de carbono capturado por totora (partes aéreas y raíz) de 84.05 T CO₂/ha comprobándose que, entre otros importantes servicios al medio ambiente y al ser humano (Pérez et al., 2015).

En la tesis de titulación de pregrado denominado “Evaluación del potencial almacenamiento de carbono en la especie *Stipa ichu* (ichu) en la microcuenca Chaclatacana – Huancavelica”, cuyo objetivo fue evaluar el potencial servicio ambiental de almacenamiento de carbono en la especie *Stipa ichu* en la microcuenca antes mencionada. Para obtener los resultados se estratificó la microcuenca en 03 sectores y se usó el método destructivo para obtener la producción de la biomasa verde, por medio de la metodología de “Walkley y Black” se obtuvo los resultados de la fracción de carbono y se usó un modelo matico tipo exponencial para determinar el almacenamiento de carbono total. Los resultados fueron que el almacenamiento de carbono promedio fue de 8.670 tnC/Ha y en todo el área de estudio fue de 3 549.07 tnC (Rivera, 2018).

A nivel local

En la tesis de titulación de pregrado denominado “Evaluación de pastizales naturales de los humedales altoandinos en época de lluvia de la Provincia de Candarave – Departamento de Tacna”, cuyo objetivo es determinar la composición y la cobertura vegetal; y la composición de la biomasa fresca y seca; donde se utilizó el “Método de transecto al paso”. Con dicha evaluación se concluye que para una superficie total de 3470.68 Ha, se cuenta con una producción materia verde de 1858.43 kg/ha/M.V. y una producción de materia seca de 577.34 kg/ha/M.S; mientras que la capacidad de carga promedio es de

2.78 UAL/ha/año en materia verde, y 4.31 UAL/ha/año en materia seca, y la soportabilidad de los humedales es de 9 641.27 UAL/año para materia verde y de 14 953.51 UAL/año para materia seca (Alvarado, 2012).

En la tesis de titulación de pregrado denominado “Cuantificación de la captura de carbono de la especie forestal *Haplorhus peruviana* carzo como servicio ambiental en el Valle de Cinto provincia de Jorge Basadre, Región Tacna”, donde se realizó un inventario forestal mediante la recopilación de datos dasométricos y estimación del carbono almacenado en dicha especie, para lograr ese objetivo se utilizó el método no destructivo indirecto. Se determinó que el bosque relicto de carzo posee un stock de 4.5244 T C/ha. Y se concluye que es necesario implementar proyectos, programas, políticas de conservación y gestión sostenible en el Valle de Cinto, y en un futuro acceder a los mecanismos de retribución por servicios ecosistémicos (Pumasupa, 2018).

En la investigación “Evaluación y soportabilidad de los bofedales de la cuenca del Uchusuma, zona altoandina de Tacna”, cuyo objetivo fue evaluar la cobertura y la composición vegetal, la producción de biomasa de los bofedales altoandinos de Tacna, donde se utilizó el método de "transección al paso"; y para el censo agrostológico se empleó el muestreador de "Estructuras de puntos". Dando como resultado un 58.82% de cobertura vegetal y 41.18% sin valor forrajero, con una composición botánica de 36 especies vegetales y una producción de biomasa húmeda de 885.80 kg/M.H/Ha y biomasa seca de 279.23 kg/M.S./Ha (Hurtado, 2006).

En la tesis de titulación de pregrado denominado “Estado actual, diversidad florística y capacidad de carga del bofedal de Ancomarca del distrito de Palca, departamento de Tacna - Perú”, para la evaluación de campo se utilizó el método de puntos de contacto de goodal, durante los meses de agosto del 2011 a enero del 2012, se obtuvo una composición de 30 especies, con una cobertura vegetal de 55.92% y 44.08% sin valor forrajero. Además la producción de materia verde fue de 397.897 kg/ha/M.V. Y una producción de materia seca de 156.413 kg/ha/M.S., con una capacidad de carga animal promedio de 0.37 UAL/ha/año (Mamani, 2015).

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Efecto invernadero y cambio climático

El efecto Invernadero, se refiere a un mecanismo por el cual la atmósfera de la Tierra se calienta, este mecanismo que ha existido desde que la Tierra tiene atmósfera (Caballero et al., 2007). La atmósfera está compuesta casi enteramente de nitrógeno (en una relación de mezcla volumétrica de 78.1%) y oxígeno (20.9%), más una serie de oligogases como el argón (0.93%), el helio y gases de efecto invernadero como el dióxido de carbono (0.035%) y el ozono. Los gases de efecto invernadero (GEI) son los componentes gaseosos de la atmósfera, tanto de origen naturales como antropogénicos, que absorben y emiten radiación en determinadas longitudes de onda del espectro de radiación infrarroja emitido por la superficie de la Tierra, la atmósfera y las nubes (Benavides et al., 2007).



Figura 1. Principio del efecto invernadero

Fuente: (Benavides et al., 2007)

Los cambios en la concentración atmosférica de los GEI y aerosoles, en la radiación solar y en las propiedades superficiales del suelo afectan la absorción, dispersión y emisión de la radiación dentro de la atmósfera y en la superficie de la Tierra. Los resultados positivos o negativos en el balance energético son expresados como forzamiento radiativo, el cual es usado para

comparar la influencia del calentamiento o el enfriamiento sobre el sistema climático.

El cambio climático se define como una modificación identificable y persistente del estado del clima por variabilidad natural o por efecto de la actividad humana. En la actualidad, se viene usando este término para referirse al acelerado calentamiento que se viene produciendo en la superficie terrestre, como resultado de una mayor acumulación de GEI (Vargas, 2009).

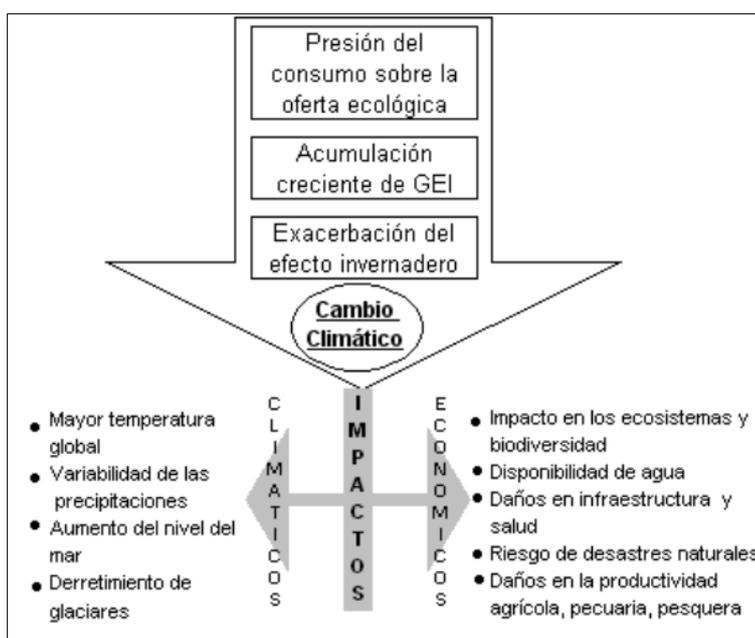


Figura 2. Causa y efectos del incremento de la temperatura a nivel mundial

Fuente: (Vargas, 2009)

Como se aprecia en la figura 02, los impactos del cambio climático varían desde el incremento de la temperatura, variabilidad en las precipitaciones, aumento del nivel del mar y derretimiento de glaciares. Resaltando los 02 primeros para mantener adecuados niveles de productividad de materia orgánica en los humedales (Arellano et al ., 2013), cuyos índices de productividad están intrínsecamente relacionados con un incremento en la vigorosidad de la cobertura vegetal y por ende, mejores índices en tasas de captura de carbono atmosférico.

En su investigación, Vargas (2009) menciona que para medir un incremento de los GEI y su relación con el cambio climático es necesario determinar el déficit ecológico, el cual viene a ser la diferencia entre la huella ecológica (presión antrópica sobre el medio) y la capacidad de resiliencia de la Tierra, cuyo cálculo se expresa en hectáreas globales, medida que estandariza la cantidad y rendimiento de las hectáreas según el tipo de paisaje y procedencia. Vargas (2007), menciona que consistentemente con la evolución de la concentración de GEI, el proceso de calentamiento global se ha acelerado en décadas recientes: la temperatura promedio 2000-2007 creció en 0.34°C respecto a la década 1980-1989; mientras que esta última creció en 0.19°C respecto a la década 1960-1969. Así, con lo que va del siglo XXI (2000-2007) la temperatura promedio global se ha elevado en 0.65°C respecto a la temperatura de la primera mitad del siglo pasado (1900-1949).

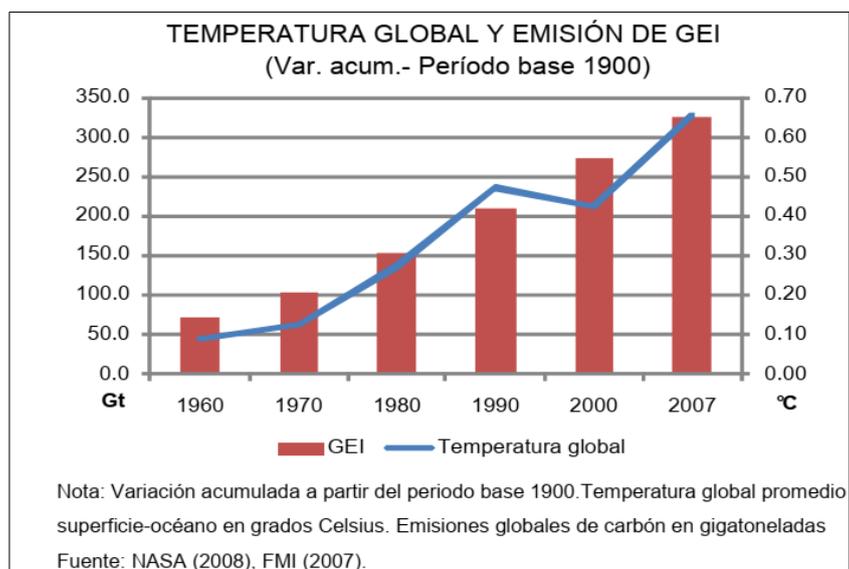


Figura 3. Temperatura global y emisión de GEI

Fuente: (Vargas, 2009)

2.2.2. Carbono y su interacción ambiental

El carbono (C) es un elemento fundamental de los compuestos orgánicos, en los que se combina con nitrógeno, fósforo, azufre, oxígeno e hidrógeno para constituir las moléculas más importantes para la vida. El carbono, en su unión molecular con el oxígeno, constituye el dióxido de carbono (CO_2), gas resultante de procesos tanto geoquímicos como biológicos, el cual es

fundamental en la regulación de la temperatura del planeta debido a sus propiedades como gas de efecto invernadero (Martínez et al., 2004).

El dióxido de carbono es uno de los gases más comunes e importantes en el sistema atmósfera-océano-Tierra, está asociado a las actividades humanas y es considerado el segundo gas más importante en el calentamiento global, después del vapor de agua (Benavides & León, 2007). De los gases de efecto invernadero, el que se emite en mayor cantidad a nivel mundial, por actividades humanas, es el CO₂, el cual se dispersa homogéneamente desde su fuente de generación, en toda la atmósfera. Se estima que más del 80% de la emisión mundial de gases de efecto invernadero está presentado por CO₂, generado en un 75% por la producción y consumo de combustibles fósiles (Chaparro et al., 1998).

2.2.3. Ecosistemas de humedales y bofedales

El Ministerio del Ambiente, define como humedales, a las extensiones o superficies cubiertas o saturadas de agua, bajo un régimen hídrico natural o artificial, permanente o temporal, dulce, salobre y que albergan comunidades biológicas características, que proveen servicios ecosistémicos (MINAM, 2015).

Considerando a los bofedales como humedales propios de las regiones altoandinas ubicados en general por encima de los 3 500 m.s.n.m. (MINAM, 2015), de acuerdo a la Autoridad Nacional del Agua se tienen una extensión estimada de 549 156 ha de bofedales correspondiente al 6.91% del total de los humedales, distribuidos en la zona altoandina del Perú.

Los bofedales también se definen como ecosistemas con áreas inundadas o seminundadas sobre suelos impermeables que atrapan el agua. Estas características edáficas especiales de los humedales, permite que crezca una rica vegetación en forma de almohadillas y, usualmente existe, materia vegetal muerta, que se transforma en turba (Suárez et al., 2016).

Según el Plan Maestro del ACRVM (2012), los bofedales son humedales ubicados en depresiones de las planicies altoandinas, sobre los 4200 msnm;

con suelos hidromórficos, es decir saturados de agua, que a su vez cuenta con vegetación hidrófila y semihidrófila con pequeños espejos de agua.

Una forma que usan los investigadores para diferenciar los ecosistemas con bases botánicas y aspectos relevantes como los humedales (turberas), son con términos denominadas “fen” (minerotrófico) cuya principal fuente el agua proviene de esorrentías, sean superficiales o subterráneas; cargada de minerales y “bog” (ombrotrofico) donde la principal fuente de agua es de origen atmosférico, es decir mediante precipitación, caracterizadas por ser ácidas y pobres en nutrientes (Acero et al., 2016).

La estratificación de las turberas minerotróficas en base al nivel del agua y al contenido de nutrientes presentes, que describe Blanco et al., (2004) se da en 02 niveles: acrotelmo (nivel superior de la turbera) y catotelmo (nivel inferior de la turbera), el cual tiene diferentes características:

Tabla 1.

Diferencias entre los niveles de las turberas - Acrotelmo y Catotelmo

Acrotelmo	Catotelmo
Activo intercambio de humedad con la atmósfera y el área periférica.	Contenido de humedad constante en el tiempo, o sujeto a muy pequeñas modificaciones.
Frecuentes fluctuaciones del nivel de agua libre y variabilidad del contenido de humedad.	Muy reducido intercambio de flujo con el estrato mineral subyacente y con la periferia.
Elevada conductividad hidráulica, la cual decrece rápidamente con la profundidad.	Muy baja conductividad hidráulica, órdenes de magnitud 3 a 5 veces inferiores al acrotelmo.
Acceso de aire a los poros en forma periódica al descender el nivel del agua.	No hay acceso de oxígeno atmosférico a los poros.
Presencia de una cubierta de vegetales vivos en nivel superficial. Bacterias aeróbicas y microorganismos que facilitan la descomposición y transformación de la vegetación.	Ausencia de componentes vegetales vivos. No hay microorganismos aeróbicos. Otros microorganismos se presentan en una cantidad muy reducida en comparación con el acrotelmo.
Espesor inferior a 1 m	Espesores frecuentemente superiores a 1 m
Humificación baja (H1-H3)	Humificación media - elevada (H4-H10).

Fuente: (Blanco et al., 2004)

Según Pietro et al.,(2001) existen diferentes aspectos que hacen de los bofedales importantes, los cuales son:

Sociocultural, debido a las bajas temperaturas presentes en las zonas altoandinas y diversas condiciones adversidad para la agricultura, la presencia de bofedales hasta hoy, logró que se desarrollara una cultura dependiente de la crianza ganadera, específicamente de camélidos sudamericanos, esta cultura que aún persiste debe ser revalorizada para una planificación consciente y racional del manejo y uso de bofedales.

Económica, los bofedales producen forraje que es el motivo de la producción de ganado camélido, esta ganadería genera una actividad económica única posible en estos medio ambientes, importante a través de la producción de carne, lana, cueros, estiércol, reproductores, exportación de animales vivos, etc.

Además, los bofedales son considerados pastizales naturales de gran valor forrajero. Su elevada humedad edáfica permite una alta productividad de hierbas y gramíneas, elevando su valor palatable. Como *Distichia muscoides*, *Scirpus sp*, *Alchemila pinnata*, *Weneria pygmaea*, *Rannunculus sp*.

Ecológico, al ser los bofedales ecosistemas clave en un medio con severas limitaciones climáticas y edáficas para la producción agrícola, constituyen hábitats y nichos para numerosas especies de fauna y flora nativa, tienen una influencia definitiva en el microclima local, atemperando los rigores de la sequedad en invierno. Para la fauna variada del altiplano, donde se encuentra especies endémicas con valor ecológico, representan fuente de agua y alimento, para lograr la supervivencia, así muchas especies de aves, utilizan los bofedales y bordes de lagunas como microhábitat y/o lugares de protección y alimentación; son ecosistemas frágiles en su desarrollo y permanencia.

Geopolítico, de no existir la relación bofedal – camélidos, estas zonas inhóspitas serían deshabitadas perdiéndose la presencia humana y no habría soberanía.

Hidrológica, el agua acumulada en un bofedal durante la época húmeda, está disponible en los períodos secos, en especial cuando se trata de bofedales drenados y/o canalizados; en este caso, juega un rol importante en la regulación del régimen hidrológico de los cursos de agua.

Por otro lado, en bofedales donde hay un elevado flujo del agua, permite el desarrollo de especies piscícolas, el cual se caracteriza por la crianza de truchas para el consumo y/o comercio. Los climas con bajos niveles de temperaturas favorecen a la crianza de estas truchas, ya que se encuentran adaptadas así, a climas fríos, favoreciendo el desarrollo de una actividad económica secundaria como es la de crianza de camélidos.

Las especies vegetales predominantes de los bofedales dan formación de almohadones como la tiña (*Distichia muscoides*), paco (*Oxychloe andina*), *Plantago rigida* y plantas acuáticas como *Hypsela reniformis*, *Ranunculus limoselloides*, *Alchemilla diplophylla*, *Myriophyllum elatinoides* y *Elodea potamogeton* (ACRVM, 2012).

