



Universidad Católica de Santa María

**Facultad de Arquitectura e Ingenierías Civil y del Ambiente
Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental**

**Evaluación ecológica de bofedales mediante monitoreo *in situ* y
teledetección para la elaboración de estrategias de conservación en la
Comunidad Campesina de Choqñihuaqui, Condesuyos - Arequipa 2023**

Tesis presentada por:

Miranda Vasquez, Judith Erika

ORCID: 0000-0002-2588-7803

Yepez Ramos, Karoll Marilia

ORCID: 0009-0007-9674-9401

para optar el Título Profesional de Ingeniero Ambiental

Asesor:

Dr. Arenazas Rodríguez, Armando Jacinto

ORCID: 0000-0002-0940-2204

Arequipa- Perú

2026

UCSM-ERP

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA
INGENIERIA AMBIENTAL
DICTAMEN DE APROBACIÓN DE BORRADOR
TITULACIÓN CON TESIS

Arequipa, 07 de Abril del 2026

Dictamen: 011080-C-EPIA-2026

Visto el Borrador del expediente 011080, presentado por:

2015700942 - MIRANDA VASQUEZ JUDITH ERIKA

2015102152 - YEPEZ RAMOS KAROLL MARILIA

Titulado:

**EVALUACIÓN ECOLÓGICA DE BOFEDALES MEDIANTE MONITOREO IN SITU Y TELEDETECCIÓN
PARA LA ELABORACIÓN DE ESTRATEGIAS DE CONSERVACIÓN EN LA COMUNIDAD CAMPESINA
DE CHOQŨIHUAQUI, CONDESUYOS - AREQUIPA 2023**

Nuestro dictamen es:

APROBADO

43606549 - CARDENAS PILLCO BERLY EDINSSON
DICTAMINADOR



46769238 - CHANOVE MANRIQUE ANDREA MARIETA
DICTAMINADOR



29407277 - ZEBALLOS PATRON HORACIO
DICTAMINADOR



Evaluación ecológica de bofedales mediante monitoreo in situ y teledetección para la elaboración de estrategias de conservación en la Comunidad Campesina de Choqñihuaqui, Condesuyos - Arequipa 2023

INFORME DE ORIGINALIDAD

7%

INDICE DE SIMILITUD

8%

FUENTES DE INTERNET

1%

PUBLICACIONES

3%

TRABAJOS DEL
ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1

repositorio.ucv.edu.pe

Fuente de Internet

2%

2

www.inaigem.gob.pe

Fuente de Internet

1%

3

hdl.handle.net

Fuente de Internet

1%

4

apirepositorio.unh.edu.pe

Fuente de Internet

1%

5

Submitted to Universidad Católica de Santa
María

Trabajo del estudiante

1%

6

repositorio.unasam.edu.pe

Fuente de Internet

1%

Excluir citas

Apagado

Excluir coincidencias < 1%

Excluir bibliografía

Apagado

Dedicatoria

A Herika, mi madre; mis abuelas Antuca, Sofía y a María Antonieta mi tía quienes a pesar de las adversidades, siguieron luchando hasta el final de sus vidas. Su fortaleza, coraje y valentía viven en mí, de ustedes nace mi resiliencia, por ustedes y con su guía lucharé siempre.

*A mi padre, Luis y mis hermanos Antonella y Luis David, por ser mi motivación y alegría.
A Karoll, mi mejor amiga y compañera en esta aventura. Gracias por tu apoyo constante, juntas lo logramos.*

*A Clemente, a quien admiro profundamente. Mi “persona vitamina”.
A mi segunda familia, mi equipo de Ares y Arcata. Gracias por su motivación y por creer en mí.*

A las comunidades altoandinas del Perú, cuya resiliencia y conexión con la naturaleza inspiran este trabajo.

Finalmente, a Killa y Molly, por enseñarme que el amor y la amistad trascienden los límites entre especies.

Judith Erika Miranda Vasquez

Dedico esta tesis a mi mamá, Lourdes, quien ha sido y será siempre el motor mío para levantarme cada vez más fuerte y fijar mi vista en un futuro mejor. Gracias por dar hasta lo imposible por vernos felices, seremos grandes Lulú.

A mis hermanos Darwin y Gladis, gran parte de lo que soy y de lo que he logrado es gracias a ustedes.

A mi mami Honoratita, quien seguramente ya hubiera sacado un vinito de su guardacho para brindar por este logro.

A Judita, mi mejor amiga, te dedico este esfuerzo nuestro que culmina hoy de manera tan satisfactoria. ¡Lo logramos!

Karoll Marilia Yopez Ramos

Agradecimientos

A nuestro asesor Dr. Armando Arenazas y a nuestros jurados Dr. Horacio Zeballos, Msc. Berly Cardenas y Msc. Andrea Chanove por su orientación y constante soporte a lo largo de esta investigación.

A Gian Pier, Akito y Wilber, por su valioso apoyo durante la evaluación en campo y la toma de muestras.

A nuestro querido amigo Juan de Dios, por brindarnos su incesante apoyo pero principalmente, por su amistad, sus consejos y sus constantes palabras de aliento para sacar adelante este proyecto.

Expresamos nuestro sincero agradecimiento a la comunidad de Choqñihuaqui por permitirnos desarrollar esta investigación. Admiramos profundamente su resiliencia y su capacidad de convivir en armonía con la naturaleza. Confiamos en que este proyecto contribuirá a fortalecer su visión y la gestión sostenible de sus valiosos bofedales.

Judith Erika Miranda Vasquez

Karoll Marilia Yopez Ramos

Epígrafe

Judith Erika Miranda Vasquez

“Sólo si entendemos, nos puede importar. Sólo si nos importa, podemos ayudar. Sólo si ayudamos, ellos se salvarán”

Jane Goodall

Karoll Marilia Yopez Ramos

— A lo mejor algún día todos regresaremos allí.
— ¿A dónde?
— Al origen del universo, de la vida, del tiempo... A la época anterior a que el mundo empezase. A lo mejor podríamos elegir otra dirección y vivir otra vida.

Baoshu

RESUMEN

Los bofedales son ecosistemas altoandinos de vital importancia, ya que actúan como reservorios de agua, reguladores hídricos y sumideros de carbono. En la comunidad campesina de Choqñihuaqui (Condesuyos, Arequipa), este ecosistema cumple un rol clave, aunque se encuentra bajo presión por el sobrepastoreo y la degradación de sus servicios. Es así como se realizó una evaluación *in situ* de la condición ecológica de dos bofedales mediante la aplicación de la guía aprobada por el Ministerio del Ambiente. No obstante, este tipo de evaluaciones suelen ser costosas y con limitada representatividad espacial. Una alternativa fue la aplicación del algoritmo Random Forest (RF) para la identificación de la cobertura del bofedal estudiado y la evaluación del estado de conservación con un índice ponderado de teledetección. Ello incluyó una evaluación de la vegetación (vigorosidad), erosión y humedad del suelo que fue validado estadísticamente aprovechando la información recolectada en campo.

Finalmente, se obtuvo una precisión del 96% para la clasificación de coberturas con el algoritmo RF. La matriz de Saaty para el análisis jerárquico indicó una relación coherente (0.0817) para las tres clases (vigorosidad, erosión y humedad), el r^2 entre el monitoreo de campo y el índice propuesto fue de 0.58 por efecto de un valor atípico, al descartarse este aumentó a 0.93. Los resultados indican una predominancia de bofedales muy bien conservados (1547.12 ha), seguidos por aquellos en buena conservación (23.46 ha) y, en menor medida, por los de conservación media (0.02 ha).

Con base en los resultados obtenidos, se plantearon lineamientos orientados a la conservación de los bofedales, que consideran el manejo sostenible de los pastizales, la gestión adecuada del recurso hídrico y ganadero, así como la sensibilización de la comunidad sobre la importancia de estos ecosistemas.

Palabras clave: Bofedales, Condición ecológica, Teledetección.

ABSTRACT

Wetlands are high-Andean ecosystems of vital importance, functioning as water reservoirs, hydrological regulators, and carbon sinks. In the rural community of Choqñihuaqui (Condesuyos, Arequipa), these ecosystems play a key role, but they are under increasing pressure due to overgrazing and the degradation of their ecosystem services. In this context, an in-situ assessment of the ecological condition of two wetlands was carried out using the official guideline approved by the Ministry of the Environment. However, such assessments are often costly and limited in spatial representativeness. As an alternative, the Random Forest (RF) algorithm was applied to identify the wetland cover and evaluate its conservation status through a weighted remote sensing index. This included an assessment of vegetation vigor, soil erosion, and soil moisture, which was statistically validated with the field data collected. The results showed a 96% accuracy in land cover classification using RF. The Saaty matrix for the hierarchical analysis indicated a consistent relationship (0.0817) for the three classes (vigor, erosion, and moisture), while the r^2 between field monitoring and the proposed index was 0.58; after excluding an outlier, it increased to 0.93. The findings highlight a predominance of very well-preserved wetlands (1547.12 ha), followed by those in good condition (23.46 ha) and, to a lesser extent, those with medium conservation (0.02 ha). Based on these results, management guidelines were proposed to support wetlands conservation, including sustainable grazing practices, adequate water and livestock management, and community awareness of the importance of these ecosystems.

Key words: Wetlands, ecological condition, remote sensing.