2.2.4. Servicios ambientales

De acuerdo al Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas (SERNANP) los servicios ecosistémicos, también conocidos como servicios ambientales, son los beneficios que la gente obtiene de los ecosistemas (ya sean ecológicos, sociales o económicos); estos se dividen en servicios de base, que son los necesarios para los demás servicios como, suministro, regulación y culturales (Mena et al, 2016).

Los servicio de base: Son aquellos procesos ecosistémicos y estructurales que son necesarias para que se den los otros servicios ecosistémicos, y los beneficios que la gente obtiene por este tipo de servicio se dan de manera indirecta y en un largo periodo de tiempo, como por ejemplo la formación de suelos, producción de forraje, ciclo hidrológico, etc.

Los servicios de regulación: Son las diferentes funciones llevadas a cabo por los ecosistemas, que por lo general no conllevan un valor monetario, estos

servicios incluyen el almacenamiento de carbono, control de precipitaciones, deslizamiento y escorrentía, eliminación de contaminantes, entre otros.

Servicio de Suministro: Es el servicio de provisión de los productos o bienes de beneficio directo para las personas, el cual se puede obtener un valor monetario, tal como la provisión de madera de los bosques, las plantas medicinales, peses, etc.

Servicios Culturales: Son aquellos que no sólo proporcionan beneficios materiales directos, sino que contribuyen a las necesidades más amplias de la sociedad como el desarrollo cognitivo, la reflexión y recreación. Ellos incluyen también el valor espiritual unido a determinados ecosistemas, tales como los bosques sagrados, y la belleza estética de los paisajes o formaciones que atraen el turismo (Mena et al, 2016).

2.2.5. Captura de carbono en los humedales y bofedales

El servicio ambiental de captura de carbono en humedales, se realiza en su mayoría, a través de las plantas que fijan el dióxido de carbono (CO_2) de la atmósfera y lo convierten a carbono orgánico, a través del proceso de fotosíntesis, también conocido como producción primaria; a dicha producción primaria se le resta las tasas de descomposición de la materia orgánica. Dicho balance determina si el humedal en cuestión funciona como fuente de generación de gases de efecto invernadero o trampa de C, (figura 01). Se han reportado productividades de 0.432 Mg C/ha/año para diferentes humedales. Además, se menciona que la acumulación de C en los humedales se realiza en 2 compartimentos principales; la biomasa vegetal y los suelos. (Hernández, 2010).

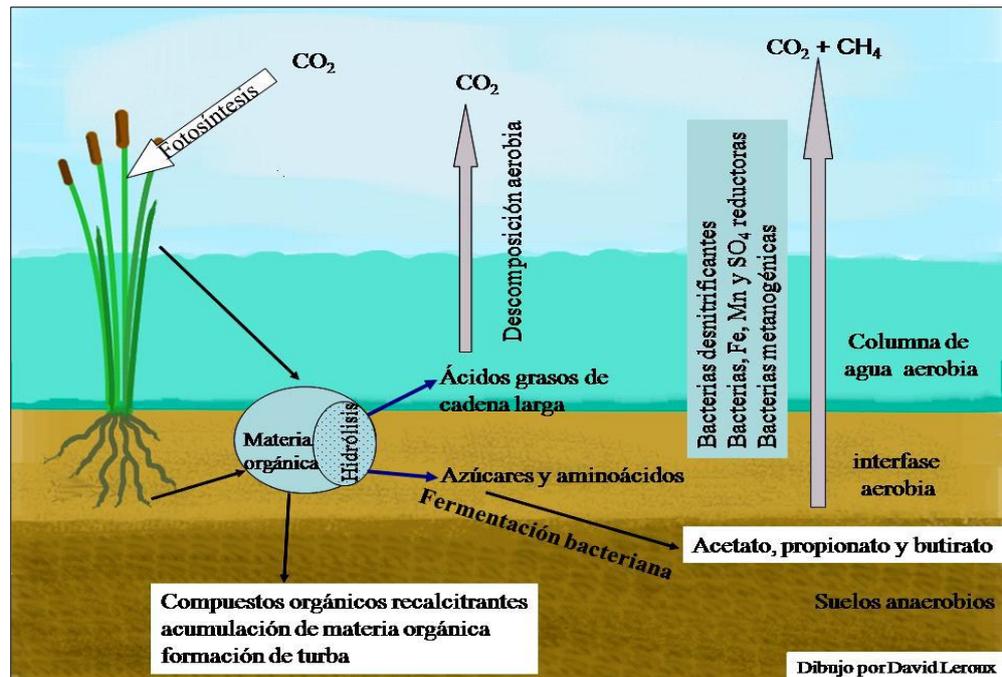


Figura 4. Captación del CO_2 atmosférico en humedales

Fuente: (Hernández, 2010).

Las estimaciones de stocks, captura y emisión de carbono desde humedales son muy variables, ya que dependen de una serie de factores como la topografía, la posición fisiográfica del humedal, el régimen hidrológico, la temperatura y humedad del suelo, el microclima, el pH, salinidad y el tipo de vegetación dominante (condicionan la productividad y la composición química de la materia orgánica del sistema). Sin embargo, hay un cierto consenso en que los humedales, como ecosistemas, son eficientes acumuladores de grandes cantidades de materia orgánica en el suelo, sirviendo como sumideros de carbono (Arellano et al., 2013).

2.3. Definición de términos

Antropogénico

Son los efectos o procesos que son ocasionados por las diferentes actividades humanas que de otra manera no se darían en un medio por causas naturales.

Atmósfera

La atmósfera de la Tierra es una cobertura gaseosa compuesta principalmente por nitrógeno (N_2) y oxígeno (O_2) molecular, con pequeñas cantidades de otros gases, como vapor de agua (H_2O) y dióxido de carbono (CO_2) (Benavides et al ., 2007).

Biomasa

Según la Real Academia Española (RAE) se entiende como biomasa a la materia total de los seres que viven en un lugar determinado, expresado en peso por unidad de área o de volumen.

Hidrófilo

Según la RAE se entiende como hidrófilo a una sustancia que tiene afinidad por el agua, también se puede conocer como a los organismos que viven en ambientes húmedos o dentro del agua.

Oligogás

Según la RAE se entiende como oligogás, a los gases cuya concentración en la atmósfera es poca o insuficiente.

Palatable

Se entiende palatable como grato para alimento, por otro lado, en el contexto de esta investigación entendemos palatable como la vegetación cuyas propiedades físicas hacen que el ganado pueda lo pueda consumir.

Microhábitat

Se entiende como microhábitat a una parte de un ecosistema mayor, cuyas características biológicas son distintivas.

Régimen hidrológico

El régimen hidrológico del agua dulce es el modelo predominante del flujo de aguas en un periodo de tiempo. Específicamente, hace referencia a la duración de las épocas de inundaciones como resultado de la cantidad de agua que hay en superficie (agua de superficie), las precipitaciones y el flujo de las aguas subterráneas.

Resiliencia

Según la RAE, es la capacidad que tiene un ecosistema o un ser vivo, de adaptarse frente a un agente perturbador o situaciones adversas.

Sistema de información geográfica

Sistemas que permiten almacenar datos espaciales para su consulta, manipulación y representación.

Sumidero de carbono

Los sumideros almacenan carbono en compuestos orgánicos, que conforman la biomasa y la materia orgánica de los suelos, y constituyen una de las formas de mitigación del efecto invernadero (Martino, 2000).

Turba

La turba se define como suelo sin consolidar formado por materia vegetal fibrosa, parcialmente descompuesta que se acumula en un ambiente anegado (Hernández, 2010).

Reflectancia

Consiste en la capacidad de un cuerpo, en este caso de la cobertura vegetal para reflejar la luz. (Taboada et al., 2005)

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

3.1. Tipo y diseño de la investigación

Dado las características de la investigación corresponde a un tipo de investigación descriptivo.

Según las características de la investigación corresponde a nivel aprehensivo, porque los objetivos buscan analizar una variable.

3.2. Población y/o muestra de estudio

La población es identificada como los bofedales del Centro Poblado Alto Perú, contando con un área aproximada de 254.39 ha.

En cuanto a la muestra se identifica como la cobertura vegetal, turba/necromasa y el suelo, según López (2015). Entre la cobertura vegetal se encuentran las especies antes mencionadas de flora representativa de los bofedales del sur del Perú; *Distichia muscoides*, *Oxychloe andina* y *Aciachne pulvinata*. Por otra parte, según el Plan Maestro del ACRVM (2012) entre las especies almohadilladas predominantes, se encuentran; *Distichia muscoides*, *Oxychloe andina* y *Plantago rigida*. Para las muestras bajo la cobertura, está se divide entre la capa inicial raíz y/o necromasa a 10cm de profundidad desde la superficie y el suelo orgánico; mayor a 30 cm de profundidad.

3.3. Operacionalización de variables

Tabla 2.

Operacionalidad de las variables

Variable	Definición conceptual	Dimensión	Indicadores
Fracción de carbono en la cobertura vegetal y el suelo.	Porcentaje de carbono almacenado en tejidos de la biomasa a través de procesos fotosintéticos y almacenados en el suelo resultado del proceso de descomposición de biomasa.	Concentración en materia vegetal y suelo	% Carbono en la biomasa herbácea aérea
			% Carbono en el suelo orgánico
Carbono total almacenado en el área de estudio	Servicio ambiental de almacenamiento de carbono total almacenado en los bofedales del Centro Poblado Alto Perú	Concentración en la biomasa total	Carbono total expresado en tC / ha

Fuente: Elaboración propia

3.4. Técnicas e instrumentos para la recolección de datos

3.4.1. Identificación del área de estudio

El estudio se llevó a cabo en los bofedales del Centro Poblado Alto Perú, distrito de Palca, provincia de Tacna, que a su vez se localiza en el departamento de Tacna.

Para poder acceder a la zona de estudio, se usó la carretera Tacna – Collpa – La Paz, una vez llegado al sector de paso de los vientos la carretera asfaltada se convierte de trocha hasta alcanzar el Centro Poblado, Alto Perú que se encuentra en las coordenadas UTM: 4230772 este y 8055920 sur a aproximadamente 4200 m.s.n.m.

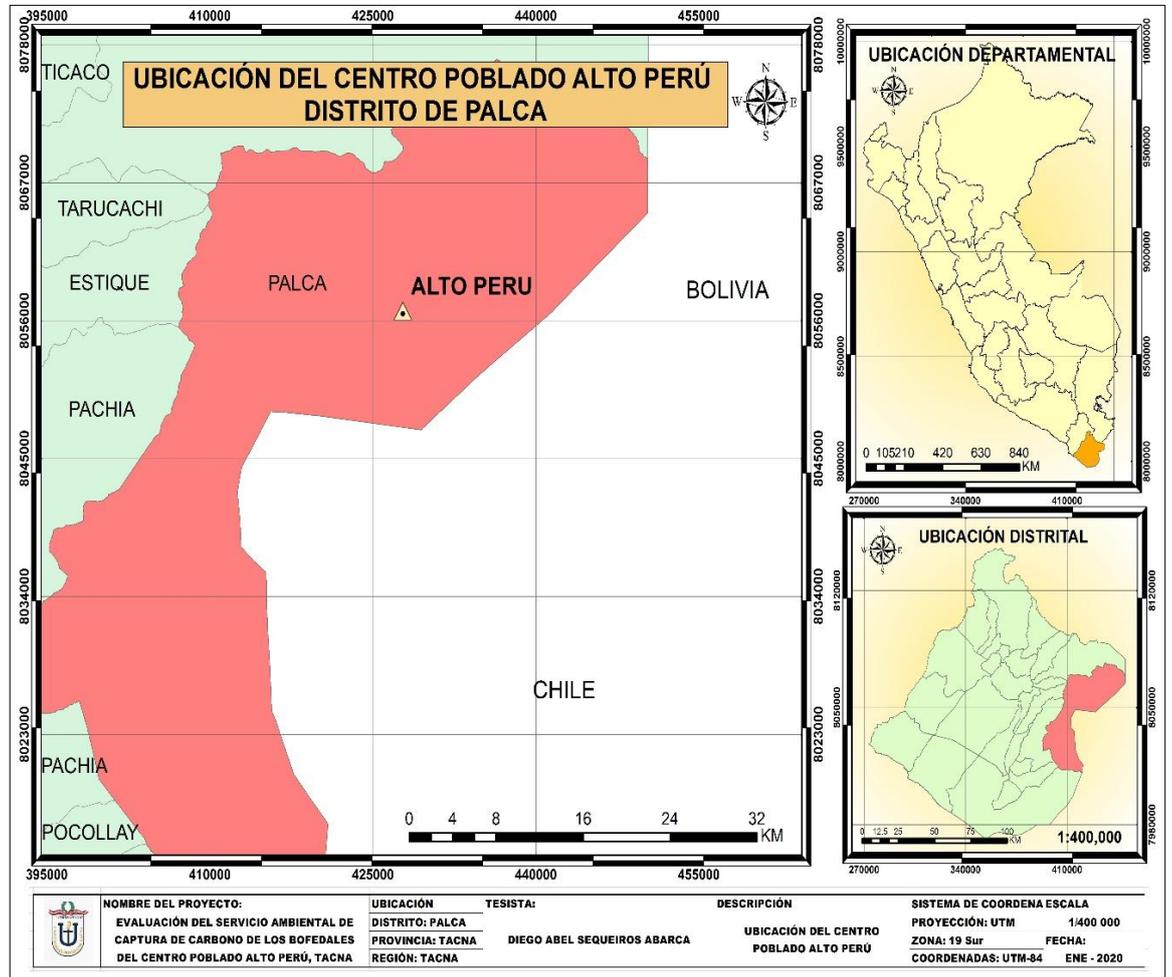


Figura 5. Mapa de ubicación del Centro Poblado Alto Perú

Fuente: Elaboración propia

3.4.2. Condiciones climáticas

El clima es frío, con variación de temperatura entre el día y la noche con vientos helados y nevadas en épocas húmedas. De acuerdo a los datos con control de calidad del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI) – Estación Meteorológica Pucarani desde el año 2006 al 2013, cuenta con una temperatura anual que fluctúa entre -9°C y 13°C y cuenta con un promedio de precipitación anual de 352.93 mm, con ocurrencia de temperaturas de congelación diarias.

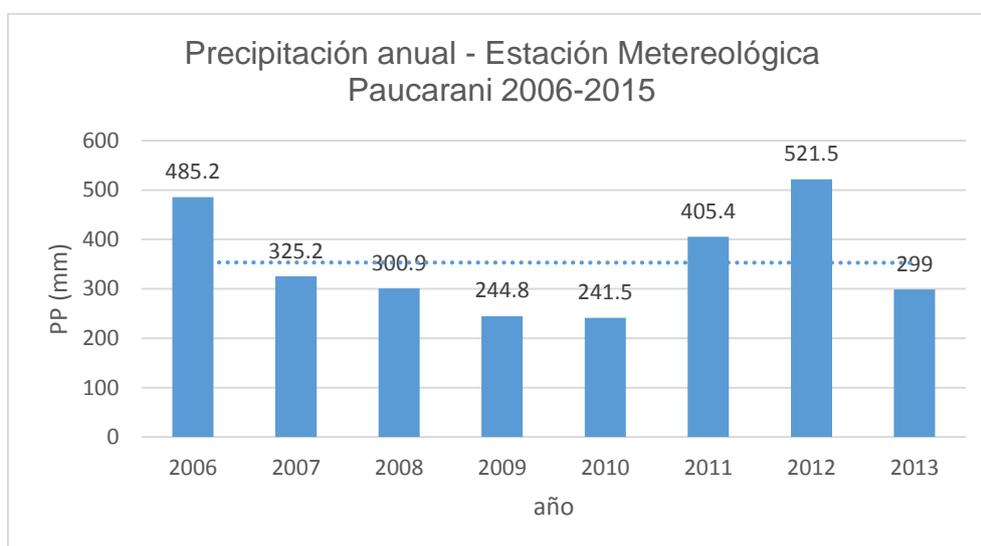


Figura 6. Precipitación anual – Estación Meteorológica Pucarani 2006-2013

Fuente: SENAMHI (2006-2013)

En la figura 6 se puede observar la variación en la precipitación anual desde el 2006 al 2013, viendo dicha variación se puede entender que entre los años con mayor precipitación se dan en el 2006 y el 2012. Mientras que en los años 2009 y 2010 se observan bajos niveles de precipitación, significando así en temporadas de estrés hídrico, y años con menor capacidad de la cobertura vegetal para la retención de carbono.

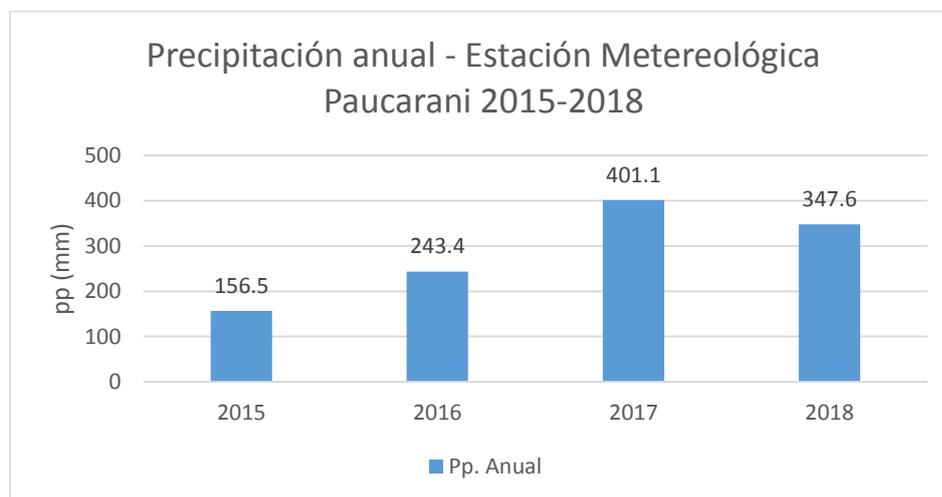
Tabla 3.

Precipitación de la Estación Meteorológica Paucarani 2006-2013

AÑO/MES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
2006	125.9	110	142.9	22.5	0	0	0	0	0	30.5	19.8	33.6
2007	97.5	101.4	72.2	4.5	0	0	0	0	0	1.4	13.1	35.1
2008	137	38.5	58.4	0	0	0	0	4.8	0	2.3	0	59.9
2009	24.4	103.1	45.7	18.4	0	0	0.6	0	0	1.7	24.2	26.7
2010	65.7	82.2	31.5	7.1	2.8	0	0	0	0.7	5.8	0.4	45.3
2011	90.6	101.8	21.4	32.5	21.3	0	1.7	0	1.2	0	9.3	125.6
2012	165	169.9	31.4	49.6	0	0	0	0	1.3	15.2	0	89.1
2013	114.5	58.6	44.6	0	3.7	13.2	1.1	3.5	0	4.4	0	55.4

Fuente: SENAMHI (2006-2013)

En la tabla 3, se puede observar la variación en la precipitación anual y mensual desde el 2006 al 2013, viendo dicha variación se puede entender que entre los meses de octubre a marzo se presentan los periodos con mayores índices de precipitación, conocido como los meses húmedos, mientras que los meses de abril a septiembre, los niveles bajan incluso hasta no registrarse dato alguno, conociéndose así como los meses secos.

**Figura 7.** Precipitación anual – Estación Meteorológica Paucarani 2015-2018

Fuente: SENAMHI (2006-2013)

En la figura 7, se puede observar la variación en la precipitación anual desde el 2015 al 2018, viendo dicha variación se puede observar que el año con mayor precipitación se da en el 2017. Mientras que en el año 2015 se observan bajos niveles de precipitación, cabe mencionar que los datos del año 2014 en adelante aún no cuentan con el control de calidad del SENAMHI.

Tabla 4.

Precipitación de la Estación Meteorológica de Paucarani 2015 - 2018

AÑO/MES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
2015			111.3	39.7	0	0	0	0.2	0	2.2	3.1	0
2016	27.8	168.1	1.7	9.8	4.9	0	8.7	0	0	2.5	1.6	18.3
2017	154.5	81	92	4.5	2.3	0	0	0	0	1.1	12.1	53.6
2018	82.3	143.3	38.1	13.2	0.4	19.3	19.3	0	0	10.2	2	19.5

Fuente: SENAMHI (2015-2018)

Haciendo relación entre los datos de la tabla 3, se observa que los datos de la tabla 4, los meses húmedos aún se mantienen entre octubre a marzo y los meses secos entre abril a septiembre.

Por otra parte el 2019, año donde se realizó este estudio, para la estación meteorológica de Paucarani se presenta una precipitación anual de 363 mm, siendo este año ligeramente mayor de la media anual de 352.94 mm.

De acuerdo a éstas características meteorológicas y al piso altitudinal donde se encuentra la zona de estudio, se puede interpretar que se encuentra en la zona de vida de Holdridge de Páramo seco (1987).

3.4.3. Delimitación del área de estudio

Para la ubicación y delimitación del área de estudio se calculó mediante el uso del sistema de información geográfica ArcGis versión 10.3, donde se delimitó el área (población), correspondientes a zonas representativas de los bofedales del Centro Poblado Alto Perú, para este fin se descargaron imágenes satelitales Landsat 8, las cuales se usaron las franjas 4 de infrarrojo visible y 5 de infrarrojo cercano, para determinar el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) con la siguiente fórmula:

$$NDVI = \frac{(NIR - VIS)}{(NIR + VIS)}$$

Fórmula 01: Determinación del Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada
Fuente: (Rügnitz et al., 2009)

Donde

- NDVI : Índice de vegetación de diferencia normalizada.
NIR : Reflectancia de banda 5, infrarrojo cercano.
VIS : Reflectancia de banda 4, infrarrojo visible.

Tabla 5. Landsat 8 - Distribución de bandas

Banda	Ancho (um)	Resolución (m)
Band 1 Coastal	0.43-0.45	30
Band 2 Blue	0.45-0.51	30
Band 3 Green	0.53-0.59	30
Band 4 Red	0.64-0.67	30
Band 5 NIR	0.86-0.88	30
Band 6 SWIR1	1.57-1.65	30
Band 7 SWIR2	2.11-2.29	30
Band 8 Pan	0.50-0.68	15
Band 9 Cirrus	1.36-1.38	30
Band 10 TIRS1	10.6-11.19	100
Band 11 TIRS2	11.5-12.51	100

Fuente: (Ariza, 2013)

De los resultados del NDVI, se establecieron 04 categorías de cobertura; zonas saturadas, zonas húmedas, zonas secas y suelo desnudo (López, 2015), las cuales fueron convertidas a polígonos para obtener los porcentajes correspondientes a cada área. Los bofedales del Centro poblado Alto Perú, al ser un bofedal longitudinal, se dividió en 02 zonas para una mejor interpretación.

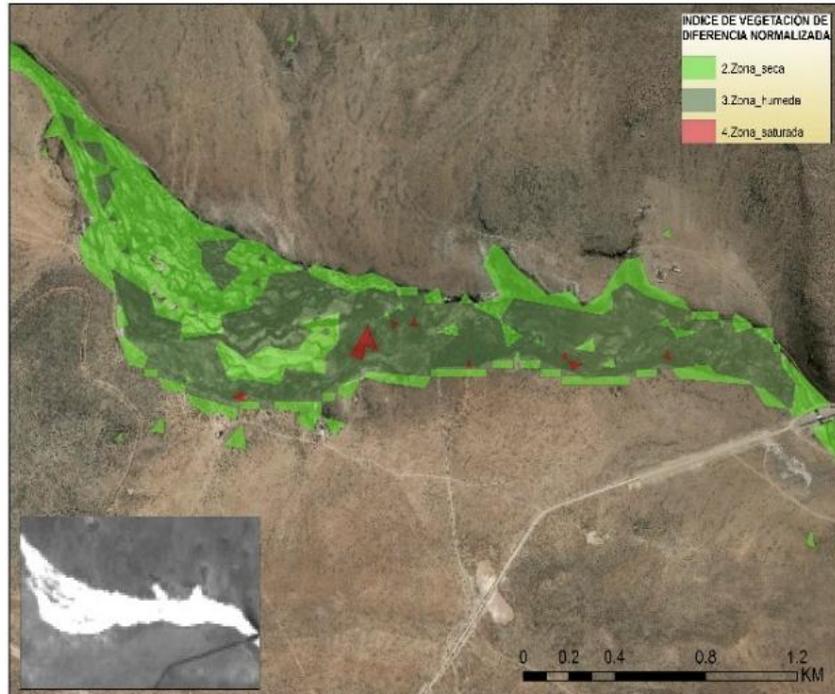


Figura 8. Delimitación del área de estudio - Zona 01: Índice de vegetación de diferencia normalizada, (izquierda)

Fuente: Elaboración propia

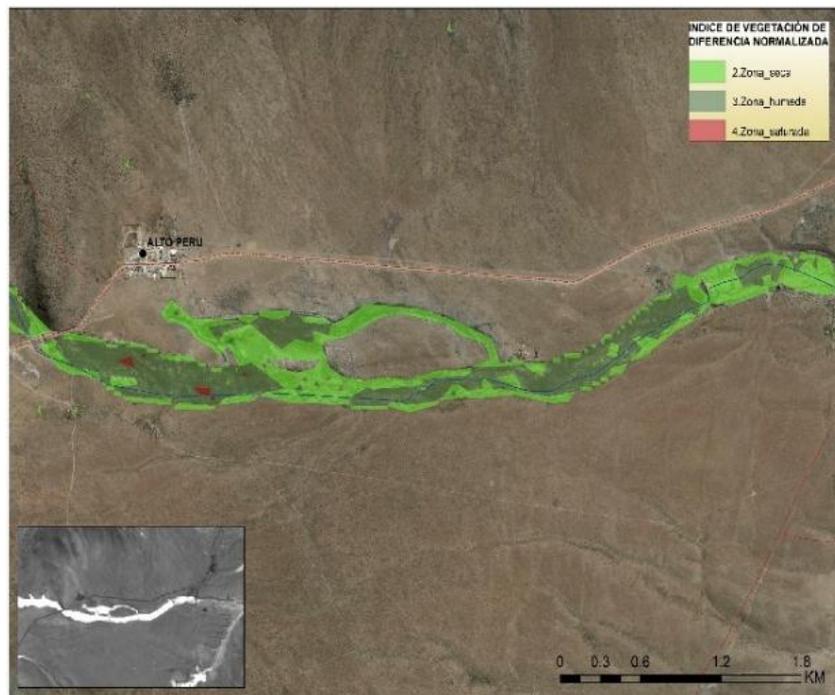


Figura 9. Delimitación del área de estudio - Zona 02: Índice de vegetación de diferencia normalizada, (derecha)

Fuente: Elaboración propia

3.5. Procesamiento y análisis de datos

3.5.1. Localización y Descripción del área de estudio

Determinación del número de muestras

Para el número de muestras se consideró las investigaciones de Palomino et al., (2007) el cual menciona un número mínimo de 05 muestras por especie, mientras que Alvis (2017), determinó un número de 30 muestras para un total de 882.54 ha. Para este estudio, se estimó un total de 15 puntos de muestreo, las cuales fueron distribuidas de la siguiente manera: 08 para la zona 01 del bofedal (representa el 60% del área de estudio) y 08 para la zona 02 del bofedal (representa el 40% restante), dando así un total de 15 muestras para las 254.39 ha.

Determinación de la distribución de las muestras

Según la Guía de Inventario de Flora y Vegetación del Ministerio del Ambiente (2015), para el muestreo de vegetación herbácea, cada parcela deberá estar distribuida con una equidistancia de por lo menos 100m de separación entre ellas. Para este caso se siguió la metodología planteada por Alvis (2017) y Rivera (2018), que mediante el uso del programa de ArcGis versión 10.3, se generaron grillas con dimensiones de 100 x 100m, las cuales se sectorizaron por parcelas cuadradas equivalentes a dichas dimensiones mediante la herramienta denominada “create fishnet”.

Para determinar la distribución de las muestras, se ubicó un punto céntrico en cada parcela generada en ArcGis, las cuales representan una posible unidad muestral, posteriormente mediante el programa MS Excel, se utilizó la función Aleatorio (Rivera, 2018), para determinar la ubicación de los 15 puntos en selección, los resultados fueron trasladados al mapa de ubicación y se determinó las coordenadas con la herramienta “Add XY Coordinates”; posteriormente se corrigió manualmente la ubicación de los puntos de muestreo para ubicar en sectores representativos del bofedal (zona húmeda y zona seca).

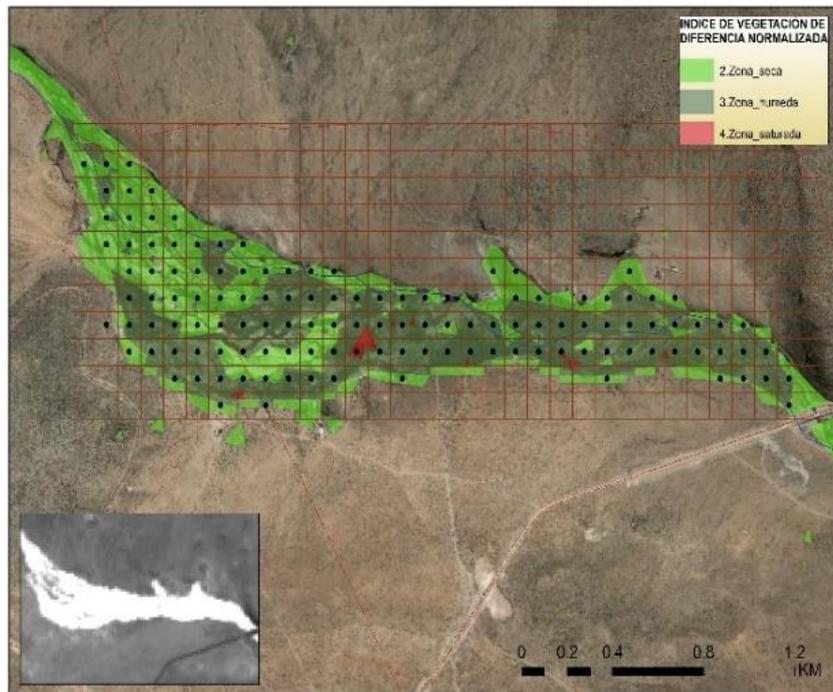


Figura 10. Parcelación mediante grillas de 100x100 m - Zona 01: (izquierda)

Fuente: Elaboración propia

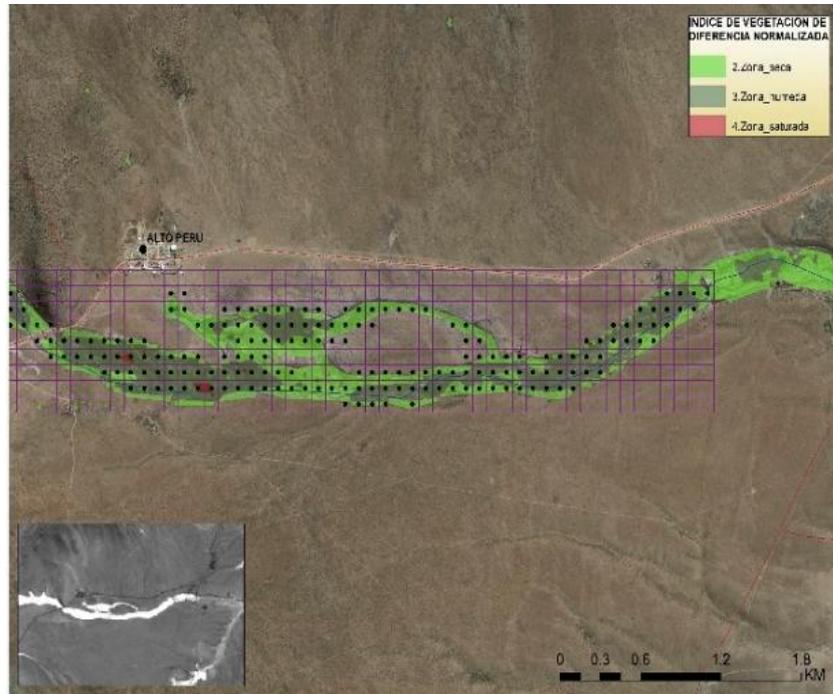


Figura 11. Parcelación mediante grillas de 100x100 m - Zona 02: (derecha)

Fuente: Elaboración propia

3.5.2. Determinación de las reservas de carbono

Una vez identificado el número y los puntos de muestreo, para determinar las reservas de carbono en los bofedales es necesario conocer el contenido de carbono acumulado en la cobertura vegetal, así como el carbono acumulado bajo el suelo (raíz, materia muerta y suelo orgánico). Por tal motivo es que se describe la metodología proporcionada por el Centro Internacional de Investigación Agroforestal (ICRAF) para vegetación herbácea.

Toma de muestra de la cobertura vegetal (parte aérea):

Las coordenadas de los puntos de muestreo fueron tomadas en campo con un equipo GPS Garmin 10x, para encontrar la ubicación de los puntos, previas correcciones por accesibilidad.

En cuanto a la metodología del muestreo, se aplicó el método descrito por Alvis (2017) y Cochi et al (2014), Mediante el uso de un radio muestreador de 10cm de diámetro; se ubicó en el punto céntrico de cada tepe y se extrajo la materia vegetal viva con ayuda de una navaja; teniendo en consideración evitar las zonas heterogéneas, las cuales son características predominante de la biomasa herbácea (Pérez et al., 2015).

Toma de muestra de la parte turba/necromasa:

En cuanto a la metodología usada para la extracción de muestras de turba/necromasa debajo de la cobertura vegetal, se consideró lo planteado por Palomino (2007). Las muestras de la biomasa bajo el suelo (raíz y necromasa) fueron extraídas a 10cm de profundidad, por debajo del radio muestreador ubicado en la parte aérea, mientras que, para las muestras de suelo, estas fueron extraídas a 30cm debajo de cada punto mediante el uso de un barreno manual. En laboratorio, las muestras fueron separadas manualmente, la parte radicular, necromasa y el suelo orgánico.

La guía metodológica del ICRAF, nos brinda las siguientes fórmulas para determinar la cantidad de carbono presente en la vegetación.

Paso 1. Cálculo de la cantidad de carbono en la cobertura vegetal y turba (raíz – necromasa)

$$CCBA = (PSM * \%C)\pi * r^2 * 100$$

$$CCBS = (PSM * \%C)\pi * r^2 * 100$$

Fórmula 02: Cálculo para determinar el carbono en la biomasa

Fuente: (Alvis, 2017)

Donde:

- CCBA: Contenido de carbono en biomasa aérea (g/ m²)
- CCBS: Contenido de carbono bajo el suelo (g/m²)
- PSM: Peso seco de la muestra (biomasa) (g).
- %C: Porcentaje de carbono determinado en laboratorio.
- r: Radio del muestreador

Paso 2. Cálculo de la cantidad de carbono del suelo

Para el cálculo de la cantidad de carbono del suelo orgánico es necesario un muestreador, cuyo volumen sea conocido (barreno) para aplicar las siguientes formulas.

$$V = \pi * r^2 * HBN$$

Fórmula 03: Cálculo para determinar el carbono en la muestra de suelo orgánico

Fuente: (Alvis, 2017)

Donde:

- V: Volumen de la muestra (suelo orgánico/ suelo mineral) (m³).
- r: Radio del muestreador (m)
- HBN: Altura de la muestra sólida o fracción de la muestra encontrada (suelo orgánico/ suelo mineral) (m).