ÍNDICE

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTOS

EPÍGRAFE

RESUMEN

ABSTRACT

INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I	3
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	4
1.1 Problemática de la investigación.....	4
1.2 Justificación de la investigación.....	6
1.2.1 Justificación Ambiental	6
1.2.2 Justificación Social	7
1.2.3 Justificación Económica	8
1.2.4 Justificación Político / Institucional.....	8
1.2.5 Justificación Técnico / científico	9
1.3 Objetivo general y objetivos específicos.....	10
1.3.1 Objetivo general.....	10
1.3.2 Objetivos específicos	10
1.4 Hipótesis.....	10
CAPÍTULO II	11

2. FUNDAMENTO TEÓRICO.....	12
2.1 Antecedentes de la investigación	12
2.2 Marco teórico	17
2.2.1 Definición y características de los bofedales	17
2.2.2 Importancia ecológica y social de los bofedales.....	18
2.2.3 Tipos de bofedales	18
2.2.4 Ecología de los Bofedales	24
2.2.5 Teledetección y Análisis de Índices de Vegetación.....	29
2.2.6 Modelos y plataformas para análisis espacial e hidrológico.....	33
2.2.7 Desafíos y Estrategias para la Conservación de Bofedales en Perú	35
2.3 Marco legal.....	36
CAPÍTULO III.....	41
3. METODOLOGÍA.....	42
3.1 Tipo y nivel de investigación	42
3.2 Métodos.....	42
3.2.1 Área y temporalidad del estudio	42
3.2.2 Materiales y equipos	43
3.3 Metodología	45

3.3.1	Determinación de la condición ecológica de los bofedales de la Comunidad Campesina de Choqñihuaqui considerando los atributos de agua, suelo, condiciones bióticas y alteraciones en el paisaje.....	45
3.3.2	Identificación de las coberturas de los bofedales mediante imágenes satelitales y algoritmos de teledetección.....	61
3.3.3	Relación entre el estado de conservación de los bofedales mediante un índice ponderado de teledetección y la evaluación <i>in situ</i>	69
3.3.4	Planteamiento de lineamientos de conservación para el manejo sostenible de los bofedales estudiados	74
CAPÍTULO IV		76
4.	RESULTADOS	77
4.1	Resultados del valor ecológico de los bofedales, considerando la condición del agua, suelo, factor biótico y alteraciones en el paisaje.....	77
4.1.1	Resultados de la evaluación del atributo condición del agua en los bofedales.....	78
4.1.2	Resultados de la evaluación del atributo condición del suelo en los bofedales.....	81
4.1.3	Resultados de la evaluación del atributo condición de la biota en los bofedales ...	87
4.1.4	Resultados de la evaluación del atributo Alteración en el paisaje	93
4.1.5	Cálculo de la condición ecológica de los bofedales estudiados.....	97
4.2	Identificación de coberturas de los bofedales de la C.C. de Choqñihuaqui mediante imágenes satelitales y algoritmos de teledetección.....	100

4.3	Relación del estado de conservación de los bofedales de la C.C. de Choqñihuaqui mediante un índice ponderado de teledetección y la evaluación <i>in situ</i>	102
4.3.1	Validación estadística del índice ponderado.....	105
4.4	Estrategias para la conservación de los bofedales de la C.C. de Choqñihuaqui	109
CAPÍTULO V		113
5	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	114
5.1	Conclusiones	114
5.2	Recomendaciones	116
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		117
ANEXOS		135

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Servicios ecosistémicos que brindan los humedales altoandinos	21
Tabla 2 Materiales, herramientas y equipos usados en la fase de campo	44
Tabla 3 Materiales, herramientas y equipos usados en la fase de gabinete	45
Tabla 4 Escala de signos de erosión para la evaluación del atributo suelo en bofedales.....	51
Tabla 5 Categorías por presencia de factores a por abundancia e intensidad para evaluar el nivel de degradación en bofedales	54
Tabla 6 Factores de degradación en bofedales.....	55
Tabla 7 Infraestructuras o alteraciones que condicionan la conectividad hidrológica en los bofedales	56
Tabla 8 Formato de los valores de referencia para el cálculo del valor ecológico	58
Tabla 9 Características espectrales de imagen Sentinel 2.....	63
Tabla 10 Descriptores jerárquicos para la matriz de Saaty.....	69
Tabla 11 Coordenadas de los puntos de monitoreo para la evaluación de bofedales	77
Tabla 12 Valoración del atributo Condición del agua para los bofedales de CC Choqñihuaqui. 78	
Tabla 13 Valoración del atributo Condición del suelo para los bofedales de CC Choqñihuaqui 81	
Tabla 14 Lista de especies representativas encontradas en los bofedales evaluados.....	87
Tabla 15 Valoración del atributo Condición de la biota para los bofedales de CC Choqñihuaqui	89
Tabla 16 Valoración del atributo Alteración en el paisaje para los bofedales de CC Choqñihuaqui	93
Tabla 17 Condición ecológica de los bofedales evaluados BOF-01 y BOF-02.....	97
Tabla 18 Matriz de confusión para la identificación de bofedales en la C.C. de Choqñihuaqui	101

Tabla 19 Índices de consistencia del método AHP.....	104
Tabla 20 Pesos de los criterios de degradación del bofedal obtenidos mediante método AHP	104
Tabla 21 Propuesta de clasificación del estado de conservación de los bofedales	105



LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Mapa de ubicación del área de estudio.....	43
Figura 2 Proceso metodológico de aplicación según la guía del MINAM para la evaluación de bofedales	46
Figura 3 Mapa de ubicación de las estaciones de monitoreo.....	47
Figura 4 Uso de barreno para elaboración de hoyos y medición del nivel de la napa freática....	48
Figura 5 Medición de conductividad eléctrica y parámetros de campo	49
Figura 6 Identificación de la profundidad de la turba y toma de muestra de materia orgánica...	50
Figura 7 Identificación de especies nativas en el transecto de 50 m	52
Figura 8 Identificación de especies : “ <i>Ourisia muscosa</i> ” y “ <i>Werneria microphylla</i> ”	52
Figura 9 Determinación de la cobertura vegetal utilizando cuadrante de 1m x 1m	53
Figura 10 Recolección de biomasa área durante la evaluación	53
Figura 11 Composición falso color (1183) para bofedales y lagunas.....	64
Figura 12 Composición falso color (1183) para glaciares	65
Figura 13 Flujograma para la predicción de algoritmo Random Forest	66
Figura 14 Diseño de respuesta de complemento AcATaMa	68
Figura 15 Capas NDVI, SMMI y erosión en la Comunidad Campesina de Choqñihuaqui	73
Figura 16 Flujograma del procesamiento de imágenes para la estimación del estado de conservación de bofedales en la C.C. de Choqñihuaqui	74
Figura 17 Profundidad de la napa freática (cm) por unidad muestral	79
Figura 18 Conductividad eléctrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$) por unidad muestral.....	80
Figura 19 Profundidad de la turba (cm) por unidad muestral.....	82
Figura 20 Materia orgánica (%) por unidad muestral.....	83

Figura 21 Densidad aparente (g/cm ³) por unidad muestral.....	84
Figura 22 BOF-01 (5) – Ponderación “A”	85
Figura 23 BOF-01 (7) - Ponderación “A”	85
Figura 24 BOF-01 (4) – Ponderación “B”	85
Figura 25 BOF-02 (4) - Ponderación “B”	85
Figura 26 BOF-01 (2) - Ponderación “C”	86
Figura 27 Porcentaje de especies nativas por unidad muestral.....	90
Figura 28 Géneros con mayor número de especies en los bofedales estudiados.....	92
Figura 29 Riqueza de especies por unidad muestral en los bofedales evaluados	93
Figura 30 BOF-01 (7) – Ponderación “A”	95
Figura 31 BOF-02 (3) - Ponderación “A”	95
Figura 32 BOF-01 (3) – Ponderación “B”	95
Figura 33 BOF-01 (5) - Ponderación “B”	95
Figura 34 BOF-01 (5) – Ponderación “B”	96
Figura 35 BOF-01 (5) - Ponderación “B”	96
Figura 36 BOF-02 (1) – Ponderación “B”	97
Figura 37 BOF-02 (4) - Ponderación “B”	97
Figura 38 Delimitación de las áreas que ocupan los bofedales de la C.C. de Choqñihuaqui....	101
Figura 39 Mapa de la clasificación de los bofedales correspondiente a la C.C. de Choqñihuaqui	107

INTRODUCCIÓN

Los bofedales son ecosistemas altoandinos de vital importancia a nivel ecológico, social y económico, debido a los múltiples servicios ecosistémicos que brindan como reservorios naturales de agua, reguladores del ciclo hídrico y sumideros de carbono. Asimismo, son ecosistemas que albergan una rica biodiversidad a nivel de flora y fauna, y proveen de recursos para la ganadería y el consumo humano. Sin embargo, su conservación enfrenta diversos desafíos debido a las actividades humanas y a los efectos del cambio climático.

En la comunidad campesina de Choqñihuaqui, provincia de Condesuyos, Arequipa, los bofedales constituyen un componente clave para la dinámica ecológica y en el sustento de la población por el tipo de actividades económicas que tienen. No obstante, estos ecosistemas a su vez se encuentran afectados debido al sobrepastoreo, inadecuada gestión del recurso hídrico y los impactos de las variaciones climáticas. Estos factores contribuyen a la degradación de los bofedales de manera que alteran su capacidad para proveer servicios ecosistémicos y, por ende, el sustento local. En ese sentido, la evaluación de la condición ecológica de los bofedales es una herramienta fundamental para identificar su estado de conservación y las amenazas que enfrentan. Así pues, la integración de metodologías de campo y análisis remotos, como el uso de índices de vegetación para procesamiento de imágenes satelitales, se configura como un enfoque integral para monitorear estos ecosistemas.

El presente estudio tiene como objetivo principal evaluar la condición ecológica de los bofedales en la comunidad campesina de Choqñihuaqui. Para ello, se empleó la Guía de evaluación de bofedales del Perú para realizar el trabajo en campo y evaluar dos bofedales de la comunidad mencionada. Por otro lado, se empleó herramientas de teledetección, como la aplicación de índices NDVI o NDWI, para identificar el estado general del total de bofedales pertenecientes a la C.C.

de Choqñihuaqui. Ello permitió proponer estrategias de conservación para la gestión sostenible del ecosistema estudiado.





CAPÍTULO I

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Problemática de la investigación

Los bofedales constituyen ecosistemas ubicados en zonas de gran altitud característicos de la cordillera de los Andes, clasificados como humedales de tipo altoandino. Se desarrollan en áreas con saturación hídrica permanente o estacional, producto de la acumulación de materia orgánica en el suelo, lo que genera condiciones de escaso drenaje y alta capacidad de retención de humedad (MINAM, 2015). Su rango altitudinal se extiende aproximadamente entre los 3000 y 5000 metros sobre el nivel del mar, abarcando zonas clave para la regulación hídrica y el sostenimiento de la biodiversidad andina (USAID, 2022).

Estos ecosistemas suelen ser denominados “multifuncionales” debido a los servicios ecosistémicos que brindan; como lo son: la recarga de aguas subterráneas, retención de agua, regulación de caudales, mejora de la calidad del agua, hábitat para la vida silvestre, secuestro de carbono y al mismo tiempo representan un patrimonio cultural invaluable (Maldonado, 2014). Además, su dependencia a factores hidrológicos y de temperatura los hace vulnerables a los efectos del cambio climático, al mismo tiempo su interrelación en demasía con factores antrópicos como lo son el sobrepastoreo, la extracción de turba o “champas” y el drenaje de los mismos representa una amenaza para estos ecosistemas. (INAIGEM, 2023; MINAM, 2015; Fernández-Baca, 2021).

Según el Inventario Nacional de Bofedales (INAIGEM, 2023), se estima que el Perú cuenta con una extensión aproximada de 1 052 210.6 ha de bofedales, lo que equivale al 0.8 % de su territorio. De estos, solo el 7.21 % se encuentran ubicados en Áreas de Conservación, mientras que el 20.2 % se encuentran en comunidades campesinas (CC), siendo Arequipa el departamento con la mayor extensión de bofedales en estas áreas (16.2 %). La relevancia de los bofedales para las comunidades campesinas es incalculable, ya que muchos de estos ecosistemas son fundamentales

para el sustento de las comunidades, proporcionando pastos y agua esenciales para la crianza de ganado. De esta manera, la economía y los medios de vida de estas comunidades dependen estrechamente de la buena calidad y conservación de los bofedales (INAIGEM, 2023).

Nuestra área de estudio se localiza en los bofedales de la comunidad campesina de Choqñihuaqui, los cuales se encuentran a 4,850 m.s.n.m. y pertenecen al Distrito de Cayarani, Provincia de Condesuyos en el Departamento de Arequipa. Estos bofedales se ubican en la cabecera de la Intercuenca de Alto Apurímac, por lo tanto, sus afluentes derivan hacia la vertiente del Atlántico alimentando en su paso a los ríos amazónicos que allí se encuentran. Actualmente se desconoce el estado de conservación de estos bofedales puesto que no se ha realizado ningún estudio de línea base que determine las condiciones ambientales que presentan estos ecosistemas.

Según el último censo realizado en la comunidad en el año 2016 se contaba con 173 pobladores empadronados en la comunidad, de los cuales se estima que el 80% se dedica a la ganadería de alpacas, llamas y ovejas. Según el último padrón de ganado realizado en el 2021 se cuenta con 12 000 cabezas de ganado en la zona (CMA, 2021), lo cual nos sugiere que puede existir sobrepastoreo, lo que podría estar contribuyendo al deterioro de este ecosistema.

Por lo tanto, y según la problemática expuesta, este proyecto de tesis tiene por objetivo principal evaluar la condición ecológica en la que se encuentran los bofedales para proponer estrategias de conservación para estos ecosistemas. Ello servirá como un instrumento base para orientar la gestión de los bofedales y toma de decisiones por parte de los miembros de la comunidad campesina y puedan ser involucrados en el manejo sostenible de los recursos que ellos proveen.

1.2 Justificación de la investigación

1.2.1 Justificación Ambiental

Los bofedales son considerados por la Convención Ramsar como ecosistemas de alta fragilidad, vulnerables tanto a causas naturales, como el cambio climático y las sequías prolongadas, como a la intervención humana, especialmente el sobrepastoreo. Esta convención, además, reconoce y promueve la conservación y el uso racional de los humedales, siendo el único tratado mundial enfocado en la gestión de estos ecosistemas (RAMSAR, 1975). En la actualidad el manejo de estos ecosistemas aún representa un reto mundial motivo por el cual diversas organizaciones internacionales han decidido unir esfuerzos para establecer la importancia de mantener el equilibrio en el eje social, económico y ambiental (PNUD,2022). En ese sentido se decidió incluir la protección ambiental dentro de los 17 objetivos de desarrollo sostenible. Este proyecto de investigación está alineado al cumplimiento de los objetivos N°11 “Ciudades y comunidades sostenibles”, N°13 “Acción por el clima” y el N°15 “Vida de ecosistemas terrestres”.

En cuanto al contexto nacional, La Agenda De Investigación Ambiental al 2030 establecida por el Ministerio del Ambiente (MINAM), determina como uno de sus ejes estratégicos la “Conservación y manejo sostenible de humedales y otros ecosistemas frágiles” que tiene como objetivo mejorar la generación de conocimientos orientados a evitar el deterioro de los ecosistemas utilizados por las comunidades.

Los humedales altoandinos actúan como reservorios de agua, rellenándose durante las estaciones y años húmedos, y descargando agua durante los períodos secos. Los humedales no solo facilitan la recarga de agua subterránea, sino que también ayudan en la acumulación de sedimentos, la retención de contaminantes y el control de la erosión (Buytaert et al., 2011). Además, su vegetación

perenne característica sirve de forraje para el ganado camélido económicamente significativo en la región.

Recientemente el MINAM estableció la Resolución Ministerial N° 101-2024-MINAM mediante el cual establece los “Criterios para la priorización de humedales en el Perú” los cuales tienen como finalidad promover la conservación, recuperación y el uso sostenible de los mismos.

En ese sentido, evaluar el estado de conservación de este ecosistema frágil es prioritario según la agenda de investigación ambiental al 2030 en el país. Por este motivo, la presente investigación contribuye a generar información ambiental que puede ser utilizada por diversos *stakeholders* involucrados en la gestión de ecosistemas. Además, este estudio proporciona las bases para desarrollar investigaciones relacionadas con el almacenamiento de carbono, la resiliencia de los ecosistemas frente al cambio climático, entre otros temas.

Por último, esta investigación tiene como objetivo determinar la condición ecológica de los humedales altoandinos ubicados en la comunidad campesina (CC) de Choqñihuaqui, con el fin de proporcionar un instrumento clave para los gobiernos regionales y locales de la zona. Así, se busca favorecer la implementación de medidas de gestión, manejo, conservación y/o restauración para los bofedales.

1.2.2 Justificación Social

La conservación de los bofedales es de gran importancia, ya que estos ecosistemas refuerzan la seguridad alimentaria y la economía local de las comunidades. En el caso específico de Choqñihuaqui, el estado de los bofedales impacta directamente en la asociación de ganaderos de alpacas, cuya actividad representa el principal medio de vida de sus habitantes.

Según el censo realizado por una empresa minera cercana a la comunidad campesina (CC) de Choqñihuaqui en 2016, la población de la comunidad era de 171 habitantes, de los cuales el 70.8% eran hombres y el 29.2% mujeres. Además, según el mismo censo, la dinámica social de la comunidad sigue centrada principalmente en la actividad ganadera de autosustento. En este contexto, la producción alpaquera es principalmente responsabilidad de las mujeres y los niños de la zona. Por lo tanto, es fundamental abordar la gestión de estos ecosistemas desde una perspectiva técnica, reconociendo primero la condición ecológica de los bofedales, para luego establecer una propuesta de gestión sostenible que involucre a los pobladores locales y favorezca su desarrollo social a mediano plazo.

1.2.3 Justificación Económica

Actualmente las principales actividades económicas realizadas por los pobladores de la Comunidad Campesina de Choqñihuaqui son la minería y ganadería donde destaca principalmente la crianza de camélidos sudamericanos (INFORME N° 346-2018-SENACE-PE/DEAR, 2018). Según el último padrón de ganado realizado en el 2021 se cuenta con 12 000 cabezas de ganado en la zona (CENSO CMA, 2021).

Al obtener una evaluación preliminar del estado de conservación de los bofedales de la Comunidad Campesina de Choqñihuaqui se podrá brindar los lineamientos base para mejorar el manejo de bofedales en la zona. Ello permitirá potenciar los beneficios económicos de los servicios ecosistémicos que le brindan a la población como lo son la mejora de bienes atribuidos de la ganadería.

1.2.4 Justificación Político / Institucional

Mediante DS N°004-2015 MINAM se aprueba la “Estrategia Nacional de Humedales” en la cual se establecen los lineamientos correspondientes al Fortalecimiento de las capacidades para la

gestión de los humedales en el estado peruano, asimismo se menciona que esto debe ser acorde a los acuerdos establecidos en la Convención Ramsar. Posterior a ello y mediante la aprobación del DS 006-2021” Disposiciones generales para la gestión multisectorial y descentralizada de los humedales” el Estado Peruano ratifica la importancia de estos ecosistemas y brinda los lineamientos necesarios para su conservación y defensa. Al realizar este estudio se pueden establecer alianzas por parte de la comunidad con entes del estado, gobiernos regionales, locales y ONG’s a fin de ejecutar proyectos que puedan ser de beneficio para la comunidad y puedan potenciar la provisión de los servicios ecosistémicos de los bofedales.

1.2.5 Justificación Técnico / científico

La presente investigación emplea la Guía de Evaluación de Bofedales del Ministerio del Ambiente (MINAM) como herramienta para generar información y fomentar el uso de este instrumento propuesto por el estado peruano. Dicha guía permite realizar una evaluación estandarizada con el objetivo de determinar el estado de conservación de los bofedales. Asimismo, se busca incorporar el uso de imágenes satelitales para complementar el análisis de datos mediante teledetección.

De este modo, se pretende aplicar la metodología propuesta para determinar la condición ecológica de los bofedales en toda el área delimitada de la comunidad, mediante la validación de los resultados obtenidos a partir de los monitoreos de campo. Esto permitirá establecer recomendaciones y sugerencias que optimicen el proceso de evaluación de estos ecosistemas en la comunidad, así como valorar críticamente el aporte de la teledetección en combinación con el trabajo de campo preliminar.

1.3 Objetivo general y objetivos específicos

1.3.1 Objetivo general

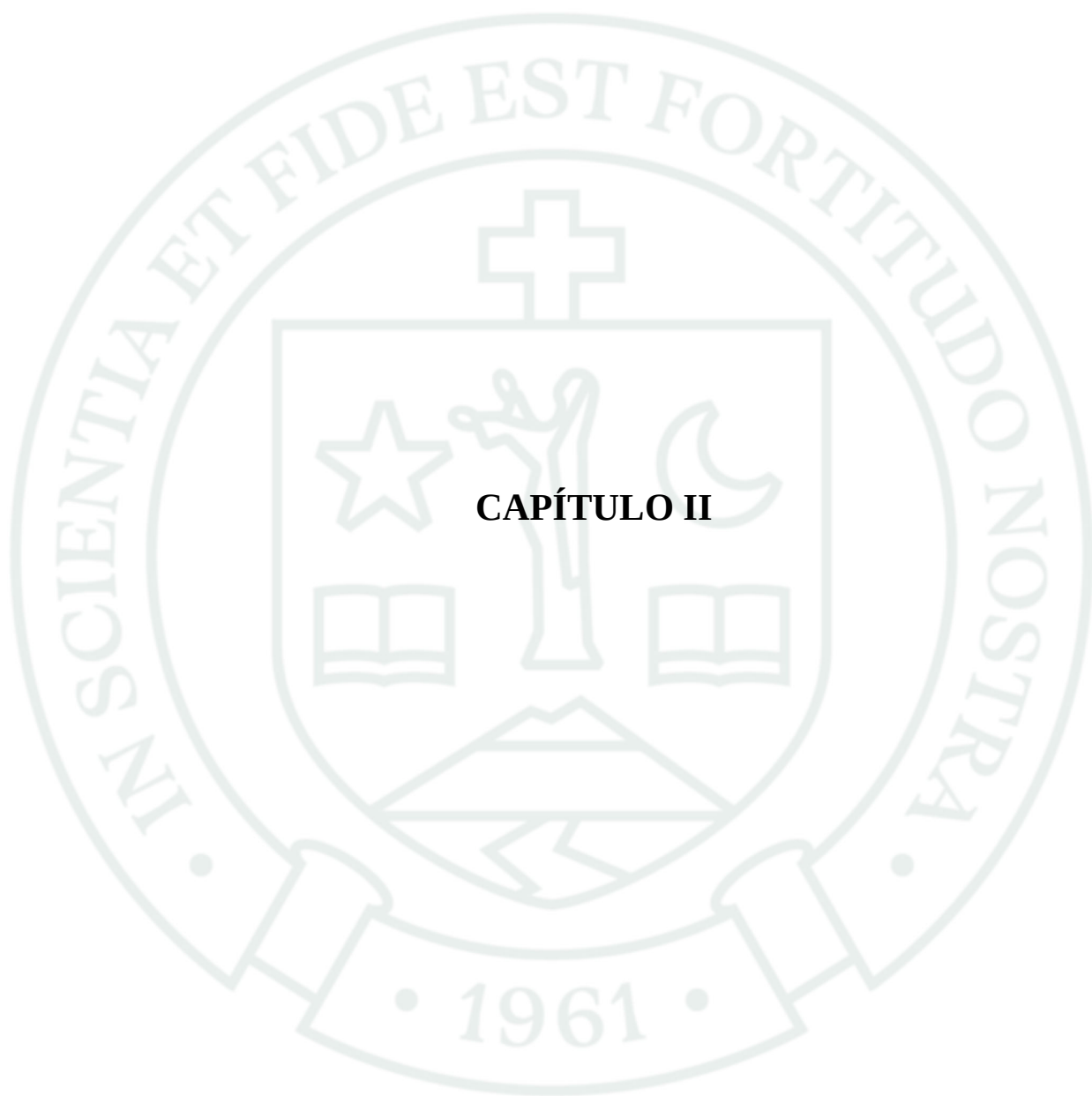
Evaluar la condición ecológica de los bofedales en la Comunidad Campesina (C.C.) de Choqñihuaqui, Provincia de Condesuyos, Arequipa.