Paso 3. Densidad aparente del suelo

$$DA = PSM/V$$

Fórmula 04: Cálculo para determinar la densidad aparente del suelo

Fuente: (Alvis, 2017)

Donde:

- DA: Densidad aparente (kg/ m³).
- PSM: Peso seco de la muestra (suelo orgánico/suelo mineral) (kg).
- V: Volumen de la muestra (suelo orgánico/suelo mineral) (m³).

Paso 4. Cálculo de las reservas de carbono almacenado en suelo

$$CCSO = (DA * HBN * \%C)/100$$

Fórmula 05: Cálculo para determinar el carbono en la biomasa bajo el suelo
Fuente: (Alvis, 2017)

Donde:

- DA: Densidad aparente (g/ m³).
- HBN: Altura de la muestra sólida (m).
- %C: Resultado del porcentaje o fracción de carbono determinado en laboratorio.
- Los resultados se presentan en g/ m², para la conversión a TC/ha resultado total dividido entre 100

Paso 5. Cantidad de carbono en la biomasa de la vegetación no arbórea

$$\Delta CBN \left(\frac{TC}{ha} \right) = (CCBA + CCBS + CCSO)$$

Fórmula 06: Cálculo para determinar el carbono en la biomasa de la vegetación
Fuente: (Rügnitz et al., 2009)

Donde:

- ΔCBN = Cantidad de carbono en la biomasa de vegetación no arbórea (t C/ ha).
- CCBA = Cantidad de carbono en la cobertura vegetal (t C/ ha).
- CCBS = Cantidad de carbono turba/necromasa (t C/ ha).
- CCSO = Cantidad de carbono en suelo orgánico (t C/ ha).

3.5.3. Método de la determinación de fracción de carbono

Existen 03 métodos para determinar la fracción de carbono presente en la materia orgánica del suelo y residuos orgánicos vegetales y animales en cualquier grado de descomposición.

Para el análisis de la materia orgánica en el suelo, se pueden utilizar métodos volumétricos, gravimétricos y colorimétricos. De los cuales, los más sencillos para su determinación son los que se basan en el consumo de un oxidante que actúa sobre el carbono, para posteriormente determinarlo por colorimetría o volumetría.

El método de Walkey y Black, nos indica que la materia orgánica es oxidada con una mezcla de K_2CrO_7 más H_2SO_4 . La dilución concentrada se calienta con H_2SO_4 y K_2CrO_7 y es la fuente exclusiva de calor. El exceso de K_2CrO_7 es determinado por titulación con $FeSO_4$ o con $(NH_4Fe)_2(SO_4)_3$. Este método, proporciona una estimación fácilmente oxidable de carbono orgánico y es usado como una medida de carbono orgánico total. El porcentaje de materia orgánica es igual al porcentaje de carbono orgánico, multiplicado por el factor de 1.724 porque la materia orgánica contiene el 58% de carbono (Palomino & Cabrera, 2007).

Procedimiento

- Tener las muestras en peso seco de las especies vegetales y muestras de suelo tamizadas con una malla de 2mm.
- Moler las muestras de vegetación mediante el uso de un molino.
- Pesar 0.2 g de muestra y llevar a un frasco de Erlenmeyer de 250 ml
- Agregar a las muestras 20 mL de solución Dicromato de potasio ($K_2Cr_2O_7$)2N.
- Posteriormente, agregar 10 ml de Ácido sulfúrico concentrado (H_2SO_4) concentrado, mezclar para homogeneizar la solución.
- Reposar las muestras de 2 a 3 horas.
- Enrasar a 100 ml con agua desionizada (previamente hacer un blanco).
- Titular con solución Sulfato ferroso Amoniacal 0.2N, agregando gotas de indicador Difenil amina sulfúrica 1% (3 gotas/20 mL).

Cálculo para la fracción de Carbono en suelo y % de Materia orgánica

$$\% MO = M * \frac{1.724 * 0.4 * Nsfa * (Vb - Vm)}{\text{Peso inicial de la muestra (g)}}$$

Sabiendo que:

$$Vb = \frac{V(K2Cr2O7) * Vsfa}{10}$$

Fórmula 07: Cálculo para determinar la fracción de carbono en la muestra
Fuente: (Palomino, 2007).

Donde:

- M : Es la molaridad de la solución de FeSO₄
- 0.4 : Es el factor equivalente del peso del carbón
- Vb : Es el volumen de la solución Ferrosa amoniacal requerido para el blanco (ml)
- Vm : Es el volumen de la solución Ferrosa amoniacal requerido para la muestra (ml)
- Nsfa : (Normalidad de la solución ferrosa amoniacal) = 4 / Vsfabk
(Volumen de la solución sulfato ferrosa amoniacal del blanco)

3.6. Materiales y/o instrumentos

3.6.1. Trabajo en campo

- Anillo de 10cm de diámetro.
- Navaja, tijeras
- GPS Garmin
- Barreno
- Bolsas herméticas
- Balanza

3.6.2. Trabajo en laboratorio – gabinete

- Estufa / Horno de laboratorio
- Bolsas de papel Craft
- Bureta para titulación
- Frascos de Erlenmeyer de 150 ml.
- Pipetas graduadas y volumétricas
- Solución Dicromato de potasio ($K_2Cr_2O_7$) 2N
- Ácido sulfúrico concentrado (H_2SO_4) CC
- Solución sulfato ferroso amoniacal $(NH_4Fe)_2(SO_4)_3$
- Indicador Difenil amina sulfúrica 1%

3.7. Tratamiento de datos y análisis estadístico

- Software para procesamiento de datos: Excel
- Software para diseño del equipo: ArcGis 10.3
- Análisis estadístico: ANOVA

CAPÍTULO IV

RESULTADOS

4.1. Resultado de fracción de carbono

Los valores de fracción de carbono orgánico son necesarios para la obtener el resultado del carbono orgánico total, los resultados se expresan en 03 muestras por punto de muestreo descritos a continuación.

4.1.1. Fracción de carbono en la cobertura vegetal

Tabla 6.

Fracción de carbono en la cobertura vegetal

MUESTRA	%C
BA-ZH-001	53.70
BA-ZS-002	40.77
BA-ZS-003	39.00
BA-ZH-004	45.63
BA-ZH-005	37.83
BA-ZS-006	44.88
BA-ZS-008	47.65
BA-ZH-009	41.75
BA-ZS-001	43.90
BA-ZS-002	46.26
BA-ZH-003	52.53
BA-ZH-004	38.02
BA-ZS-005	38.22
BA-ZH-006	49.78
BA-ZS-007	43.51

Fuente: Elaboración Propia

La fracción de carbono orgánico promedio en los puntos de muestreo de la cobertura vegetal, según el mapa de NDVI y la fórmula N° 07, en zonas secas es de 42.04 %, mientras que en zonas húmedas es del 45.61%, obteniéndose así un promedio total de 43.83% de carbono almacenado en la toda la cobertura del bofedal.

4.1.2. Fracción de carbono en la turba/necromasa.

Tabla 7.

Fracción de carbono en la turba/necromasa

MUESTRA	%C
NM-ZH-001	50.18
NM-ZS-002	45.08
NM-ZS-003	39.98
NM-ZH-004	43.71
NM-ZH-005	34.10
NM-ZS-006	29.79
NM-ZS-008	44.69
NM-ZH-009	36.85
NM-ZS-001	20.97
NM-ZS-002	10.19
NM-ZH-003	33.32
NM-ZH-004	39.40
NM-ZS-005	43.12
NM-ZH-006	16.27
NM-ZS-007	31.56

Fuente: Elaboración propia

La fracción de carbono orgánico promedio de las muestras en la turba/necromasa, según el mapa de NDVI y a la fórmula N° 07, en zonas secas es de 33.17 %, mientras que en zonas húmedas es del 36.26%, obteniendo así un promedio total de 34.72% de carbono almacenado bajo la cobertura vegetal del bofedal (turba).

4.1.3. Fracción de carbono en el suelo

Tabla 8.

Fracción de carbono en el suelo

MUESTRA	%C
SO-ZH-001	24.70
SO-ZS-002	30.38
SO-ZS-003	13.48
SO-ZH-004	14.27
SO-ZH-005	9.56
SO-ZS-006	10.82
SO-ZS-008	6.27
SO-ZH-009	13.56
SO-ZS-001	19.60
SO-ZS-002	3.06
SO-ZH-003	11.37
SO-ZH-004	12.78
SO-ZS-005	6.74
SO-ZH-006	3.68
SO-ZS-007	7.76

Fuente: Elaboración propia

La fracción de carbono orgánico promedio de las muestras en el suelo de acuerdo al mapa de NDVI y a la fórmula N° 07, en zonas secas es de 12.26 %, mientras que en zonas húmedas es del 12.85 %, obteniendo así un promedio total de 12.56% de carbono almacenado en el suelo orgánico del bofedal, a una profundidad de 30cm.

4.1.4. Resumen de fracción de carbono

Tabla 9.

Resumen de fracción de carbono en la biomasa herbácea aérea

Tipo de Muestra	% C
Cob. vegetal - zona seca	42.04
Cob. vegetal - zona húmeda	45.61
Cob. vegetal total	43.83

Fuente: Elaboración propia

Tabla 10.

Resumen de fracción de carbono en la turba/necromasa

Tipo de Muestra	% C
Turba/necromasa - zona seca	33.17
Turba/necromasa - zona húmeda	36.26
Turba/necromasa total	34.72

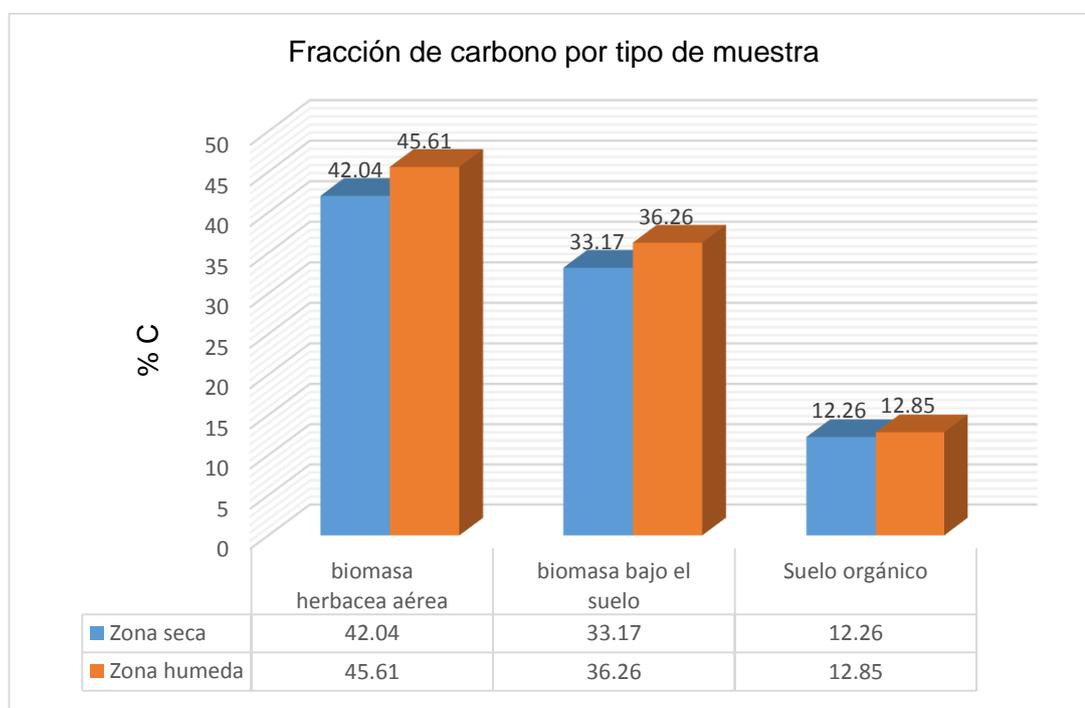
Fuente: Elaboración propia

Tabla 11.

Resumen de la fracción de carbono en el suelo orgánico

Tipo de Muestra	% C
Suelo - zona seca	12.26
Suelo- zona húmeda	12.85
Suelo orgánico total	12.56

Fuente: Elaboración propia

**Figura 12.** Gráfico de fracción de carbono por tipo de muestra

Fuente: Elaboración propia

4.2. Resultados del carbono total almacenado por tipo de muestra

Con los valores obtenidos, por el peso seco de las muestras y la fracción de carbono orgánico, se obtuvo el resultado del carbono total almacenado en los bofedales del CP Alto Perú, donde los resultados son expresados en toneladas de carbono por hectárea (TnC/ha) para cada punto de muestreo descritos a continuación.

4.2.1. Carbono total en la cobertura vegetal

Tabla 12.

Carbono total en la cobertura vegetal

Muestra	Carbono total TnC/ha
BA-ZH-001	20.30
BA-ZS-002	12.17
BA-ZS-003	10.09
BA-ZH-004	17.25
BA-ZH-005	17.31
BA-ZS-006	11.61
BA-ZS-008	14.22
BA-ZH-009	15.78
BA-ZS-001	11.48
BA-ZS-002	13.80
BA-ZH-003	21.95
BA-ZH-004	15.13
BA-ZS-005	12.93
BA-ZH-006	20.80
BA-ZS-007	12.12

Fuente: Elaboración propia

El carbono orgánico total de las muestras colectadas en la cobertura vegetal, de acuerdo a la fórmula N°02, en zonas secas es de 12.30 TnC/ha, mientras que en zonas húmedas es del 18.36 TnC/ha, obteniendo así promedio total de 15.33 TnC/ha almacenado en la parte aérea del bofedal.

4.2.2. Carbono total almacenado en la turba/necromasa

Tabla 13.

Carbono total en turba/necromasa

Muestra	Carbono total TnC/ha
NM-ZH-001	41.93
NM-ZS-002	34.98
NM-ZS-003	22.27
NM-ZH-004	44.35
NM-ZH-005	30.53
NM-ZS-006	13.63
NM-ZS-008	27.56
NM-ZH-009	34.45
NM-ZS-001	25.45
NM-ZS-002	9.73
NM-ZH-003	25.19
NM-ZH-004	22.73
NM-ZS-005	28.31
NM-ZH-006	10.03
NM-ZS-007	18.21

Fuente: Elaboración propia

El carbono orgánico total de las muestras colectadas en la turba/necromasa, de acuerdo a la fórmula N°02, en zonas secas es de 22.52 TnC/ha, mientras que en zonas húmedas es del 29.89 TnC/ha, obteniendo así un promedio total de 26.20 TnC/ha almacenado en la turba del bofedal (turba).

4.2.3. Carbono total almacenado en el suelo orgánico

Tabla 14.

Carbono total en el suelo orgánico

Muestra	Carbono Total (TnC/ha)
SO-ZH-001	54.04
SO-ZS-002	345.71
SO-ZS-003	138.16
SO-ZH-004	214.04
SO-ZH-005	70.41
SO-ZS-006	86.10
SO-ZS-008	89.71
SO-ZH-009	105.77
SO-ZS-001	147.78
SO-ZS-002	8.82
SO-ZH-003	30.98
SO-ZH-004	193.73
SO-ZS-005	96.85
SO-ZH-006	36.65
SO-ZS-007	130.79

Fuente: Elaboración Propia

El carbono orgánico total de las muestras colectadas en el suelo orgánico, de acuerdo a las fórmulas N° 03, 04 y 05, en zonas secas es de 130.49 TnC/ha, mientras que en zonas húmedas es del 100.80 TnC/ha, obteniendo así un promedio total de 115.65 TnC/ha almacenado en el suelo orgánico bofedal, a una profundidad de 30cm.

4.3. Carbono total almacenado en los bofedales de Alto Perú

Con los valores obtenidos del carbono total, almacenado por el tipo de muestra, es que se puede obtener la cantidad de carbono total que almacenan los bofedales del CP Alto Perú; estos resultados son expresados en toneladas de carbono por hectárea (Tn C/ha).

Tabla 15.

Resumen del carbono total en la cobertura vegetal

Tipo de Muestra	Carbono Total (Tn C/ha)
Cob. vegetal - zona seca	12.30
Cob. vegetal – zona húmeda	18.36
Cob. vegetal	15.33

Fuente: Elaboración propia

Tabla 16.