1.3.2 Objetivos específicos

- Determinar la condición ecológica *in situ* de los bofedales de la C.C. de Choqñihuaqui considerando los atributos de agua, suelo, condiciones bióticas y alteraciones en el paisaje.
- Identificar las coberturas de los bofedales de la C.C. de Choqñihuaqui mediante imágenes satelitales y algoritmos de teledetección
- Relacionar el estado de conservación de los bofedales de la C.C. de Choqñihuaqui mediante un índice ponderado de teledetección y la evaluación *in situ*.
- Proponer estrategias para la conservación de los bofedales de la C.C. de Choqñihuaqui.

1.4 Hipótesis

La integración de la evaluación *in situ* mediante la Guía de Evaluación de Bofedales del Perú y el análisis mediante algoritmos de teledetección permite una evaluación representativa de la condición ecológica de los bofedales de la C.C. de Choqñihuaqui, de manera que, se pueda formular estrategias de conservación sostenibles para la comunidad.



CAPÍTULO II

2. FUNDAMENTO TEÓRICO

2.1 Antecedentes de la investigación

La creciente preocupación por conservar ecosistemas tan frágiles como son los bofedales se ha traducido en la implementación de diversas iniciativas a nivel local, nacional e internacional. Ello ha sido fruto de numerosas investigaciones enfocadas en la identificación y extensión de bofedales, así como el análisis del estado ecológico en el que se encuentran; entre otros factores. En ese sentido, se ha revisado literatura reciente y relevante relacionada al tema que aborda la presente investigación.

Los bofedales desempeñan un rol fundamental no solo en la regulación hídrica, sino también en el sustento de las comunidades locales. Si bien existen estudios que indican una condición favorable de conservación (Anguosa y Martinez, 2022), estos ecosistemas usualmente enfrentan múltiples amenazas que alteran su integridad ecológica. Ello fue estudiado por Castro (2021), quien analizó la cobertura vegetal de bofedales de Tinyaclla y Pueblo Libre, Huancavelica. Su estudio encontró que el sobrepastoreo de la zona estaría provocando efectos negativos en el estado de conservación de dicho ecosistema, ya que se evidenció la pérdida de cobertura vegetal (de 18.7 % y 11.98 %) entre los años 2016 a 2018. Lamentablemente estos ecosistemas reciben diferentes presiones tanto naturales como antrópicas, siendo una de ellas la extracción de la turba (Salvador et al 2014). En dicho estudio se encontró que las especies más usadas son *Distichia* y *Plantago*; debido a la alta productividad y biomasa forrajera que poseen. Por su parte, Limo (2023) evaluó los bofedales ubicados en la subcuenca Santa Eulalia, Lima y encontró que dichos ecosistemas estaban siendo afectados principalmente por la extracción de turba con fines comerciales. Otro factor que impacta a los bofedales suele ser la presencia de campamentos mineros, tal como estableció García y Peralta (2021). Los resultados muestran una óptima conservación del recurso hídrico en los

bofedales; no obstante, algunos parámetros (hierro, magnesio y zinc) superan los valores ECA, debido a pasivos mineros en la zona. En dicho estudio también fueron registradas 9 familias de plantas, siendo las de mayor presencia: Asteraceae, Juncaceae, Plantaginaceae, Poaceae y Rosaceae; mientras que las de menor presencia fueron *Alchemilla orbiculata*, *Cotula mexicana* y *Plantago tubulosa*.

En cuanto a la composición florística, Monge-Salazar et al. (2022) evaluaron la vegetación presente tanto en un bofedal natural como uno artificial ubicados en la comunidad de Chalhuanca, provincia de Caylloma. Encontraron que la especie más dominante fue *Distichia muscoides*, seguida por *Calamagrostis rigescens*. Asimismo, encontraron que la composición de la comunidad vegetal estaba relacionada estrechamente con el contenido de carbono orgánico del suelo y la conductividad eléctrica del agua. En la misma línea, se enmarca la investigación realizada por Maldonado-Fonkén et al. (2024) quienes identificaron 13 comunidades vegetales en bofedales del sur del Perú. En casi el total de sitios estudiados (30 de 31) encontraron que las especies más frecuentes son *D. muscoides*, *Plantago tubulosa* y *Rockhausenia pygmaea*, evidenciando una heterogeneidad florística tanto a nivel local como regional que, de acuerdo a las conclusiones señaladas, debe considerarse al momento de diseñar estrategias de manejo y conservación.

Por otro lado, el empleo de la teledetección ha sido necesaria y ampliamente usada para determinar cambios en el tiempo, cobertura vegetal, variabilidad climática, entre otros aspectos. En cuanto a la clasificación de coberturas vegetales, Puerta et al. (2023) realizaron una revisión sistemática de 65 estudios publicados en bases de datos como Scopus y Science Direct, con la finalidad de evaluar la utilidad de Sentinel-2 en el estudio de dicho parámetro. Dicha revisión pudo demostrar que las imágenes S-2 presentan un potencial enorme debido a la alta resolución que poseen y su acceso gratuito, además encontraron que los usuarios suelen combinar su uso con Random Forest, ya que

con este clasificador pueden lograr una exactitud temática mayor al 85 %. En cuanto a estudios de variabilidad en el tiempo, tenemos a De la Fuente et al. (2021), quienes utilizaron series temporales de datos Landsat de 1984 a 2019 para estudiar 10 humedales altoandinos. Los resultados muestran que el depósito de agua subterránea juega un rol importante para el mantenimiento de los humedales altoandinos. Llegan a la conclusión de que la extracción de aguas subterráneas debe planificarse con especial atención a largo plazo, dado que la recuperación de los niveles acuíferos puede demorar varias décadas. A nivel nacional, Silva et al. (2021) determinaron la relación entre la precipitación, el monitoreo de la napa freática, y la identificación de la variación de la cobertura vegetal, mediante el Índice de vegetación normalizada (NDVI). Se determina que la interacción entre la napa freática y la precipitación influye en la extensión y el tipo de formación vegetal, cuya composición varía según la estación. Por su parte, Villanueva (2024) examinó el cambio y progreso de la cobertura vegetal en la subcuenca del río Quillcay entre 1987 y 2023 mediante el cálculo y análisis comparativo de los valores de NDVI derivados de imágenes satelitales Landsat 5 (Thematic Mapper), Landsat 8 (Operational Land Imager) y trabajo de campo. El estudio concluye resaltando cambios significativos a lo largo de los años entre las distintas zonas analizadas de la cuenca y del Parque Nacional Huascarán. En la parte inferior, se observó un aumento del NDVI a causa de la plantación de eucaliptos con propósitos energéticos y como vallas vivas. Situación similar se observó en la región de amortiguamiento, donde la elevación del NDVI se atribuye a las plantaciones de pinos próximas a dicha región; así como la parte central donde se han preservado las zonas con bosques y matorrales densos mostrando un NDVI elevado. Por otro lado, debido al crecimiento de la ciudad de Huaraz y el abarcamiento de zonas agrícolas y forestales, ha ocasionado la disminución del NDVI a valores cercano a cero.

La teledetección también se ha empleado para evaluar el estado de salud en el que se encuentran los bofedales (Machuca y Uzquiano, 2021). Junto al análisis de imágenes satelitales Landsat 8 y el uso de la guía de evaluación del ecosistema de bofedal, se determinó que en la Microcuenca de Acocancha, los bofedales estudiados se encuentran en estado regular. Por otro lado, tenemos investigaciones que recolectan únicamente la información en campo, ya sea mediante la medición de parámetros fisicoquímicos, uso de transectos, puntos de muestreo, observación directa, entre otros. En ese sentido, Gonzales (2018) realizó un estudio para evaluar el nivel de la napa freática, pH del agua y suelo, densidad aparente, materia orgánica, carbono total y vegetación en tres bofedales de la región Ancash, encontrando un estado de conservación bueno en general, siendo estos ecosistemas afectados principalmente por el pastoreo.

Estas investigaciones, realizadas a nivel nacional, se enmarcan en un momento previo a la publicación de la guía oficial de evaluación de bofedales que ocurrió en el año 2020. Este aporte realizado por el MINAM ha permitido uniformizar los métodos empleados tanto por instituciones públicas y privadas en el territorio peruano. De ello tenemos investigaciones más recientes, como la realizada por Garcia y Peralta (2021) o Anguiosa y Martinez (2022) quienes emplearon la guía oficial del MINAM para evaluar el estado de conservación de bofedales ubicados en la subcuenca del Valle de Santa Eulalia y el sector de Yanacocha, respectivamente. Estas investigaciones también destacan la vulnerabilidad de los bofedales ante las actividades humanas y el impacto del cambio climático, lo que subraya la urgencia de desarrollar e implementar estrategias eficaces de conservación.

Diversas investigaciones han abordado esta problemática, proponiendo enfoques técnicos y comunitarios para preservar su funcionalidad ecológica y garantizar su sostenibilidad a largo plazo. Limo (2023) analizó la gobernanza institucional a nivel nacional, regional y local con respecto a

la conservación de bofedales. La investigación identificó que a nivel nacional se tiene diversas políticas impulsadas principalmente por el MINAGRI y el MINAM; no obstante, a nivel regional y local, estas políticas no surten efecto. Principalmente, se encontró un claro descontento de las comunidades hacia el gobierno local, ya que manifestaron desconocer proyectos que contribuyan a la adecuada gestión de bofedales. En este contexto, son la propia comunidad y los usuarios de bofedales quienes asumen el liderazgo y gestionan su gobernanza, basándose en prácticas tradicionales. Chamorro et al. (2021) mencionan en su “Manual de buenas prácticas en manejo y restauración de bofedales en Junín, Perú” que una de las mejores estrategias es el pastoreo rotativo. Ello facilita la regeneración natural de los pastos a través del uso progresivo y alternado de los terrenos, siendo igual de fundamental para ello conocer la capacidad de carga ganadera. Asimismo, se diferencian dos tipos de restauración: activa y pasiva. La primera incluye estrategias como el rechampeo, trasplante de esquejes, siembra de pastos mixtos, entre otros. Mientras que la restauración pasiva permite la recuperación natural de los pastos mediante estrategias que limitan el acceso a dichos territorios mediante cercas.

Por su parte, Gonzales y Moscoso (2023) evaluaron el estado de los bofedales del centro poblado Chalhuanca, Caylloma en donde la mayoría de los transectos estudiados muestran un estado regular del ecosistema. Por ello, propusieron tres líneas estratégicas para la restauración ecológica de dichos bofedales. La primera está relacionada a la producción del forraje e incluye acciones como el pastoreo rotativo, reforestación con plantas herbáceas, y abonamiento de vegetación. En cuanto a la segunda estrategia, relacionada a las fuentes de agua, se proponen lineamientos para una adecuada gestión de los canales. Por último, en cuanto al aspecto social, se plantean charlas y talleres para que la población se oriente hacia una participación activa en la restauración del ecosistema. Ñahui (2021) en su investigación evaluó el comportamiento del recurso hídrico en los

bofedales de Callqui Chico, Huancavelica, encontrando una serie de alteraciones relacionadas a la insuficiente cobertura vegetal o alta salinidad. Las estrategias propuestas fueron el uso de viveros comunales, así como el uso sostenible de pastizales. Asimismo, se plantea la mejora del riego tecnificado de manera que se eleve la producción en bofedales y se complemente mediante mejores prácticas de manejo de ganado. Otro factor importante que se considera son las predicciones meteorológicas y climatológicas mediante el uso de estaciones meteorológicas e hidrometeorológicas en la subcuenca. Finalmente, como medida complementaria se propone la realización de charlas y talleres dirigidas a la población para generar mayor conocimiento y una participación de todos los involucrados.

2.2 Marco teórico

2.2.1 Definición y características de los bofedales

Los humedales altoandinos, también conocidos localmente como "bofedales, occonales o turberas", son ecosistemas únicos ubicados en zonas de gran altitud, principalmente en la cordillera de los Andes. Estos humedales se caracterizan por ser áreas extensas, húmedas, y parcial o totalmente inundadas, debido a la acumulación de materia orgánica en el suelo. Este fenómeno dificulta el drenaje, lo que favorece la retención de humedad (MINAM, 2015). Como también menciona Maldonado (2014), una característica principal en los bofedales es la constante humedad edáfica a lo largo del año, acompañada de un suelo orgánico o turba que le otorga un distintivo color verde, en contraste con la vegetación amarillenta de las zonas circundantes.

Buytaert & Bievre (2012) nos dice que los bofedales se forman en áreas con baja temperatura y saturación de agua. Su composición está dominada por materia vegetal acumulada, lo que les confiere una alta fertilidad superficial. No obstante, debido a la saturación de agua, los bofedales suelen presentar un drenaje deficiente, lo que limita el tipo de vegetación que puede crecer en ellos.

Generalmente, predomina la vegetación herbácea, la cual es densa y compacta, formando estructuras en forma de cojines (INAIGEM, 2018). Este tipo de ecosistema cumple diversas funciones importantes, siendo una de ellas la regulación del ciclo hidrológico, a través de la retención del agua durante la temporada de lluvia (Monge-Salazar et al., 2022). Ello hace que los bofedales sean considerados fundamentales para el sustento de las comunidades aledañas.

2.2.2 Importancia ecológica y social de los bofedales

Los bofedales son ecosistemas altamente relevantes, tanto por su valor ecológico como por el impacto social que pueden ejercer. Su importancia se fundamenta en los roles esenciales que cumplen como ecosistemas y en los diversos beneficios que aportan a las comunidades aledañas que dependen en gran medida de ellos.

A nivel ecológico, los bofedales cumplen funciones esenciales dentro de los ecosistemas naturales, destacándose por su capacidad de regulación hídrica. Este tipo de humedales almacenan agua durante las épocas húmedas y la liberan de forma gradual en las temporadas secas, de manera que se asegura un flujo constante hacia las cuencas y ríos. Esta entrada de agua se deriva del derretimiento de glaciares, ríos, lagunas, acuíferos subterráneos (Maldonado, 2014). Asimismo, los bofedales son considerados importantes sumideros de carbono, ya que cuentan con la presencia de turba o acumulación de materia orgánica. Ello contribuye significativamente a la mitigación del cambio climático al capturar y almacenar dióxido de carbono (CO₂) (Mamani, 2024). Por otro lado, este tipo de ecosistema ofrece las condiciones para animales silvestres tales como Vicuñas, Alpacas, Guanacos; así como roedores. Asimismo, los bofedales proporcionan refugio, alimento y áreas de reproducción para aves migratorias, mamíferos pequeños, anfibios y flora especializada en suelos húmedos (Maldonado, 2010).

2.2.3 Tipos de bofedales

Los humedales altoandinos pueden ser clasificados de diversas formas: de acuerdo a su naturaleza, ubicación, contenido hídrico, entre otros.

2.2.3.1. Según su naturaleza:

Para su investigación Monge-Salazar et al. (2022) evalúan los bofedales de acuerdo con su origen natural o artificial.

- **Bofedales naturales:** Los bofedales naturales son ecosistemas húmedos que se desarrollan de manera espontánea en las altas montañas. Caracterizados por su fragilidad y biodiversidad única, estos bofedales varían en altitud y ubicación geográfica.
- **Bofedales artificiales:** Los bofedales artificiales son aquellos que han sido creados o modificados por la intervención humana. Pueden incluir bofedales de restauración, donde se restaura la salud y funcionalidad de bofedales degradados, bofedales de riego (Cassin & Ochoa-Tocachi, 2021). Estos bofedales pueden ofrecer beneficios económicos y ambientales, pero su creación y gestión deben llevarse a cabo con precaución para mantener un equilibrio adecuado con los bofedales naturales y su biodiversidad única.

2.2.3.2. Según su contenido hídrico

Maldonado (2014) clasifica a los bofedales según la cantidad de agua:

- **Bofedales Permanentes:** Estos bofedales mantienen niveles de agua relativamente estables a lo largo de todo el año. Tienen una presencia constante de agua, lo que crea condiciones húmedas durante todo el ciclo anual.
- **Bofedales Estacionales:** Los bofedales estacionales experimentan fluctuaciones en sus niveles de agua a lo largo del año. Estos cambios pueden deberse a las estaciones

climáticas, con períodos de lluvia que aumentan el nivel de agua seguidos de estaciones secas que lo reducen.

2.2.3.3. Según su ubicación

- **Bofedal altiplánico:** Comprenden aquellas altitudes que van desde los 3800 hasta los 4100 msnm. Estos bofedales se caracterizan por su presencia en paisajes de altiplano, que son áreas elevadas y planas con una topografía relativamente suave. Debido a su ubicación, son vitales para la retención y el suministro de agua en estas regiones, y suelen tener una vegetación adaptada a las condiciones intermedias de altitud y clima (Pamo Sedano & Oscco-Coa, 2022).
- **Bofedales altoandinos:** Se ubican en altitudes comprendidas entre los 4100 y 4500 msnm. Los bofedales altoandinos están en entornos de alta montaña, caracterizados por condiciones extremas de frío y altitud. Son ecosistemas frágiles, a menudo asociados con el deshielo de glaciares y fuentes de agua procedentes de alta montaña. Las especies que podemos encontrar en estos bofedales están altamente adaptadas a las condiciones extremas y desempeñan un rol importante para la regulación del agua y la biodiversidad de las regiones de alta montaña (Paredes, 2023).

2.2.3.4. Servicios ecosistémicos de los bofedales

Los humedales altoandinos proveen diversos servicios ecosistémicos que son de vital importancia no solo para las comunidades andinas sino también para el mantenimiento de diversos ecosistemas. El MINAM en la “Guía de evaluación del estado del ecosistema de bofedal” menciona los siguientes servicios:

Tabla 1

Servicios ecosistémicos que brindan los humedales altoandinos

Tipo de servicio ecosistémico	Ejemplos
Servicios de provisión	Forraje para el ganado
	Turba
	Plantas medicinales
	Agua
Servicios de regulación	Almacén de carbono
	Protección de procesos de erosión de la turba y suelo
	Purificación del agua
	Almacén de agua
	Regulación hídrica
	Regulación del clima local
Servicios de soporte	Regulación climática global
	Refugio de fauna silvestre y de biodiversidad
	Formación de turba
Servicios culturales	Mantenimiento del ciclo de nutrientes
	Tener belleza escénica y paisajística
	Ser áreas de recreación y de turismo

Fuente: Guía de evaluación del estado del ecosistema de bofedal, MINAM (2019)

2.2.3.5. Almacenamiento de carbono y regulación hídrica

El suelo es considerado como uno de los mayores sumideros de carbono, cuyo ingreso se da principalmente mediante las plantas y se transforma por acción de microorganismos. El secuestro de carbono en el suelo va a variar dependiendo del tipo de suelo, las prácticas agrícolas, condiciones climáticas, entre otros. (Lal, 2004). El porcentaje de carbono orgánico que suele encontrarse en la capa superficial varía entre 0.5 a 3.0 %, siendo los Histosoles (un tipo de suelo) los que presentan una alta concentración que va desde el 12 % al 18 % (ITPS, 2017). De acuerdo con Mamani (2024) los bofedales que estudió presentaban un mínimo de 16 % de carbono orgánico, siendo el mayor valor 39 % en época lluviosa. Esto demuestra la alta capacidad de los bofedales para secuestrar carbono, superando la de otros ecosistemas terrestres. Ello destaca su importancia en la regulación del balance de gases de efecto invernadero a nivel global.