Resumen del carbono total en la turba/necromasa

Tipo de Muestra	Carbono Total (TnC/ha)
Turba/necromasa - zona seca	22.52
Turba/necromasa - zona húmeda	29.89
Turba/necromasa	26.20

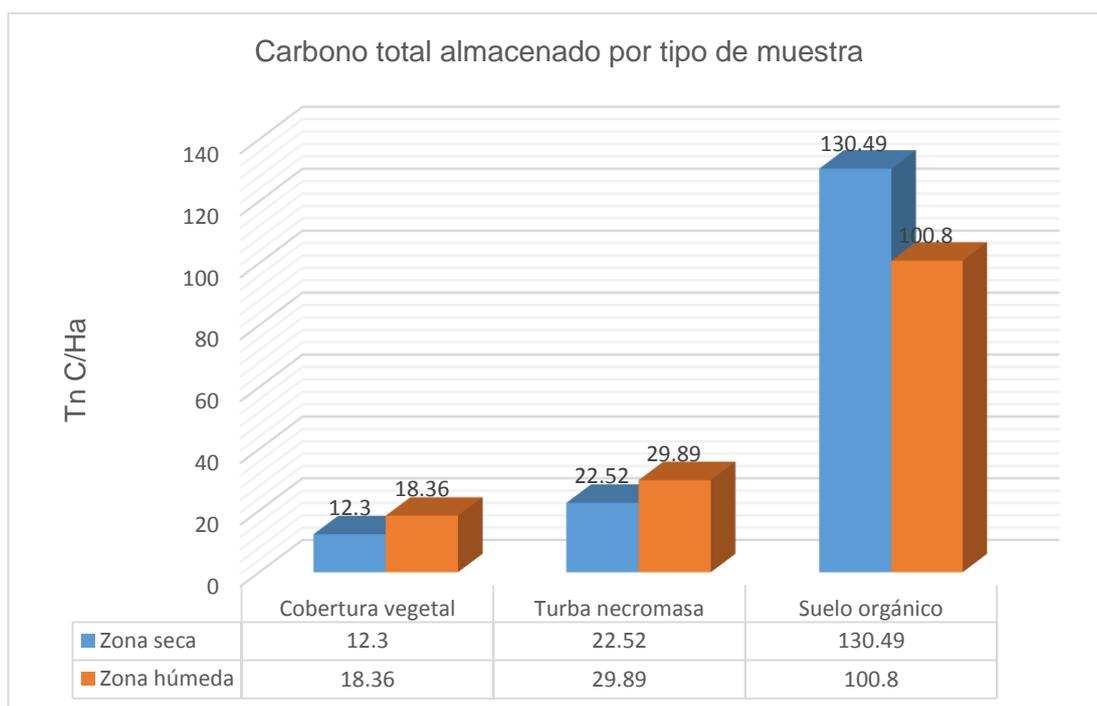
Fuente: Elaboración propia

Tabla 17.

Resumen del carbono total en el suelo orgánico

Tipo de Muestra	Carbono Total (Tn C/Ha)
Suelo orgánico - zona seca	130.49
Suelo orgánico – zona húmeda	100.80
Suelo orgánico	115.18

Fuente: Elaboración propia

**Figura 13.** Gráfico de carbono orgánico total almacenado por tipo de muestra

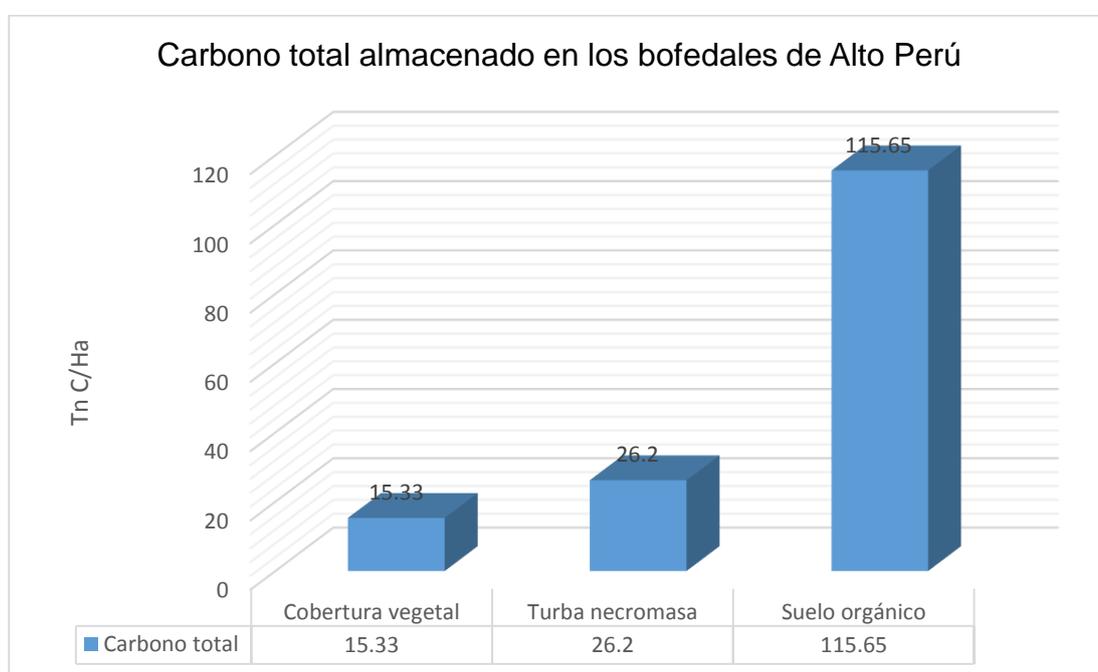
Fuente: Elaboración propia

Tabla 18.

Carbono total almacenado en los bofedales de Alto Perú

Tipo de Muestra	Carbono Total (Tn C/ha)
Cob- vegetal	15.33
Turba / necromasa	26.20
Suelo orgánico	115.65
Carbono total almacenado	157.18

Fuente: Elaboración propia

**Figura 14.** Gráfico de carbono total almacenado en los bofedales de A.P.

Fuente: Elaboración propia

El carbono orgánico total almacenado en el bofedal del Centro Poblado Alto Perú es el resultado de los sumatoria de las 03 tipos de muestras en relación a la fórmula N° 06, obteniendo así un total de 157.18 Tn C/ha.

4.3.1. Evaluación de dióxido de carbono fijado

De acuerdo a la fórmula presentada por Palomino (2007) y Alvis (2017), para la cuantificación de dióxido de carbono almacenado, se multiplica el valor obtenido del carbono orgánico total, expresado en TnC/ha por un valor constante (kr) de 44/12, dando como resultado una fijación de 576.22 TnCO₂/ha en los bofedales del Centro Poblado Alto Perú.

4.4. Análisis estadístico

Para el análisis estadístico, se utilizó el método de diseños experimentales completamente aleatorio por tratamientos, para observar qué tipo de muestra aporta mayor contenido de carbono orgánico total, entre la cobertura vegetal, turba/necromasa y el suelo orgánico.

Tabla 19.

Resumen del procesamiento de los casos

Tipo de muestra	Casos					
	Válidos		Perdidos		Total	
	N°	%	N°	%	N°	%
C. vegetal	15	100.0%	0	.0%	15	100.0%
TN C/HA Turb. Nm.	15	100.0%	0	.0%	15	100.0%
S. orgánico	15	100.0%	0	.0%	15	100.0%

Fuente: Elaboración propia

Tabla 20.

Datos descriptivos

Tipo de muestra		Estadístico		Error típ.			
TN C/HA	C. vegetal	Media		15.1293	.95477		
		Intervalo de confianza para la media al 95%	Límite inferior	13.0816			
			Límite superior	17.1771			
		Media recortada al 5%		15.0304			
		Mediana		14.2200			
		Varianza		13.674			
		Desv. típ.		3.69781			
		Mínimo		10.09			
		Máximo		21.95			
		Rango		11.86			
		Amplitud intercuartil		5.19			
		Asimetría		.605	.580		
		Curtosis		-.761	1.121		
		Turb. Nm.	S. orgánico	Media		25.9567	2.69904
				Intervalo de confianza para la media al 95%	Límite inferior	20.1678	
					Límite superior	31.7455	
Media recortada al 5%				25.8363			
Mediana				25.4500			
Varianza				109.272			
Desv. típ.				10.45334			
Mínimo				9.73			
Máximo				44.35			
Rango				34.62			
Amplitud intercuartil				16.24			
Asimetría				.074	.580		
Curtosis				-.525	1.121		
S. orgánico	S. orgánico			Media		116.6360	22.15966
				Intervalo de confianza para la media al 95%	Límite inferior	69.1083	
					Límite superior	164.1637	
		Media recortada al 5%		109.8994			
		Mediana		96.8500			
		Varianza		7365.757			
		Desv. típ.		85.82399			
		Mínimo		8.82			
		Máximo		345.71			
		Rango		336.89			
		Amplitud intercuartil		93.74			
		Asimetría		1.389	.580		
		Curtosis		2.574	1.121		

Fuente: Elaboración propia

Tabla 21.

Pruebas de normalidad

	Tipo de muestra	Kolmogorov-Smirnov(a)			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
TN C/Ha	C. vegetal	.130	15	.200(*)	.928	15	.254
	Turb. Nm.	.095	15	.200(*)	.967	15	.814
	S. orgánico	.158	15	.200(*)	.900	15	.094

Fuente: Elaboración propia

La prueba de normalidad indica que es relevante realizar el análisis de varianza (Anova).

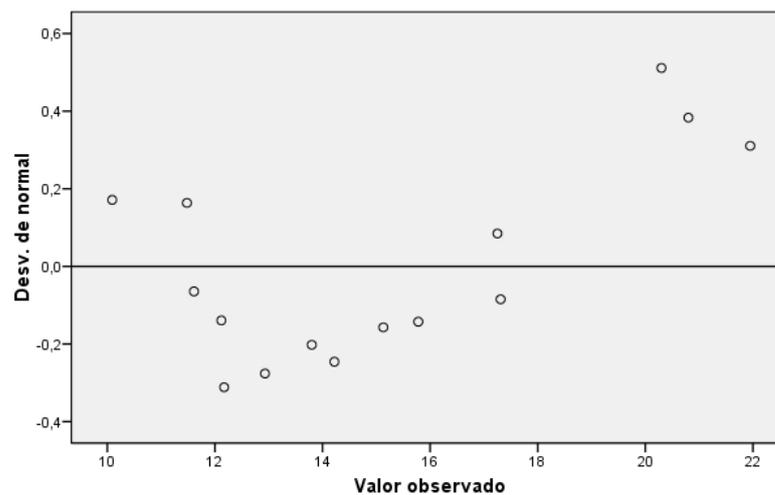


Figura 15. Gráfico Quantil-Quantil (Q-Q) normales sin tendencia de TN C/HA para muestra de cobertura vegetal

Fuente: Elaboración propia

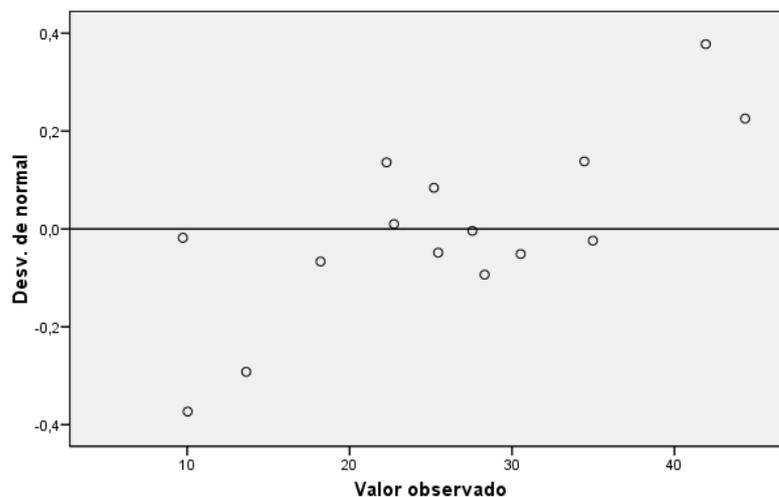


Figura 16. Gráfico Quantil-Quantil (Q-Q) normales sin tendencia de TN C/HA para muestra de Turba/necromasa

Fuente: Elaboración propia

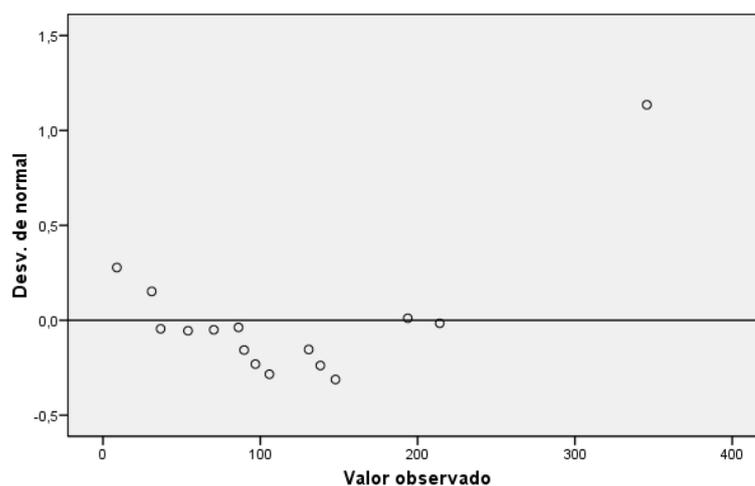


Figura 17. Gráfico Quantil-Quantil (Q-Q) normales sin tendencia de TN C/HA para muestra de suelo orgánico

Fuente: Elaboración propia

Los gráficos Quantil-Quantil (Q-Q) normales de la desviación estándar con los resultados expresados en TN C/ha, muestran que existe una distribución más estable en la figura 17 a diferencia de la figura 15 y 16, demostrando así una mayor eficiencia en la captura de carbono por parte del suelo orgánico.

Tabla 22.

Análisis de varianza en Toneladas de Carbono por hectárea

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Inter-grupos	93217.880	3	46608.940	18.672	.000
Intra-grupos	104841.848	42	2496.234		
Total	198059.728	45			

Tabla 23.

Comparaciones múltiples – variable dependiente: Toneladas de carbono por Ha.

	(I) Tipo de muestra	(J) Tipo de muestra	Diferencia de medias (I-J)	Error típico	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
			Límite inferior	Límite superior	Límite inferior	Límite superior	Límite inferior
HSD de Tukey	C. vegetal	Turb. Nm.	-10.82733	18.24366	.824	-55.1502	33.4955
		Suelo orgánico	-101.50667(*)	18.24366	.000	-145.8295	-57.1838
	Turb. Nm.	C. vegetal	10.82733	18.24366	.824	-33.4955	55.1502
		Suelo orgánico	-90.67933(*)	18.24366	.000	-135.0022	-46.3565
	Suelo orgánico	C. vegetal	101.50667(*)	18.24366	.000	57.1838	145.8295
		Turb. Nm.	90.67933(*)	18.24366	.000	46.3565	135.0022
Games-Howell	C. vegetal	Bb. suelo	-10.82733(*)	2.86294	.004	-18.1542	-3.5004
		Suelo orgánico	-101.50667(*)	22.18022	.001	-159.5340	-43.4793
	Turb. Nm.	C. vegetal	10.82733(*)	2.86294	.004	3.5004	18.1542
		Suelo orgánico	-90.67933(*)	22.32343	.003	-148.9142	-32.4444
	Suelo orgánico	C. vegetal	101.50667(*)	22.18022	.001	43.4793	159.5340
		Turb. Nm.	90.67933(*)	22.32343	.003	32.4444	148.9142

Fuente: Elaboración propia

*La diferencia de medias es significativa al nivel .05.

La prueba de Tukey corrobora lo mostrado en los gráficos de Quantil-Quantil (Q-Q) normales, donde el aporte de la cobertura vegetal y la turba/necromasa aporta menos carbono orgánico total, a diferencia del suelo orgánico, según la significancia de cada tipo de muestra.

CAPÍTULO V

DISCUSIÓN

5.1. Fracción de carbono

5.1.1. Fracción de carbono en la cobertura vegetal

Existe una diferencia del 3.57% entre las fracciones de zonas secas y húmedas del bofedal, esto evidencia que no existe gran diferencia en cuanto a la fracción de carbono de la parte aérea. Los valores obtenidos (42.04 y 45.61%) se encuentran dentro de rangos medios descritos en investigaciones anteriores similares a esta investigación, donde los porcentajes obtenidos por Alvis (2017) en humedales alto andinos de Chalhuanca son de 49% de fracción de carbono, mientras que en la investigación en humedales costeros de Puerto Viejo de Palomino (2007) es de 47%.

Cabe mencionar, que la diferencia entre los resultados se puede explicar debido a diferentes factores, el cual debe destacar la predominancia de especies vegetales presentes en el bofedal. De acuerdo a Alvis (2017) en Chalhuanca (Arequipa) muestra una predominancia de *Philloscirpus desertícola* (24/30), *D. muscoides* (12/30), *Werneria sp.* (13/30), .mientras que Mamani (2015), en el inventario florístico, de los bofedales del Centro Poblado Ancomarca (Tacna), muestra una predominancia por familias de Juncaceae (15.75%) y Asteraceae (13.08%).

Los valores en la fracción de carbono en bofedales, a diferencia de los fracciones en los humedales costeros se explican, por otros aspectos climáticos de la zona de estudio, así lo explica Alvis (2017), como por ejemplo la velocidad del viento, ya que a una mayor intensidad de viento, existe una mayor circulación del aire pobre en CO₂ de las capas límite de las hojas. Otro aspecto influyente es la elevada altitud de la zona de estudio (+ 4100 msnm), ya que al encontrarse en altitudes más elevadas, esto incidiría en una disminución en la concentración de oxígeno y el aumento de la concentración de otros gases como el CO₂, incrementando así la fracción de carbono presente en la cobertura vegetal (hojas).

5.1.2. Fracción de carbono en la Turba/necromasa

Existe una diferencia del 3.09 % entre los parches de bofedal seco y húmedo del bofedal, la reducida diferencia en cuanto a la fracción de carbono obtenido en ambas partes puede explicarse por Mamani (2015), que menciona que en los bofedales hidromórficos, compuestos principalmente por *Oxichloe andina* y *Distichia muscoides* (siendo estas las principales especies recolectadas), la turba puede llegar hasta 1m de profundidad, explicándose así, la poca diferencia entre los porcentajes existente entre zonas secas y húmedas debido a que ambos presentarían turba con semejantes niveles de profundidades y no encontrarse una interferencia con la siguiente muestra de suelo orgánico.