La conservación de los bofedales no solo asegura su capacidad de secuestro de carbono, sino que también evita la liberación masiva de carbono almacenado en caso de degradación o alteración del ecosistema. Las actividades humanas, como el pastoreo intensivo, el drenaje y la extracción de recursos, representan amenazas significativas que podrían convertir a los bofedales en fuentes de carbono en lugar de sumideros.

Por otro lado, se conoce que los bofedales son ecosistemas fundamentales para la regulación hídrica, ya que actúan como esponjas naturales que pueden almacenar grandes cantidades de agua durante época de lluvia y liberarla de gradualmente en temporada seca (Maldonado, 2014). Este mecanismo asegura un aporte continuo de agua a las cuencas hidrográficas y a los cuerpos de agua adyacentes, lo cual es clave para la sostenibilidad hídrica en las regiones altoandinas. Asimismo, esta función reguladora permite una acción importante como es la amortiguación de los flujos de

agua. Los bofedales reducen el impacto de eventos extremos, tales como inundaciones durante la temporada de lluvias o sequías en periodos de estiaje (Robles, 2024).

De igual importancia, los bofedales filtran y purifican el agua que atraviesa sus suelos y vegetación, eliminando sedimentos y contaminantes (Mamani Chalco, 2024). Este servicio es crucial en regiones donde las fuentes de agua dulce son escasas o están amenazadas por actividades humanas, como la minería, el pastoreo excesivo o la agricultura. En ese sentido, la regulación hídrica de los bofedales tiene un impacto directo en las actividades económicas y sociales de las comunidades que dependen de ellos. La provisión constante de agua permite mantener prácticas agrícolas y ganaderas, esenciales para el sustento de las poblaciones rurales. Asimismo, su función como reservorios hídricos contribuye a mitigar los conflictos por el acceso al agua, especialmente en zonas de alta presión hídrica. La conservación de estos ecosistemas no solo asegura su capacidad de regulación, sino que también fomenta la resiliencia de las comunidades frente a los efectos adversos del cambio climático.

2.2.3.6. Hábitat para la biodiversidad

De acuerdo con Maldonado (2014) “la diversidad de los bofedales exhibe una variación considerable en función de la ubicación, altitud, topografía, humedad, exposición, latitud, influencia del ganado, etc.”. Además, menciona que se pueden encontrar conjuntos diversos de comunidades vegetales, tales como las turberas de *Distichia*, turberas con musgos y arbustos, prados turbosos, entre otros. Algunas de las especies características que se pueden encontrar son las del género *Distichia* (*D. muscoides*, *D. acicularis* o *D. filamentosa*), del género *Sphagnum*, del género *Puya* o especies de la familia Poaceae. En cuanto a plantas vasculares, se puede encontrar *Cyperaceae*, *Juncaceae* y gramíneas altas del género *Festuca* y *Calamagrostis*. Como vemos, la vegetación de los bofedales está compuesta por gramíneas, juncos y otras plantas adaptadas a la

saturación de agua. Estas comunidades vegetales no solo protegen el suelo de la erosión, sino que también sirven como fuente de alimento y hábitat para otras especies.

Es así como, los bofedales se configuran como un recurso primordial para la supervivencia de diversas especies de animales silvestres, mamíferos, aves, entre otros. La disponibilidad constante de agua y la presencia de vegetación especializada proporcionan el sustento necesario para estas comunidades permitiendo su supervivencia en este tipo de ecosistemas.

2.2.4 Ecología de los Bofedales

2.2.4.1. Flora de los bofedales

2.2.4.1.1. Principales especies vegetales

Los bofedales poseen una flora altamente especializada, adaptada a las duras condiciones de altitud, humedad y baja temperatura. Entre las especies más comunes encontramos:

- **Musgos:** Los musgos juegan un papel fundamental en los bofedales, pues ayudan a retener agua y proporcionan un ambiente húmedo favorable para otras especies vegetales. Algunos de los géneros más frecuentes en estos ecosistemas son *Sphagnum* y *Polytrichum*, que forman capas densas sobre el suelo y contribuyen a la acumulación de materia orgánica (Maldonado-Fonkén et al., 2024).
- **Juncos y ciperáceas:** Estas plantas, que incluyen especies como *Carex*, se caracterizan por su capacidad para crecer en suelos anegados. Son comúnmente encontradas formando parte de la vegetación dominante, sobre todo en áreas donde el agua permanece estancada durante largos periodos (Maldonado, 2014).
- **Pastos:** Los bofedales son conocidos por sus pastos de alta montaña, como los del género *Festuca* o *Carex* (Maldonado-Fonkén et al., 2024). Estas gramíneas tienen una gran

capacidad de recuperación frente a condiciones extremas, como la sequía o el frío, lo que les permite sobrevivir en un ambiente donde otras plantas tendrían dificultades.

- **Plantas almohadilladas:** Otro tipo característico de vegetación en los bofedales es la que forma cojines o almohadillas densas y compactas. Ejemplos de estas especies son *Azorella compacta* (yareta) y *Distichia muscoides*, que no solo retienen agua, sino que también ofrecen protección contra la erosión del suelo (Maldonado-Fonkén et al., 2024)

2.2.4.1.2. Comunidades vegetales características

Maldonado (2014) resalta las 4 principales comunidades de plantas hidrófilas asociadas generalmente a los bofedales del país.

- **Turberas de *Distichia*:** Las turberas de *Distichia* son comunidades vegetales distintivas, reconocidas por sus cojines duros, constituidos principalmente por especies del género *Distichia*. Algunas características de los bofedales conformados por turberas de *Distichia* son: ausencia de arbustos, musgos y hierbas en poca frecuencia y la ausencia de *Sphagnum*. Debido a la abundancia de *Distichia*, estas turberas están expuestas a una mayor presión de pastoreo.
- **Turberas con musgos y arbustos:** Una de las características primordiales de este tipo de turberas es la abundancia de musgos, principalmente del género *Sphagnum*. En el país no es común encontrar esta clase de comunidades vegetales, estando más presente en Ecuador y Colombia. En cuanto a los arbustos, algunas especies que se pueden encontrar son *Vaccinium floribundum* o *Loricaria ferrugínea*, así como especies del género *Puya*. Este tipo de turberas dificulta el pastoreo, ya que el suelo tiende a ser más suave por el tipo de vegetación presente.

- **Prados turbosos:** Se suelen encontrar en zonas por debajo de los 4000 m (Salvador et al 2014). Algunas especies comunes en esta zona forman parte de la familia Poaceae; así como una ausencia de la especie *Sphagnum*. En cuanto a plantas vasculares es común encontrar Cyperaceae, Juncaceae o gramíneas altas del género de *Festuca*. Por tales motivos, es que estos prados son considerados aptos para la actividad de pastoreo.
- **Césped de arroyo:** Se caracterizan por contar con la presencia de plantas pequeñas formando una alfombra. Se ubican generalmente en áreas con alta humedad y tampoco se registra la presencia de *Sphagnum*. Algunas especies características de esta comunidad vegetal son *Plantago tubulosa*, *Rockhausenia pygmaea*; así como especies de Asteraceae, Cyperaceae y Juncaceae.

2.2.4.2. Fauna asociada a los bofedales

2.2.4.2.1. Especies clave y su relación con el ecosistema

La fauna de los bofedales es igualmente notable, ya que se trata de especies adaptadas a las condiciones extremas de altitud, frío y baja disponibilidad de oxígeno. Entre los principales grupos de animales que habitan los bofedales encontramos:

- **Aves migratorias y locales:** Los bofedales son un refugio importante para aves acuáticas y migratorias, puesto que, proporcionan refugio, alimento, así como áreas de reproducción. Pulido Capurro et al. (2021) registraron 151 especies de aves entre residentes y migratorias en humedales altoandinos del Perú, evidenciando la alta diversidad ornitológica que estos ecosistemas pueden albergar.
- **Mamíferos:** Los bofedales sirven de pastizales para camélidos tales como la alpaca (*Vicugna pacos*) y la llama (*Lama glama*), cuya crianza constituye generalmente la

principal actividad económica de las comunidades altoandinas. La disponibilidad de agua y forraje en los bofedales resulta indispensable para una buena productividad ganadera y, por ende, asegurar el sustento de las comunidades (Chamorro et al., 2021).

2.2.4.3. Condición ecológica de los bofedales

2.2.4.3.1. Concepto de condición ecológica en bofedales

La evaluación del estado ecológico de los humedales, incluidos los bofedales, es un enfoque integral que busca determinar el estado de salud y funcionalidad de estos ecosistemas. En ese sentido, el valor ecológico es una propiedad inherente de un ecosistema que le permite mantener su complejidad y capacidad de autoorganización frente a impactos generados por actividades humanas. Su propósito es medir o determinar cuánto se ha desviado un área específica de su estado de integridad ecológica óptima (Fennessy et al., 2007). Este proceso implica la identificación y análisis de componentes clave como la biodiversidad, los procesos hidrológicos y las interacciones biológicas. El objetivo principal de esta evaluación es establecer un diagnóstico que permita orientar medidas de manejo, conservación o remediación, de manera que se asegure la sostenibilidad de los servicios ecosistémicos que estos ecosistemas brindan.

En el caso de los bofedales, la evaluación ecológica propuesta en la Guía del MINAM se fundamenta en el concepto de Índice de Integridad Biológica (IBI). Esta propuesta busca evaluar la condición ecológica mediante un índice que combina diversas medidas biológicas sensibles al impacto ambiental. Para ello, es necesario iniciar estableciendo un valor o estado de referencia, lo cual permitirá la comparación entre el valor que representa el estado en que se encuentra la zona evaluada, con relación a un estado “conservado”. Este valor se calcula a través de un método de calificación que evalúa atributos fundamentales, como la condición del agua, del suelo, de la biota y las alteraciones en el paisaje (MINAM, 2019).

2.2.4.3.2. Atributos e indicadores de evaluación de la salud de bofedales

Para evaluar la condición ecológica de los bofedales, se han propuesto los siguientes atributos en la Guía del MINAM (2019):

- **Condición del agua:** Este atributo evalúa la calidad y disponibilidad del recurso hídrico en el ecosistema, para lo cual tiene en cuenta dos indicadores: nivel de napa freática y conductividad eléctrica. Ello va a reflejar el grado de alteración del agua por actividades humanas o naturales.
- **Condición del suelo:** Se analiza el estado del suelo en términos de cuatro indicadores: profundidad de la turba, materia orgánica superficial, densidad aparente en la capa superficial y signos de erosión.
- **Condición de la biota:** Este atributo mide la riqueza y diversidad de los organismos que habitan el ecosistema, centrándose en las especies vegetales. Es así, que se evalúan los siguientes indicadores: abundancia de especies nativas, riqueza de especies, cobertura vegetal viva y biomasa aérea.
- **Alteraciones en el paisaje:** Se examinan los cambios físicos y estructurales en el entorno natural, causados por actividades humanas o fenómenos naturales. Los indicadores incluyen: presencia de factores de degradación y conectividad hidrológica.

Estos parámetros y criterios brindan una visión integral del estado de conservación del bofedal y son esenciales para implementar acciones orientadas a su manejo sostenible.

2.2.5 Teledetección y Análisis de Índices de Vegetación

La teledetección ha emergido como una herramienta esencial para la evaluación y monitoreo de ecosistemas, especialmente aquellos con características ecológicas complejas y áreas extensas, como los bofedales (Wu et al., 2022). La teledetección es una técnica que permite obtener información sobre la superficie terrestre sin contacto directo, utilizando sensores ubicados en plataformas aéreas o satelitales. Estos sensores captan la radiación reflejada y emitida por los objetos en diferentes bandas del espectro electromagnético, como el visible, el infrarrojo cercano y el infrarrojo térmico. Esta información se traduce en imágenes multiespectrales que pueden analizarse para extraer datos específicos sobre el estado de la vegetación, la humedad del suelo, la temperatura y otros factores relevantes en un ecosistema (Yousefi et al., 2024)

En cuanto al estudio de bofedales, esta tecnología es particularmente valiosa, ya que permite obtener una visión integral de estos ecosistemas de gran extensión y, sobre todo, porque en muchos casos presentan difícil acceso lo cual hace que la evaluación *in situ* sea costosa y compleja.

2.2.5.1. Imágenes satelitales

- **LANDSAT**

La serie de satélites LANDSAT, operada en conjunto por la NASA y el Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS), constituye uno de los programas más longevos de observación de la Tierra. Desde 1972, ha proporcionado información continua sobre zonas terrestres y costeras, siendo ampliamente utilizada en estudios que requieren data histórica y cubrir escalas a nivel local y mundial (Wulder et al., 2022). En el caso de las imágenes Landsat 9, estas están formadas por 11 bandas en total cuyas resoluciones van desde los 15 hasta 100 metros (Nasa, 2025).

En el caso específico de los bofedales, LANDSAT se ha empleado para monitorear la extensión y la condición ecológica a lo largo del tiempo, evaluando la productividad primaria y detectando presiones antrópicas, como las actividades mineras (Guzman, 2025).

- **MODIS**

El sensor MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer), instalado en los satélites Terra y Aqua, ofrece datos con resolución temporal diaria o interdiaria mediante las 36 bandas espectrales con las que cuenta (Nasa, 2024). Si bien su escala espacial es más gruesa que la de LANDSAT, su alta frecuencia de captura lo convierte en una herramienta clave para monitorear cambios estacionales pues mide concentración de aerosoles, color del océano, propiedades de las nubes, cambios en la superficie terrestre, entre otros (Huete et al., 2002).

MODIS resulta útil para analizar la dinámica temporal y espacial de los bofedales de manera que se puede estimar la cobertura vegetal y, con ello, calcular la variación en la captura y almacenamiento de CO₂ (Mamani, 2024). Asimismo, resulta útil al integrarlo con modelos climáticos y de precipitación, como CHIRPS, lo que aporta información relevante sobre la relación entre clima y cobertura vegetal.

- **SENTINEL**

Desde el 2014 la misión Sentinel, que fue desarrollada por la Agencia Espacial Europea (ESA), proporciona imágenes de alta resolución espacial y temporal. En particular, Sentinel-2 cuenta con sensores de imágenes multiespectrales de alta (10 a 20 metros) así como 13 bandas espectrales, lo cual permite acceder a datos precisos sobre cobertura y estados de vegetación (Drusch et al., 2012). Asimismo, Sentinel ha facilitado la aplicación de índices específicos como el NDVI y el SAVI,

para poder detectar zonas con vegetación, tal como la identificación y delimitación de bofedales (Puerta et al., 2023).

2.2.5.2. Índices de vegetación y su aplicación

Los índices de vegetación son herramientas utilizadas en teledetección que sirven para evaluar la salud y cobertura de la vegetación en una zona específica, de manera que proporcionan información rápida sobre el estado ecológico de los ecosistemas. Algunos índices ampliamente utilizados son el SAVI (Índice de Vegetación Ajustado al Suelo), EVI (Índice de Vegetación Ambiental), NDVI (Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada), RVI (Ratio Vegetation Index), entre otros (Ashok, Rani & Jayakumar, 2021).

- **Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI)**

El NDVI es uno de los índices más usados para evaluar la vegetación debido a su simplicidad y eficacia (Rouse et al., 1974). Se calcula como:

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

donde:

NIR (Near Infrared) representa la reflectancia en el infrarrojo cercano, reflejada intensamente por la vegetación saludable.

RED es la reflectancia en la banda roja, donde la vegetación viva absorbe gran parte de la luz.

Valores altos de NDVI (entre 0.3 y 0.8) indican vegetación densa y saludable, mientras que valores bajos pueden indicar áreas degradadas. En los bofedales, el NDVI es útil para identificar zonas con vegetación robusta y otras donde la salud ecológica está comprometida.

- **Índice de Vegetación Ajustado al Suelo (SAVI)**

El SAVI mejora la precisión del análisis en áreas con baja cobertura vegetal ya que corrige la influencia del suelo visible (Huete, 1988). Su cálculo es:

$$SAVI = \frac{(NIR - RED)(1 + L)}{NIR + RED + L}$$

donde L es un factor de corrección que ajusta la reflectancia del suelo, comúnmente 0.5 en áreas de vegetación moderada ((USGS, 2022). Una limitación de este índice es con respecto a la sensibilidad de los cambios en la vegetación, ya que suele ser menos sensible a estos.

- **Índice de Diferencia de Agua Normalizada (NDWI)**

Es un índice de teledetección que se emplea para detectar y monitorear la presencia de agua en la vegetación y el suelo (Gao, 1996). Este índice resalta el contenido de agua en la vegetación, permitiendo identificar áreas húmedas o encharcadas y ayudar a monitorear cambios en la humedad a lo largo del tiempo

$$NDWI = \frac{NiR - Swir}{NiR + Swir}$$

Donde:

Nir = Infrarrojo cercano.

Swir = Infrarrojo de onda corta.

2.2.5.3. Validación de índices

La aplicación de índices de vegetación para este tipo de investigaciones no solo permite estimar la cobertura de vegetación o contenido de agua, sino que a partir de esta información también se puede generar clasificaciones que representen diferentes niveles de estado o conservación del

ecosistema. No obstante, para asegurar que dichas clasificaciones reflejen fehacientemente las condiciones observadas en campo se puede aplicar un proceso de validación. Dicha validación consiste en comparar los resultados obtenidos mediante teledetección con los datos que fueron recolectados in situ. De acuerdo a Olofsson et al. (2014), una validación bien diseñada requiere un muestreo aleatorio estratificado y un tamaño de muestra suficiente para cada clase, de modo que, los resultados puedan ser extrapolados con confianza. En ese sentido, la validación no solo constituye un requisito metodológico, sino también una garantía de que los índices de vegetación y los mapas generados representan con fidelidad la heterogeneidad ecológica de los bofedales.

En ese sentido, una de las herramientas más empleadas para dicho fin es la matriz de confusión. La matriz de error, como también se le conoce, ayuda a evaluar la precisión de los resultados de la clasificación al comparar las clases predichas con los datos reales tomados en campo de forma que se puede conocer el grado de correspondencia entre ambas fuentes. A partir de esta matriz se derivan métricas como la Exactitud Global (OA), que indica el porcentaje total de aciertos; la Exactitud del Productor (PA) y la Exactitud del Usuario (UA), que miden la fiabilidad desde la perspectiva del analista y del mapa generado, respectivamente; y el Coeficiente Kappa (κ), que evalúa la concordancia entre los datos más allá del azar (Congalton y Green, 2019). Estas métricas permiten cuantificar la precisión del modelo de clasificación, por lo que, garantizan la confiabilidad de los resultados obtenidos previamente a través de los índices de vegetación.

2.2.6 Modelos y plataformas para análisis espacial e hidrológico

2.2.6.1. Google Earth Engine (GEE)

Google Earth Engine (GEE) es una plataforma en la nube para procesamiento geoespacial que contempla un extenso catálogo de datos de teledetección, así como imágenes satelitales, lo que facilita realizar diversos análisis a escala planetaria (Google, 2025). Gracias a esto, permite

ejecutar operaciones complejas, tales como composiciones multitemporales, cálculo de índices espectrales la aplicación de modelos de erosión o humedad, sin necesidad de descargar los datos. Como analiza Gorelick et al. (2017), GEE ha sido empleado para diferentes fines como el mapeo y monitoreo de vegetación, monitoreo de cobertura terrestre, solución a los problemas que genera la nubosidad mediante algoritmos que facilita la plataforma, detección de degradación y modelado de procesos ambientales con eficiencia y rapidez (uso mixto de datos, análisis de series temporales, entre otros).

2.2.6.2. Base de datos CHIRPS

CHIRPS (Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station Data) es un conjunto de datos que combina información brindada por satélites y datos directos de estaciones meteorológicas con el fin de obtener un data más completa y precisa (Climate Hazards Group, 2024). Para el caso de ecosistemas susceptibles al cambio climático, como los bofedales, la precipitación es un insumo esencial para estimar el factor erosivo del suelo, modelar el balance hídrico y anticipar variaciones en la disponibilidad de agua subterránea.

2.2.6.3. Modelo RUSLE

El modelo RUSLE (Revised Universal Soil Loss Equation) es ampliamente usado para estimar la pérdida media anual de suelo por seis factores que consigna en su fórmula: erosión hídrica por medio de lluvia, erosión del suelo, longitud e inclinación de pendientes, cobertura vegetal y las prácticas de manejo (factores R, K, LS, C y P) (European Environment Agency, 2016). Aunque originalmente orientado a suelos agrícolas, su aplicación en ecosistemas naturales como bofedales es cada vez más frecuente, adaptando los factores para terrenos empinados y vegetación nativa. En estudios recientes, RUSLE se ha implementado integrando datos satelitales para derivar factores C (cobertura) y estimar la vulnerabilidad al desgaste del suelo en zonas de humedales (por ejemplo,

incorporando índices NDVI o SAVI) (Uyar, 2025). A partir de esa modelación, es posible mapear áreas con riesgos elevados de erosión y relacionar esos mapas con los niveles de conservación del bofedal.