Por otro lado los valores obtenidos (33.17 y 36.26%) difieren en de los valores descritos en investigaciones previas, los porcentajes obtenidos por Alvis (2017), en humedales alto andinos es de 42.53%, mientras que Pérez (2015), en los humedales costeros de Villa María en Áncash llegan a valores de 34.44 % en fracción de carbono.

Esta diferencia puede darse por diversos motivos, entre ellos, como antes mencionado la profundidad de la turba con respecto al suelo orgánico, ya que en algunos puntos de muestreo la turba llegó a profundidades de 20cm (NM-ZS-002-I), mientras que en otros puntos de muestreo (NM-ZH-001-D) se sobrepasaron los 30cm de profundidad.

5.1.3. Fracción de carbono en el suelo orgánico

Existe una diferencia del 0.58% entre las fracciones de zonas secas y húmedas, esto nos indica que no existe diferencia significativa en cuanto a la fracción del suelo orgánico.

Los valores obtenidos (12.26 y 12.85%), se encuentran por debajo de rangos medios descritos en investigaciones previas, los porcentajes obtenidos por Alvis (2017), en humedales alto andinos de Chalhuanca es de 43.05%, mientras que en la investigación en humedales costeros de Puerto Viejo de Palomino (2007), es de tan solo el 3%, por otro lado según Hribljan et al., (2015), en los bofedales del pueblo de Manasaya – Bolivia muestra porcentajes cercanos con 23.90% para suelo orgánico del bofedal.

La diferencia existente entre los valores medios de distintas investigaciones, se puede explicar por la profundidad de la turba en el correspondiente punto de muestreo, esto debido a que en algunos puntos de muestreo, con profundidades menores a 30cm de turba (SO-ZS-002-I), se obtiene porcentajes de carbono de apenas el 3.06%, mientras que en otros, la turba que sobrepasa los 30cm de profundidad (SO-ZS-002-D), en cuyo caso se llega a porcentajes de fracción de carbono de 30.38%.

Además Alvis (2017), mencionan que del total del dióxido de carbono captado por el proceso fotosintético solo el 20% pasa a la capa inferior de la turba, del cual se va perdiendo aún más por el proceso de descomposición anaeróbica en el catotelmo. Por tal motivo a medida que se va incrementando la profundidad el carbono total va disminuyendo y acercándose a la siguiente capa denominado “suelo mineral”.

5.2. Carbono total almacenado por tipo de muestra

5.2.1. Carbono total almacenado en la cobertura vegetal

Existe una diferencia de 6.06 TnC/ha del total almacenado en la cobertura vegetal entre zonas secas y húmedas, esta diferencia puede explicarse según Hernández (2010), el cual menciona que el estado de conservación de la cobertura vegetal es una variable crítica para la regulación del ciclo del carbono; deduciéndose de tal forma que un bofedal con buen estado de conservación, incrementaría la biomasa presente en proporción de zonas secas y húmedas, es fundamental mencionar que el estado de conservación explicaría el equilibrio entre la emisión de dióxido de carbono y/o metano a la atmosfera producido por la descomposición de la materia orgánica y la captación de dióxido de carbono por procesos fotosintéticos, como se detalla en la discusión 5.3.1.

Los valores obtenidos (12.30 y 18.36 TnC/ha), se encuentran dentro de los rangos medios descritos en investigaciones previas, las reservas de carbono obtenidos por Alvis (2017), en humedales alto andinos de Chalhuanca cuenta con reservas de 4.77 TnC/ha. Mientras que en la investigación realizada en los bofedales y totorales del Lago Chinchaycocha (Junín), descrito por Medrano et al., (2012) cuenta con reservas de hasta 5.00 TnC/ha. Por otro lado se acercan mucho a los valores medios descritos por Palomino (2007), ya que en los humedales costeros de Puerto Viejo cuenta con reservas de 20.10 TnC/ha para la cobertura vegetal.

Como se mencionó anteriormente, la diferencia entre los resultados se puede explicar debido a diferentes factores, el cual se debe destacar la predominancia de familias vegetales presentes en el bofedal y a las especies muestreadas en esta investigación (*D. muscoides.*, *Oxychloe andina*). La diferencia con Medrano et al., (2012), se puede explicar debido a que en su investigación en el ecosistema de bofedal, se colectaron muestras de 03 especies vegetales: *Plantago tubulosa*, *Eleocharis albibracteata* y *Limosella australis*, según el Plan Maestro del ACRVM (2012), dichas especies se caracterizan por ser acuáticas, encontradas en ambientes semi o permanentemente inundables, cuya característica no es similar a formaciones almohadilladas como de la familia juncaceae (*Distichia muscoides*, *Distichia sp*, *Oxychloe andina*).

5.2.2. Carbono total almacenado en la Turba/necromasa

Existe una diferencia de 7.37 TnC/ha del total almacenado en turba/necromasa entre zonas secas y húmedas, al igual que con la parte aérea esta diferencia puede explicarse debido al estado de conservación de la cobertura vegetal, ya que el estado de salud de la vegetación, también influiría en el ciclo del carbono de la fase de captación a sumidero del mismo.

Los valores obtenidos (22.52 y 29.89 TnC/ha) se encuentran dentro de los rangos medios descritos en investigaciones previas en bofedales, las reservas de carbono obtenidos por Alvis (2017), en humedales alto andinos de Chalhuanca cuenta con reservas de 19.72 TnC/ha, mientras que Palomino (2007), muestra valores inferiores que en los humedales altoandinos, ya que en los humedales costeros de Puerto Viejo tiene reservas de 20.10 TnC/ha para la parte de suelo y raíz del humedal.

Existen diferentes variables que pueden explicar la diferencia entre los resultados con los humedales costeros y alto andinos para la parte de la turba, uno de los factores a considerar es la predominancia de familias vegetales presentes en el bofedal y a las especies muestreadas en esta investigación (*D. muscoides.*, *Oxyclhoe andina*). Alvis (2017) sostiene que, la vegetación de tipo perenne tienen a presentar una renovación foliar más lenta y esto resultaría en un tiempo de vida más largo de la parte aérea y una acumulación continua en la turba; al tener una acumulación continua y bajos niveles de descomposición es que la acumulación de la biomasa de bajo de la parte aérea se incremente significativamente y esto explicaría los altos niveles en el carbono orgánico total.

5.2.3. Carbono total almacenado en el suelo orgánico

Existe una diferencia de 29.2 TnC/ha del total almacenado en el suelo orgánico entre las muestras provenientes de zonas húmedas y secas, evidenciando que existe una mayor cantidad de carbono almacenado en zonas secas, esta diferencia entre el resultados puede explicarse principalmente por la profundidad en la que se tomó la muestra en relación con la profundidad total de la turba, ya que como se mencionó anteriormente en ciertos puntos de muestreo (SO-ZS-002-I) la turba no sobrepasaba los 30cm de profundidad, mientras que en otros puntos de muestreo (SO-ZS-002-D), dicha turba sobrepasa los 30cm de profundidad, por consiguiente incrementa la fracción de carbono, pero disminuyendo la densidad aparente de la muestra.

Los valores obtenidos por investigaciones previas varían en diferentes rangos respecto al tipo de humedal en cuestión, es así como Palomino (2007), en la parte del suelo de humedales costeros de Puerto Viejo, muestra valores de 9.57 TnC/ha, mientras que Alvis (2017), presenta 218.28 TnC/ha; por otro lado los valores más cercanos a esta investigación (100.80 y 130.49 TnC/ha), se acerca a los resultados obtenidos por Calderón et al., (2013) en humedal andino de la reserva Yanacocha (Ecuador) con 112.20 TnC/ha.

La diferencia en el contenido de carbono del suelo, que fue determinado en diferentes investigaciones en comparación con esta, puede explicarse debido a diversos motivos, además de los ya planteados anteriormente (profundidad de la turba, especie muestreada, profundidad de la toma de muestra, estado de salud de la cobertura vegetal). Así lo explica Alvis (2017), que su vez cita a Marín et al., (2011) ya que en su investigación, plantea otras variables influyentes en las reservas de carbono en el suelo como; la edad del bofedal, ya que algunos bofedales, al ser más antiguos suelen tener turbas a mayor profundidad, significando así un incremento en la profundidad de las muestras de suelo orgánico, llegando así a contener mayores reservas. Otra variable a tener en cuenta es la densidad aparente del suelo, ya que al contener una mayor densidad, incrementaría significativamente los valores de carbono en el suelo.

5.3. Carbono total almacenado en los bofedales de Alto Perú

Las principales reservas de carbono encontrado en humedales, de acuerdo a lo descrito por Hernández (2010), se dan a partir de la sumatoria de las reservas entre la cobertura vegetal (15.33 TnC/ha), la turba/necromasa (26.20 TnC/ha) y el suelo orgánico (115.65 TnC/ha). Es así que las sumatorias de dichos resultados obtenemos una reserva total de 157.18 TnC/ha en los bofedales de Alto Perú.

Existen diferencias significativas presentes en investigaciones previas, los autores; Alvis (2017) con 242.77 TnC/ha, Palomino (2007) con 20.1 TnC/ha, Medrano (2012) con 684.58 TnC/ha y Calderón et al.,(2013) con 112.20 TnC/ha. El tipo de muestra que determinaría una mayor o menor cantidad en las reservas de carbono de un humedal, es la encontrada en los suelos ya que, tomando como ejemplo los resultados de esta investigación representa el 73.57% del total encontrado entre los 03 tipos de muestras.

5.3.1. Dióxido de carbono fijado

Los resultados de la cuantificación del servicio ambiental de captura de dióxido de carbono; 576.22 TnCO₂/ha, son superiores a los presentados en humedales costeros, como así lo presenta Palomino (2007), con valores de 73.70 TnCO₂/ha; por otro lado en la investigación de Alvis (2017), realizado en humedales altoandinos de Chalhuanca, se presenta valores de 901.28 TnCO₂/ha.

Los valores inferiores de fijación dióxido de carbono en comparación a otras investigaciones similares como los de Chalhuanca, puede explicarse a lo planteado por Arellano et al., (2013) cuya investigación menciona que existen factores que influyen en la captura de carbono atmosférico, como por ejemplo la topografía, la salinidad, el microclima y la estacionalidad.

Los bajos niveles de precipitación que se da en la zona de estudio, podría ser un factor a tener en cuenta entre los niveles de fijación de dióxido de carbono, de acuerdo al SENAMHI se registraron niveles de precipitación de 363mm durante el año 2019, caracterizándose así por ser un año con mayor

precipitación a la media anual de 352.94 mm. Como bien menciona Blanco et al., (2004) los niveles de hidratación de una turbera es un factor que sirve conocer la diferencia entre el acrotelmo y catotelmo respecto a la profundidad en cuestión de cada capa; es decir haber mayor hidratación en la turbera, la capa superior (acrotelmo) reduce su espesor, mientras que la capa inferior (catotelmo) al estar más saturada se va incrementado; acercarse así el nivel freático a la superficie.

Una de las principales características del acrotelmo es la presencia de bacterias aeróbicas que aceleran la descomposición de la materia orgánica, y como lo menciona Hernández (2010), en el “ciclo del carbono en humedales”, la descomposición de la materia orgánica produce la liberación de CO₂ a la atmosfera; explicándose así, que debido a los bajos niveles de precipitación que se registraron durante el 2019 influirían en la recarga del acuífero y que traería consigo, un acrotelmo con mayor espesor, por consiguiente tendríamos bajos niveles en el carbono orgánico total almacenado en el tejido vegetal y/o necromasa, y bajos niveles de fijación de dióxido de carbono atmosférico.

CONCLUSIONES

Del análisis de la fracción de carbono por tipo de muestra, para la cobertura vegetal, la parte aérea es 44.23%, para la turba (necromasa/raíz) es 34.61% y para el suelo orgánico es 12.53%; demostrando así que la parte aérea tendría un mayor potencial para la fijación de carbono en las juncáceas *Oxichloe andina* y *Distichia muscoides*.

El carbono total almacenado por tipo de muestra; para la cobertura vegetal es 15.33 Tn C/Ha, para la turba/necromasa es de 26.20 Tn C/Ha y para el suelo orgánico es 115.65 Tn C/Ha; dando un total de 157.18 Tn C/Ha para los bofedales del Centro Poblado Alto Perú. Del tipo de muestra, se puede evidenciar que las mayores reservas de carbono se dan en el suelo orgánico, siendo un factor determinante la densidad aparente del suelo.

Las diferencias en el carbono total almacenado en zonas secas y húmedas se da en la siguiente forma; para la cobertura vegetal es 12.30 y 18.36 Tn C/ha, para la turba/necromasa es 22.52 y 29.89 Tn C/Ha y para el suelo orgánico es 130.49 y 100.80 Tn C/Ha; demostrando que existe diferencias entre el potencial de almacenamiento de carbono en zonas húmedas y secas del bofedal, de acuerdo a los resultados del NDVI.

En cuanto al potencial de captura de dióxido de carbono se obtuvo 576.22 Tn CO₂/Ha; demostrando así, el gran potencial como servicio ambiental que tienen los bofedales del Centro Poblado Alto Perú, en comparación con otras investigaciones similares.

RECOMENDACIONES

Para posteriores estudios, es recomendable tomar las muestras con un perforador tipo “corer”, que permita recolectar toda una columna desde la parte aérea del bofedal hasta el suelo orgánico.

Es recomendable realizar estudios sobre la emisión de CO₂ y CH₄ producto de la descomposición de materia orgánica, para así obtener un balance entre el carbono fijado y el liberado a la atmósfera; con el fin de tener resultados más precisos del potencial de captura de CO₂.

Se recomienda realizar un estudio de valorización económica de los otros servicios ambientales de los bofedales de la zona altoandina, teniendo como fuente de información esta investigación.

Se recomienda realizar un balance hídrico en los bofedales del Centro Poblado Alto Perú, para conocer el potencial servicio de provisión hidrológico que pueda proveer o no este ecosistema.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acero, M., & León, Y. (2016). Caracterización de una turbera de *Sphagnum* L. Asociada al bosque montano en Mérida, Venezuela. Caracas: Acta Botánica de Venezuela.
- ACRVM, P. M. (2012). Plan Maestro Área del Conservación Regional Vilacota Maure. Tacna.
- Alvarado, C. (2012). Evaluación de Pastizales Naturales de los Humedales Altoandinos en Época de Lluvia de la Provincia de Candarave, Departamento de Tacna. Tacna: Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann.
- Alvis, T. (2017). Almacenamiento de carbono en los humedales altoandinos del centro poblado Chalhua, Caylloma - Arequipa. Arequipa.
- Arellano, E., Meza, F., Miranda, M., & Camaño, A. (2013). El cuidado de los Humedales y su rol en el secuestro de carbono. Arauco: Investigadores del Centro de Cambio Climático Global UC.
- Ariza, A. (2013). Descripción y Corrección de Productos Landsat 8 LDCM (Landsat Continuity Mission). Bogotá: Instituto Geográfico Agustín Codazzi.
- Benavides, H., & León, G. (2007). Información Técnica Sobre Gases de Efecto Invernadero y el Cambio Climático. IDEAM.
- Blanco, D., & Balze, V. (2004). Los turbales de la Patagonia, bases para su inventario y la conservación de su biodiversidad. Buenos Aires: Wetlands international, publicación 19.

- Caballero, M., Lozano, S., & Ortega, B. (2007). Efecto Invernadero, Calentamiento Global y Cambio Climático. Ciudad de México: Instituto de Geofísica, Instituto de Geología.
- Calderón, M., Romero, H., Cuesta, F., Pinto, E., & Báez, S. (2013). MONITOREO DE CONTENIDOS Y FLUJOS DE CARBONO EN GRADIENTES ALTITUDINALES ALTOANDINOS. Quito: CONDESAN/COSUDE.
- Calvo, V. (2016). Marco conceptual y metodología para estimar el estado de salud de bofedales de alta montaña. Lima : Universidad Nacional Agraria La Molina.
- Chaparro, L., Cuervo, M. P., Gómez, J., & Toro, M. A. (1998). Emisiones al Ambiente en Colombia. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria.
- Cochi, N., Prieto, G., Rojas, A., Celso, A., Condori, B., & Cazasola, J. (2014). Metodología para evaluar el potencial productivo y la dinámica socioecológica de la ganadería en bofedales altoandinos. La Paz, Bolivia.
- Flores, M., Alegría, J., & Granada, A. (2005). Diversidad florística asociada a las lagunas andinas Pomacocha y Habascocha, Junín, Perú. Scielo - Perú.
- Franco, L., Delgado, J., & Andrade, G. (2012). Factores de la vulnerabilidad de los humedales altoandinos de Colombia al cambio climático global. Revista Colombiana de Geografía.
- Hernández, M. E. (2010). Suelo de los humedales como sumideros de carbono y fuentes de metano. Terra Latinoamericana, 28.
- Hurtado, C. (2006). Evaluación y soportabilidad de los bofedales de la cuenca del Uchusuma, Zona altoandina de Tacna. Tacna: Ciencia & Desarrollo.

- López, E. (2015). Estudio de Biodiversidad de los Bofedales de Huaytire, Challapujo, Livicani, Japopunco y Surapata en el Centro Poblado Huaytire. Tacna: Gobierno Regional de Tacna.
- Mamani, Y. J. (2015). Estado actual, diversidad florística y capacidad de carga del bofedal de Ancomarca del distrito de Palca, departamento de Tacna - Perú. Tacna: Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann.
- Martínez, J., & Fernández, A. (2004). Cambio Climático: una visión desde México. Instituto Nacional de Ecología.
- Martino, D. (2000). Los sumideros de carbono en el Mecanismo de Desarrollo Limpio del Protocolo de Kioto.
- Medrano, R., Chupán, L., & Vila, M. (2012). Almacenamiento de carbono en especies predominantes de flora en el lago Chinchaycocha. Apunt. cienc., 02-02.
- Mena, J., Rubio, H., Deza, J., Hiromi, Y., Vergel, C., Kanashiro, L., & Valdivia, R. (2016). Servicios Ecosistémicos que brindan las Áreas Naturales Protegidas. Lima: Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado - World Wildlife Fund - WWF Perú.
- MINAM. (2015). Estrategia Nacional de Humedales del Ministerio del Ambiente del Perú. Lima: Dirección General de Diversidad Biológica.
- Moreno, E., Guerrero, A., Gutiérrez, M., Ortiz, C., & Palma, D. (2002). Los manglares de Tabasco, una reserva natural de carbono. Tabasco.

- Palomino, D., & Cabrera, C. (2007). Estimación del servicio ambiental de captura de CO₂ en la flora de los humedales de Puerto Viejo. *Revista del Instituto de Investigación FIGMMG*.
- Peréz, P. H., Luccini, E., Herrera, L., Parodi, M., Matar, M., Barrera, L., . . . Masramón, E. (2015). Cuantificación de la captura de CO₂ por flora nativa de totora en un humedal costero de Perú. *Energía*, 13-13.
- Prieto, G., Alzérreca, H., Laura, J., Luna, D., & Laguna, S. (2001). Características y distribución de los bofedales en el ambito Boliviano . La Paz: Editorial Plural Editores.
- Pumasupa, M. (2018). Cuantificación de la captura de carbono de la especie forestal *Haplorhus Peruviana* Carzo Como servicio ambiental en el Valle de Cinto, Provincia de Jorge Basadre. Tacna.
- Rivera, E. (2018). Evaluación del potencial almacenamiento de carbono en la especie *Stipa ichu* (Ichu) en la microcuenca Chaclatacana - Huancavelica. Lima: Universidad Nacional Federico Villareal.
- Rojas , J., Saada de Lima, A., Méndez, J., Salazar, K., & Salmerón, A. (2016). Servicios Ecosistémicos de regulación que benefician a la sociedad y su relación con la restauración ecológica. *Biocenosis*, 31.
- Rügnitz, M., Chacón , M., & Porro, R. (2009). Guía para determinación de carbono en pequeñas propiedades rurales. Centro Mundial Agroforestal - ICRAF.
- Suárez , D., Acurio, C., Chimbolema, S., & Aguirre, X. (2016). Análisis de carbono secuestrado en humedales altoandinos de dos áreas protegidas del Ecuador . Cuenca - Quito.

Taboada, M., Cimadevila, H., Pérez, J., & Martín, J. (2005). Detección de áreas forestales afectadas por el ataque de insectos empleando teledetección y sistemas de información geográfica: aplicación a las masas de eucalipto afectadas por " *Gonipterus scutellatus*" en Galicia. Galicia: Cuadernos de la Sociedad Española de Ciencias Forestales, (19), 27-33.

Troncoso, R. (1982). Caracterización ambiental de ecosistema bofedal de Parinacota y su relación con la vegetación . Santiago.

Vargas , P. (2009). El Cambio Climático y sus Efectos en el Perú - Banco Central de Reserva del Perú. Serie de Documentos de Trabajo .

ANEXOS

ANEXO 01 TABLAS DE RESULTADOS

Tabla 24.

Punto de muestreo de zona de estudio 01 – húmeda

N°	Coordenadas UTM		Código de Muestra
	Este	Norte	
01	430772	8055920	BA/NM/SO-001-ZH
02	427772	8056020	BA/NM/SO-006-ZH
03	428572	8056020	BA/NM/SO-004-ZH
04	427372	8056120	BA/NM/SO-009-ZH

Fuente: Elaboración propia

Tabla 25.

Punto de muestreo de zona de estudio 01 – seco

N°	Coordenadas UTM		Código de Muestra
	Este	Norte	
01	429172	8055920	BA/NM/SO-002-ZS
02	430572	8056120	BA/NM/SO-003-ZS
03	427072	8056220	BA/NM/SO-008-ZS
04	428172	8056320	BA/NM/SO-005-ZS

Fuente: Elaboración propia

Tabla 26.

Punto de muestreo de zona de estudio 02 – húmeda

N°	Coordenadas UTM		Código de Muestra
	Este	Norte	
01	425403	8056494	BA/NM/SO-003-ZS-I
02	426603	8056494	BA/NM/SO-006-ZS-I
03	426003	8056594	BA/NM/SO-004-ZS-I

Fuente: Elaboración propia

Tabla 27.

Punto de muestreo de zona de estudio 02 – seco

N°	Coordenadas UTM		Código de Muestra
	Este	Norte	
01	425203	8056394	BA/NM/SO-002-ZS-I
02	426603	8056394	BA/NM/SO-007-ZS-I
03	424803	8056494	BA/NM/SO-001-ZS-I
04	426203	8056794	BA/NM/SO-005-ZS-I

Fuente: Elaboración propia

Tabla 28.

Fracción de carbono en la cobertura vegetal

N°	Muestra	Vol. Sulfato ferroso amoniacal (ml)	%MO	%C
1	BA-ZH-001	15.1	92.59	53.7
2	BA-ZS-002	21.7	70.28	40.77
3	BA-ZS-003	22.6	67.24	39
4	BA-ZH-004	19.22	78.66	45.63
5	BA-ZS-005	23.2	65.22	37.83
6	BA-ZH-006	19.6	77.38	44.88
7	BA-ZS-008	18.19	82.14	47.65
8	BA-ZH-009	21.2	71.97	41.75
9	BA-ZS-001	20.1	75.69	43.9
10	BA-ZS-002	18.9	79.75	46.26
11	BA-ZH-003	15.7	90.56	52.53
12	BA-ZH-004	23.1	65.55	38.02
13	BA-ZS-005	23	65.89	38.22
14	BA-ZH-006	17.1	85.83	49.78
15	BA-ZS-007	20.3	75.01	43.51

Fuente: Elaboración propia

Tabla 29.

Fracción de carbono en la turba necromasa

N°	Muestra	Vol. Sulfato ferroso amoniacoal (ml)	%MO	%C
1	NM-ZH-001	16.9	86.5	50.18
2	NM-ZS-002	19.5	77.72	45.08
3	NM-ZS-003	22.1	68.93	39.98
4	NM-ZH-004	20.2	75.35	43.71
5	NM-ZH-005	25.1	58.8	34.1
6	NM-ZS-006	27.3	51.36	29.79
7	NM-ZS-008	19.7	77.04	44.69
8	NM-ZH-009	23.7	63.53	36.85
9	NM-ZS-001	31.8	36.16	20.97
10	NM-ZS-002	37.3	17.57	10.19
11	NM-ZH-003	25.5	57.44	33.32
12	NM-ZH-004	22.4	67.92	39.4
13	NM-ZS-005	20.5	74.34	43.12
14	NM-ZH-006	34.2	28.05	16.27
15	NM-ZS-007	26.4	54.4	31.56

Fuente: Elaboración propia

Tabla 30.

Fracción de carbono en el suelo orgánico

N°	MUESTRA	Vol. Sulfato ferroso amoniaco (ml)	%MO	%C
1	SO-ZH-001	29.9	42.58	24.7
2	SO-ZS-002	27	52.38	30.38
3	SO-ZS-003	25.3	23.25	13.48
4	SO-ZH-004	24.3	24.6	14.27
5	SO-ZH-005	30.3	16.49	9.56
6	SO-ZS-006	28.7	18.65	10.82
7	SO-ZS-008	34.5	10.81	6.27
8	SO-ZH-009	25.2	23.38	13.56
9	SO-ZS-001	32.5	33.79	19.6
10	SO-ZS-002	38.6	5.27	3.06
11	SO-ZH-003	28	19.6	11.37
12	SO-ZH-004	26.2	22.03	12.78
13	SO-ZS-005	33.9	11.62	6.74
14	SO-ZH-006	37.8	6.35	3.68
15	SO-ZS-007	32.6	13.38	7.76

Fuente: Elaboración propia

Tabla 31.

Carbono total en la cobertura vegetal

N°	Código de muestra	Peso seco de muestra (g)	Peso seco de BA T/ha	FC	Carbono total (TnC/ha)
1	BA-ZH-001	19	37.8	0.54	20.3
2	BA-ZS-002	15	29.84	0.41	12.17
3	BA-ZS-003	13	25.86	0.39	10.09
4	BA-ZH-004	19	37.8	0.46	17.25
5	BA-ZH-005	23	45.76	0.38	17.31
6	BA-ZS-006	13	25.86	0.45	11.61
7	BA-ZS-008	15	29.84	0.48	14.22
8	BA-ZH-009	19	37.8	0.42	15.78
9	BA-ZS-001	16	31.83	0.36	11.48
10	BA-ZS-002	15	29.84	0.46	13.8
11	BA-ZH-003	21	41.78	0.53	21.95
12	BA-ZH-004	20	39.79	0.38	15.13
13	BA-ZS-005	17	33.82	0.38	12.93
14	BA-ZH-006	21	41.78	0.5	20.8
15	BA-ZS-007	14	27.85	0.44	12.12

Fuente: Elaboración propia

Tabla 32.

Carbono total almacenado en la turba necromasa

Nº	Código de muestra	Peso seco de muestra (g)	Peso seco de NM T/Ha	FC	Carbono total TnC/ha
1	NM-ZH-001	42	83.56	0.5	41.93
2	NM-ZS-002	39	77.59	0.45	34.98
3	NM-ZS-003	28	55.7	0.4	22.27
4	NM-ZH-004	51	101.46	0.44	44.35
5	NM-ZH-005	45	89.52	0.34	30.53
6	NM-ZS-006	23	45.76	0.3	13.63
7	NM-ZS-008	31	61.67	0.45	27.56
8	NM-ZH-009	47	93.5	0.37	34.45
9	NM-ZS-001	61	121.36	0.21	25.45
10	NM-ZS-002	48	95.49	0.1	9.73
11	NM-ZH-003	38	75.6	0.33	25.19
12	NM-ZH-004	29	57.69	0.39	22.73
13	NM-ZS-005	33	65.65	0.43	28.31
14	NM-ZH-006	31	61.67	0.16	10.03
15	NM-ZS-007	29	57.69	0.32	18.21

Fuente: Elaboración propia

Tabla 33.

Carbono total almacenado en el suelo orgánico

Nº	Código de muestra	Peso seco (g)	Densidad aparente (g/m ³)	Peso seco de SO (g/m ³)	FC	Carbono Total (TnC/ha)
1	SO-ZH-001	110	136773.46	218.84	0.25	54.04
2	SO-ZS-002	572	711221.99	1137.96	0.3	345.71
3	SO-ZS-003	515	640348.47	1024.56	0.13	138.16
4	SO-ZH-004	754	937519.89	1500.03	0.14	214.04
5	SO-ZH-005	370	460056.18	736.09	0.91	70.41
6	SO-ZS-006	400	497358.03	795.77	0.1	86.1
7	SO-ZS-008	719	894001.07	1430.4	0.61	89.71
8	SO-ZH-009	392	487410.87	779.86	0.13	105.77
9	SO-ZS-001	379	471246.74	753.99	0.19	147.78
10	SO-ZS-002	145	180292.29	288.47	0.31	8.82
11	SO-ZH-003	137	170345.13	272.55	0.11	30.98
12	SO-ZH-004	762	947467.06	1515.95	0.13	193.73
13	SO-ZS-005	722	897731.25	1436.37	0.61	96.85
14	SO-ZH-006	500	621697.54	994.72	0.37	36.65
15	SO-ZS-007	847	1053155.6	1685.05	0.78	130.79

Fuente: Elaboración propia

ANEXO 02 FICHA DE ESPECIES MUESTREADAS – *DISTICHIA MUSCOIDES*

	
<i>Familia</i>	<i>JUNCACEAE</i>
<i>Nombre científico</i>	<i>Distichia muscoides</i>
<i>Nombre común</i>	<i>Pak'o hembra</i>
<i>Habito</i>	<i>Crecimiento en pisos altitudinales +4000 msnm</i>
<i>Características biológicas</i>	<i>Hierba perenne con tallos basales acuáticos. Forma cojines compactos planos. Hojas cilíndricas, rígidas, con un mucron blanquecino. Flores unisexuales. Fruto carnoso, amarillo a pardo-rojizo. Esta especie es dominante en el paisaje que habita y lo caracteriza. Ambiente primario: Humedales de altura, Humedales precordilleranos.</i>
<i>Estado de conservación</i>	-

ANEXO 03 FICHA DE ESPECIES MUESTREADAS – OXYCHLOE ANDINA

	
<i>Familia</i>	JUNCACEAE
<i>Nombre científico</i>	<i>Oxychloe andina</i>
<i>Nombre común</i>	Pak'ó
<i>Habito</i>	Crecimiento en pisos altitudinales +4000 msnm
<i>Características biológicas</i>	<p>Hierba perenne que forma densos cojines hemisféricos inicialmente. Hojas en roseta con ápices agudos y punzantes. Flores unisexuales; cada individuo con flores de un sexo, solitarias, terminales y purpúreas, las masculinas largamente pedunculadas y las femeninas sésiles. Fruto seco, rojizo-purpúreo, que se abre en su madurez. Esta especie es dominante en el paisaje que habita y lo caracteriza. Ambiente primario: Humedales de altura, Humedales precordilleranos.</p>
<i>ESTADO DE CONSERVACIÓN</i>	-

ANEXO 04 FICHAS DE MUESTREO DE CAMPO

 Universidad Privada de Tacna Facultad de Ingeniería		 Escuela de Ingeniería Ambiental			
FORMATO DE LABORATORIO					
DENSIDAD APARENTE - MUESTRA DE SUELO					
ENSAYO DE EXTRACCION DE MUESTRA					
BARRENO MANUAL					
DATOS GENERALES					
TÍTULO: "EVALUACIÓN DEL SERVICIO AMBIENTAL DE CAPTURA DE CARBONO EN LOS BOFEDALES DEL CENTRO POBLADO ALTO PERÚ, PROVINCIA DE TACNA, TACNA"					
RESPONSABLES					
<u>Código</u>	<u>Nombre completo</u>	<u>Código</u>	<u>Nombre completo</u>		
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>		
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>		
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>		
DATOS DE LA ZONA DE ESTUDIO					
<u>Norte</u>	<u>Elevación</u>	<u>Zona de estudio</u>			
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>			
<u>Este</u>	<u>Profundidad</u>				
<input type="text"/>	<input type="text"/>				
Datos de la muestra					
<u>Código</u>	<u>Tipo</u>	<u>Estrato</u>			
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>			
DATOS DEL ENSAYO					
<u>N°</u>	<u>Código de muestra</u>	<u>Peso húmedo</u>	<u>Peso seco</u>	<u>Altura (m)</u>	<u>Área del muestreador</u>
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
11					
12					
13					
14					
15					
Observaciones					

		Escuela de Ingeniería Ambiental			
FORMATO DE LABORATORIO					
FICHA DE MUESTREO					
ENSAYO DE EXTRACCION DE MUESTRA - TURBA/NECROMASA					
DATOS GENERALES					
TÍTULO: "EVALUACIÓN DEL SERVICIO AMBIENTAL DE CAPTURA DE CARBONO EN LOS BOFEDALES DEL CENTRO POBLADO ALTO PERÚ, PROVINCIA DE TACNA, TACNA"					
RESPONSABLES					
<u>Código</u>	<u>Nombre completo</u>	<u>Código</u>	<u>Nombre completo</u>		
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>		
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>		
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>		
DATOS DE LA ZONA DE ESTUDIO					
<u>Norte</u>	<u>Elevación</u>	<u>Zona de estudio</u>			
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>			
<u>Este</u>	<u>Profundidad</u>				
<input type="text"/>	<input type="text"/>				
Datos de la muestra					
<u>Código</u>	<u>Tipo</u>	<u>Estrato</u>			
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>		
DATOS DEL ENSAYO					
<u>N°</u>	<u>Código de muestra</u>	<u>Norte</u>	<u>Este</u>	<u>Peso</u>	<u>Tipo/especie</u>
1	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
2	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
3	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
4	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
5	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
6	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
7	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
8	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
9	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
10	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
11	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
12	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
13	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
14	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
15	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Observaciones					
<input type="text"/>					
<input type="text"/>					
<input type="text"/>					
<input type="text"/>					

 Universidad Privada de Tacna Facultad de Ingeniería		 Escuela de Ingeniería Ambiental			
FORMATO DE LABORATORIO					
FICHA DE MUESTREO					
ENSAYO DE EXTRACCION DE MUESTRA - COBERTURA VEGETAL					
DATOS GENERALES					
TÍTULO: "EVALUACIÓN DEL SERVICIO AMBIENTAL DE CAPTURA DE CARBONO EN LOS BOFEDALES DEL CENTRO POBLADO ALTO PERÚ, PROVINCIA DE TACNA, TACNA"					
RESPONSABLES					
<u>Código</u>	<u>Nombre completo</u>	<u>Código</u>	<u>Nombre completo</u>		
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>		
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>		
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>		
DATOS DE LA ZONA DE ESTUDIO					
<u>Norte</u>	<u>Elevación</u>	<u>Zona de estudio</u>			
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>			
<u>Este</u>	<u>Profundidad</u>				
<input type="text"/>	<input type="text"/>				
Datos de la muestra					
<u>Código</u>	<u>Tipo</u>	<u>Estrato</u>			
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>			
DATOS DEL ENSAYO					
<u>N°</u>	<u>Código de muestra</u>	<u>Norte</u>	<u>Este</u>	<u>Peso</u>	<u>Tipo/especie</u>
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
11					
12					
13					
14					
15					
Observaciones					

ANEXO 05 REGISTRO FOTOGRÁFICO

Figura 18. Identificación en campo de punto de muestreo

Fuente: Elaboración propia



Figura 19. Corte de la cobertura vegetal con radio muestreador

Fuente: Elaboración propia



Figura 20. Recolección de muestras en bolsas ziploc

Fuente: Elaboración propia



Figura 21. Recolección de muestra de turba y suelo con barreno manual

Fuente: Elaboración propia



Figura 22. Vista de zona seca del bofedal

Fuente: Elaboración propia



Figura 23. Tratamiento para el traslado de las muestras

Fuente: Elaboración propia



Figura 24. Pesaje y secado de muestras de suelo con estufa eléctrica

Fuente: Elaboración propia



Figura 25. Preparación de bolsas de papel para el secado de muestras de cobertura vegetal

Fuente: Elaboración propia



Figura 26. Separación manual de la turba del suelo

Fuente: Elaboración propia



Figura 27. Pesaje de muestras secas para determinación de fracción de carbono por el método de Walkley y Black

Fuente: Elaboración propia



Figura 28. Preparación para la oxidación de la muestra con dicromato de potasio

Fuente: Elaboración propia



Figura 29. Oxidación de muestra con dicromato de potasio y ácido sulfúrico

Fuente: Elaboración propia



Figura 30. Preparación de agua destilada y se titulación con sulfato ferroso amoniacal

Fuente: Elaboración propia

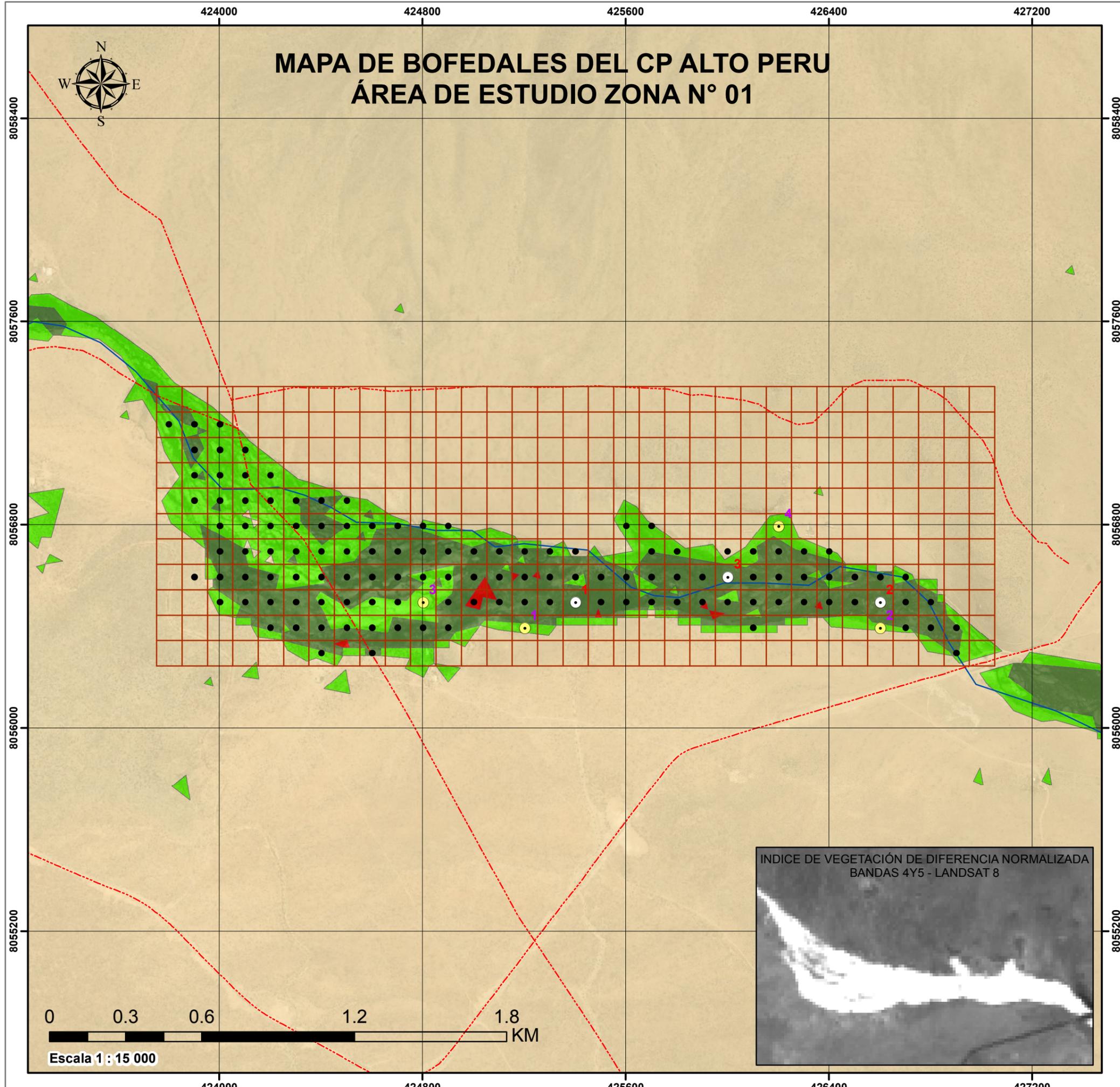


Figura 31. Viraje a color verde oscuro – fin de titulación

Fuente: Elaboración propia

ANEXO 06 MAPAS DE LA ZONA DE ESTUDIO

MAPA DE BOFEDALES DEL CP ALTO PERU ÁREA DE ESTUDIO ZONA N° 01



EVALUACIÓN DEL SERVICIO AMBIENTAL DE CAPTURA DE CARBONO DE LOS BOFEDALES DEL CENTRO POBLADO ALTO PERÚ, TACNA

LEYENDA

- PMUESTREO_SHISQ
- PMUESTREO_ZSISQ
- Eq_100M
- Grilla_isq
- - - Vias de acceso
- Rios

INDICE DE VEGETACIÓN DE DIFERENCIA NORMALIZADA

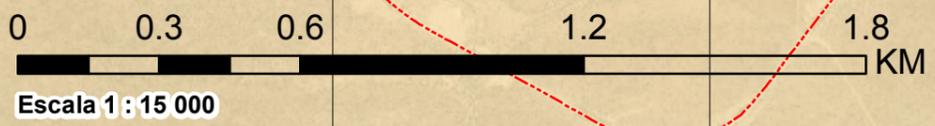
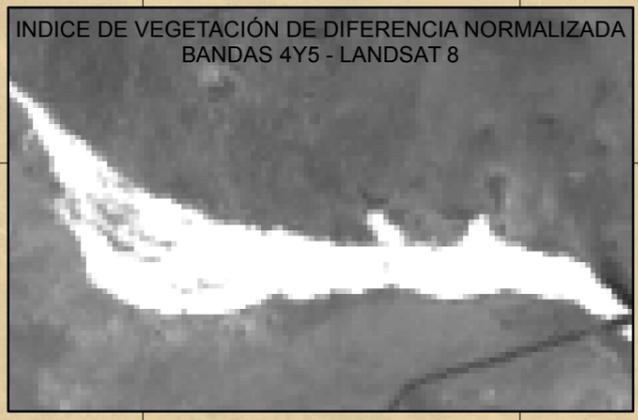
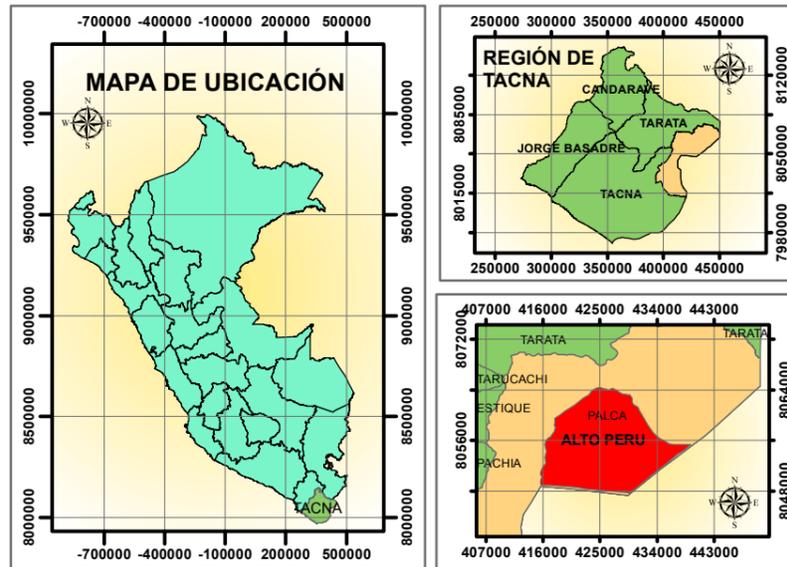
- 1. Suelo desnudo
- 2. Zona seca
- 3. Zona humeda
- 4. Zona saturada

MUESTRAS PARA ZONA SECA ISQUIERDA

N°	POINT_X	POINT_Y	POINT_Z
1	425203	8056394	0
2	426603	8056394	0
3	424803	8056494	0
4	426203	8056794	0

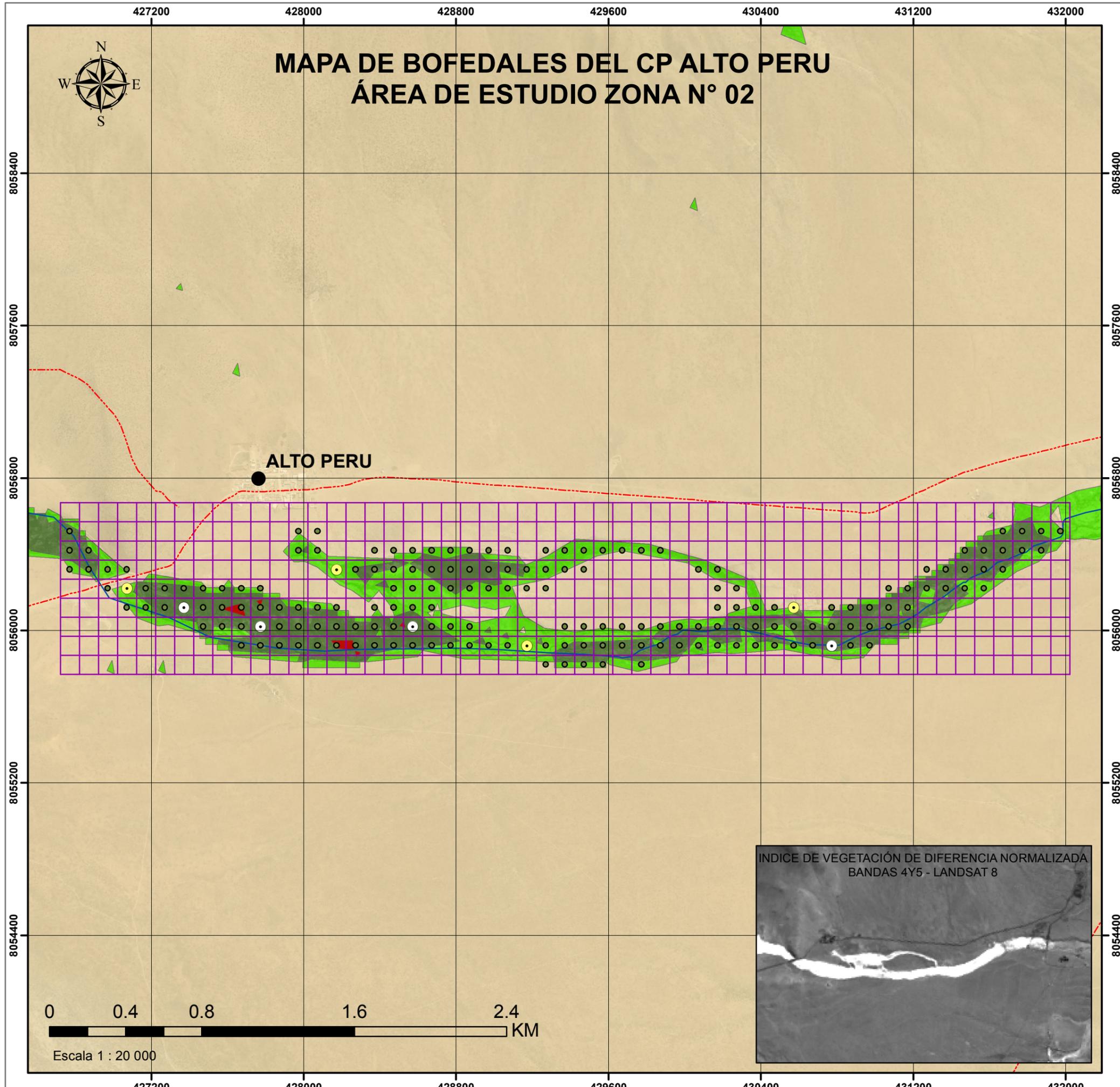
MUESTRAS PARA ZONA HUMEDA ISQUIEDA

N°	POINT_X	POINT_Y	POINT_Z
1	425403	8056494	0
2	426603	8056494	0
3	426003	8056594	0



Elipsoide : Sistema Geodesico Mundial 1984 (WGS84)
 Proyección : Universal Transverse Mercator (UTM)
 Zona : 19 Sur
 Datum Horizontal : WGS 84
 Datum vertical : Nivel Medio del Mar

MAPA DE BOFEDALES DEL CP ALTO PERU ÁREA DE ESTUDIO ZONA N° 02



EVALUACIÓN DEL SERVICIO AMBIENTAL DE CAPTURA DE CARBONO DE LOS BOFEDALES DEL CENTRO POBLADO ALTO PERÚ, TACNA

LEYENDA

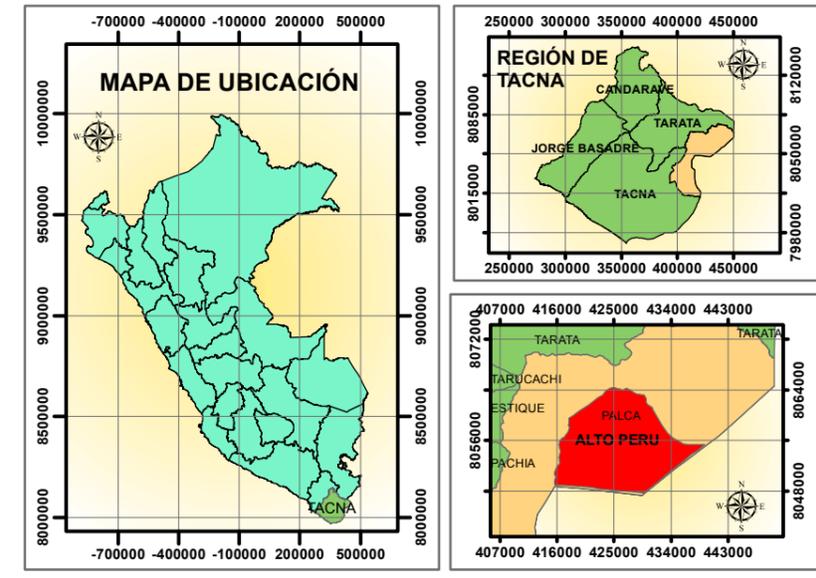
- PMUESTREO_ZSDER
- PMUESTREO_ZHDER
- Eq_100M
- Grilla_der
- Vias de acceso
- Rios
- CP_ALTO_PERU

INDICE DE VEGETACIÓN DE DIFERENCIA NORMALIZADA

- 1.Suelo_desnudo
- 2.Zona_seca
- 3.Zona_humeda
- 4.Zona_saturada

MUESTRAS PARA ZONA SECA DERECHA			
FID	POINT_X	POINT_Y	POINT_Z
1	429172	8055920	0
2	430572	8056120	0
3	427072	8056220	0
4	428172	8056320	0

MUESTRAS PARA ZONA HUMEDA DERECHA			
FID	POINT_X	POINT_Y	POINT_Z
1	430772	8055920	0
2	427772	8056020	0
3	428572	8056020	0
4	427372	8056120	0



Elipsoide : Sistema Geodesico Mundial 1984 (WGS84)
 Proyección : Universal Transverse Mercator (UTM)
 Zona : 19 Sur
 Datum Horizontal : WGS 84
 Datum vertical : Nivel Medio del Mar

NEXO 07: MATRIZ DE CONSISTENCIA

Planteamiento del problema	Hipótesis	Objetivos	Variables	Indicadores	Métodos	Estadística
¿Cuál será la fracción de carbono de la cobertura vegetal, turba y el suelo de los bofedales del Centro Poblado Alto Perú?	La fracción de carbono de la cobertura vegetal, turba y suelo orgánico nos brinda datos para estimar el carbono total almacenado en los bofedales del Centro Poblado Alto Perú.	Determinar la fracción de carbono presente en la cobertura vegetal, turba y suelo orgánico de los bofedales del Centro Poblado Alto Perú.	Fracción de carbono en la cobertura vegetal, turba y suelo orgánico	% Carbono en la biomasa herbácea aérea	Muestreo aleatorio, Método Walkey y Black (volumetría)	Regresión lineal
				% Carbono en la turba y suelo orgánico	Muestreo aleatorio, Método Walkey y Black (volumetría)	
¿Cuánto será el carbono total almacenado en los bofedales del Centro Poblado Alto Perú?	La cantidad de carbono total almacenado nos permitirá estimar el servicio ambiental de regulación en los bofedales del Centro Poblado Alto Perú.	Estimar cuantitativamente el carbono total almacenado en los bofedales del Centro Poblado Alto Perú.	Carbono almacenado total	Carbono total expresado en tC / ha	Cálculos correlativos, Guía Metodológica para determinación de carbono (ICRAF)	Regresión lineal