2.2.7 Desafíos y Estrategias para la Conservación de Bofedales en Perú

2.2.7.1. Factores de amenaza para los bofedales

De acuerdo a la convención Ramsar (2010) los bofedales son considerados ecosistemas frágiles. Para Yager y Meneses (2021) uno de los mayores desafíos es el cambio climático, que se traduce en un aumento de las temperaturas y disminución de las precipitaciones, lo que provoca la reducción de los niveles de agua en los bofedales.

Por otro lado, existen otros factores de amenaza relacionados con la actividad humana. En este sentido, la minería ilegal y la extracción de agua para la agricultura y la ganadería pueden llevar a la degradación y la destrucción de estos ecosistemas. De acuerdo a Aduvire y Aduvire (2021) la contaminación del agua por residuos mineros y agroquímicos también constituye una amenaza para la calidad del agua en los bofedales, afectando la vida silvestre y la salud de las comunidades que dependen de estos ecosistemas para su subsistencia. Para preservar estos valiosos ecosistemas es crucial implementar medidas de conservación, regulación y conciencia ambiental que mitiguen estas amenazas y protejan la biodiversidad única que albergan.

2.2.7.2. Cambio climático y su efecto en los bofedales

Uno de los ecosistemas que se verán afectados considerablemente por el cambio climático son los bofedales. Esto se debe a que son ecosistemas dependientes del equilibrio hídrico y climático. El aumento de las temperaturas acelera la evaporación del agua, reduciendo la capacidad de los bofedales para almacenar agua y regulando su disponibilidad a lo largo del año. En ese sentido, el retroceso de los glaciares podría impactar de manera adversa a los bofedales, provocando su

progresiva reducción debido al desecamiento (Yager & Meneses, 2021). Asimismo, las sequías prolongadas pueden provocar desecación parcial o total, afectando la vegetación nativa. En particular, *Distichia muscoides* que es altamente dependiente de condiciones de inundación y napa freática estable, por lo que el descenso del nivel freático asociado al cambio climático podría comprometer su dominancia y alterar la composición vegetal característica que compone a los bofedales (Chávez et al., 2023).

Por otro lado, el incremento de las temperaturas también impactaría negativamente la biodiversidad de los ecosistemas altoandinos. Las especies de flora y fauna, adaptadas específicamente para prosperar en climas fríos y altitudes elevadas, se ven amenazadas por la disminución de hábitats adecuados a medida que las zonas más frías se desplazan a mayores altitudes. Este fenómeno puede provocar la desaparición local de ciertas especies, alterando así las cadenas tróficas y los procesos ecológicos del entorno (Anderson et al., 2011).

Asimismo, los bofedales actúan como sumideros naturales de carbono, almacenando grandes cantidades de gases de efecto invernadero en su suelo y vegetación. Sin embargo, el cambio climático puede transformar estos ecosistemas de sumideros a fuentes de carbono. Las condiciones más secas y cálidas aceleran la liberación de carbono almacenado, agravando el problema del calentamiento global y disminuyendo la capacidad de los bofedales para contribuir a la mitigación climática (Rodrigues et al., 2023).

2.3 Marco legal

La Constitución Política del Perú establece un marco legal sólido para la protección del medio ambiente, enfatizando la importancia de preservar los recursos naturales como un derecho fundamental de todos los ciudadanos. El artículo 2, párrafo 22, reconoce “el derecho de toda persona a gozar de un medio ambiente equilibrado y adecuado para el desarrollo de su vida”.

Asimismo, el artículo 66 de la Constitución establece que los recursos naturales, renovables y no renovables, son patrimonio de la Nación y el Estado tiene soberanía sobre su uso, promoviendo su conservación y uso sostenible (Constitución Política del Perú, 1993). Todo ello constituye la base de una serie de normas y políticas destinadas a garantizar la sostenibilidad ambiental y el bienestar de los ciudadanos.

De acuerdo con estos principios constitucionales, en el año 2005 se promulgó la Ley General del Medio Ambiente (Ley N° 28611) que constituye el marco jurídico básico para la gestión ambiental en el país. Esta ley establece lineamientos generales para la protección del medio ambiente, la conservación de la biodiversidad y el uso sostenible de los recursos naturales. Específicamente, el artículo 99 determina que tanto los bofedales, como los humedales y páramos sean considerados ecosistemas frágiles; por lo cual se debe adoptar medidas para su conservación. Posteriormente, se crea la Política Nacional del Ambiente, establecida mediante el Decreto Supremo N° 012-2009-MINAM, que constituye un marco estratégico para la gestión ambiental en Perú con miras al 2030. En cuanto a los bofedales, el eje 7 de la Política 1 “Conservación y aprovechamiento sostenible de los recursos naturales y de la diversidad biológica” nos dice que deben protegerse ecosistemas frágiles como los humedales y cuencas de la región costera. Algo similar encontramos en la Ley Forestal y de Fauna Silvestre, y su respectiva Política, aprobada por D.S. N.º 009-2013-MINAGRI. El lineamiento 2 establece que se debe realizar una gestión especial para conservar y aprovechar de manera sostenible los ecosistemas forestales y también otros tipos de vegetación que se encuentren amenazados o en proceso de degradación.

En cuanto a materia de conservación del agua y protección de humedales altoandinos, el marco legal peruano es robusto y abarca una serie de leyes, decretos supremos e iniciativas destinadas a la gestión sostenible de estos recursos vitales. La Ley General de Aguas, promulgada en 1969 y

actualizada por la Ley de Recursos Hídricos (Ley N° 29338) en 2009, establece las directrices fundamentales para la gestión integral de los recursos hídricos en el país. Esta ley promueve el uso sostenible del agua y priorizar su conservación, especialmente en ecosistemas frágiles como los bofedales altoandinos, los cuales son reconocidos por su papel crucial en la regulación hídrica y la biodiversidad.

En apoyo a la Ley de Recursos Hídricos tenemos su reglamento que proporciona un marco detallado para la implementación de medidas de conservación. Este reglamento subraya la importancia de la participación comunitaria y el manejo integrado de cuencas, incentivando la creación de comités de gestión local del agua. Estos comités son esenciales para la protección de los bofedales, ya que involucran a las comunidades locales en la toma de decisiones y en la aplicación de prácticas sostenibles, como el control del pastoreo y la reforestación con especies nativas.

En ese sentido, tenemos la Ley N° 31804 de Promoción de la Gestión Sostenible de los Pastos Naturales. Esta ley reconoce la importancia de conservar los ecosistemas asociados, como los bofedales, para asegurar la provisión continua de servicios ecosistémicos esenciales. Al fomentar prácticas de manejo sostenible, la ley busca reducir las presiones existentes y promover la conservación de los pastos naturales que son la base alimenticia de la ganadería a nivel nacional (Midagri, 2023).

El país ha firmado y ratificado varias convenciones internacionales que están directamente relacionadas con la protección y conservación de los humedales altoandinos. Estas convenciones proporcionan un marco para la cooperación internacional y la implementación de políticas nacionales. Entre ellos tenemos la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), que promueve acciones para mitigar el cambio climático y adaptarse a sus

efectos. Por su lado, la Ley Marco sobre Cambio Climático, aprobada en 2018, establece un marco legal para implementar acciones concretas en el territorio peruano. Así se fomenta la protección y conservación de bofedales, que son ecosistemas clave para la captura y almacenamiento de carbono, así como la regulación climática.

Asimismo, tenemos la Convención sobre la Diversidad Biológica (CDB), ratificada por Perú en 1993, la cual tiene como objetivos la conservación de la biodiversidad, el uso sostenible de sus componentes y la participación justa y equitativa en los beneficios derivados de los recursos genéticos. Además de ello, también está el Convenio de las Naciones Unidas de Lucha contra la Desertificación (CNULD), firmado por Perú en 1996. Los bofedales, al ser importantes reguladores hídricos en los Andes, están directamente relacionados con los objetivos del CNULD, ya que su conservación contribuye a la prevención de la desertificación y la degradación del suelo. De todos ellos, se debe resaltar la Convención de Ramsar sobre los Humedales de Importancia Internacional. Esta es la convención más directamente relacionada con la protección de los humedales. Perú se convirtió en parte de la Convención de Ramsar en 1992, comprometiéndose a la conservación y el uso racional de los humedales. Varios sitios en Perú, incluidos algunos bofedales altoandinos, han sido designados como Humedales de Importancia Internacional (sitios Ramsar), lo que implica un compromiso con su protección y gestión sostenible.

En ese sentido, el Perú viene adoptando medidas específicas para la conservación de humedales a través de, por ejemplo, la creación del “Comité Nacional de Humedales”, mediante Decreto Supremo N° 005-2013-PCM. Tiene por objetivo coordinar y promover acciones para la conservación y el uso sostenible de los humedales en el Perú, así como hacerles seguimiento a los compromisos asumidos en la Convención Ramsar. Asimismo, tenemos la Estrategia Nacional de Humedales del Perú, aprobada en 2015, que establece un marco para la conservación, uso racional

y restauración de los humedales en todo el país, incluyendo los bofedales altoandinos. Esta estrategia se alinea con los objetivos de la Convención de Ramsar y promueve la integración de los humedales en las políticas sectoriales, el fortalecimiento de las capacidades institucionales y la promoción de la investigación. Como resultado de estos esfuerzos tenemos por primera vez una Guía oficial enfocada especialmente en la evaluación del ecosistema conocido como bofedal, la cual fue publicada por el MINAM en 2019.

Uno de los últimos hitos fue la aprobación de una norma enfocada a la protección de los humedales peruanos. Si bien se habían tomado diversas medidas como las mencionadas anteriormente, existían vacíos legales al no contar con un marco normativo claro para su conservación. Mediante Decreto Supremo 006-2021-MINAM fueron aprobadas las Disposiciones Generales para la Gestión Multisectorial y Descentralizada de los Humedales, que tiene el principal objetivo de defender este tipo de ecosistemas considerados frágiles. A raíz de ello tenemos los “Criterios para la priorización de humedales en el Perú”, aprobado mediante Resolución Ministerial N°101-2024-MINAM y el Primer Inventario Nacional de Bofedales del Perú publicado en el 2023 a cargo del Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña (INAIGEM).



CAPÍTULO III

3. METODOLOGÍA

3.1 Tipo y nivel de investigación

De acuerdo con lo propuesto en Metodología de la investigación (Hernández et al., 2013), la presente investigación tiene un enfoque cuantitativo-descriptivo. Es cuantitativa porque se apoya en datos numéricos obtenidos en campo (agua, suelo, biota y paisaje) y en gabinete (índices espectrales y métricas estadísticas). Es descriptiva porque se orienta a caracterizar la condición ecológica de los bofedales sin manipular variables, detallando su estado de conservación y distribución a partir de la información recolectada. Este análisis permite, finalmente, elaborar propuestas viables para su conservación.

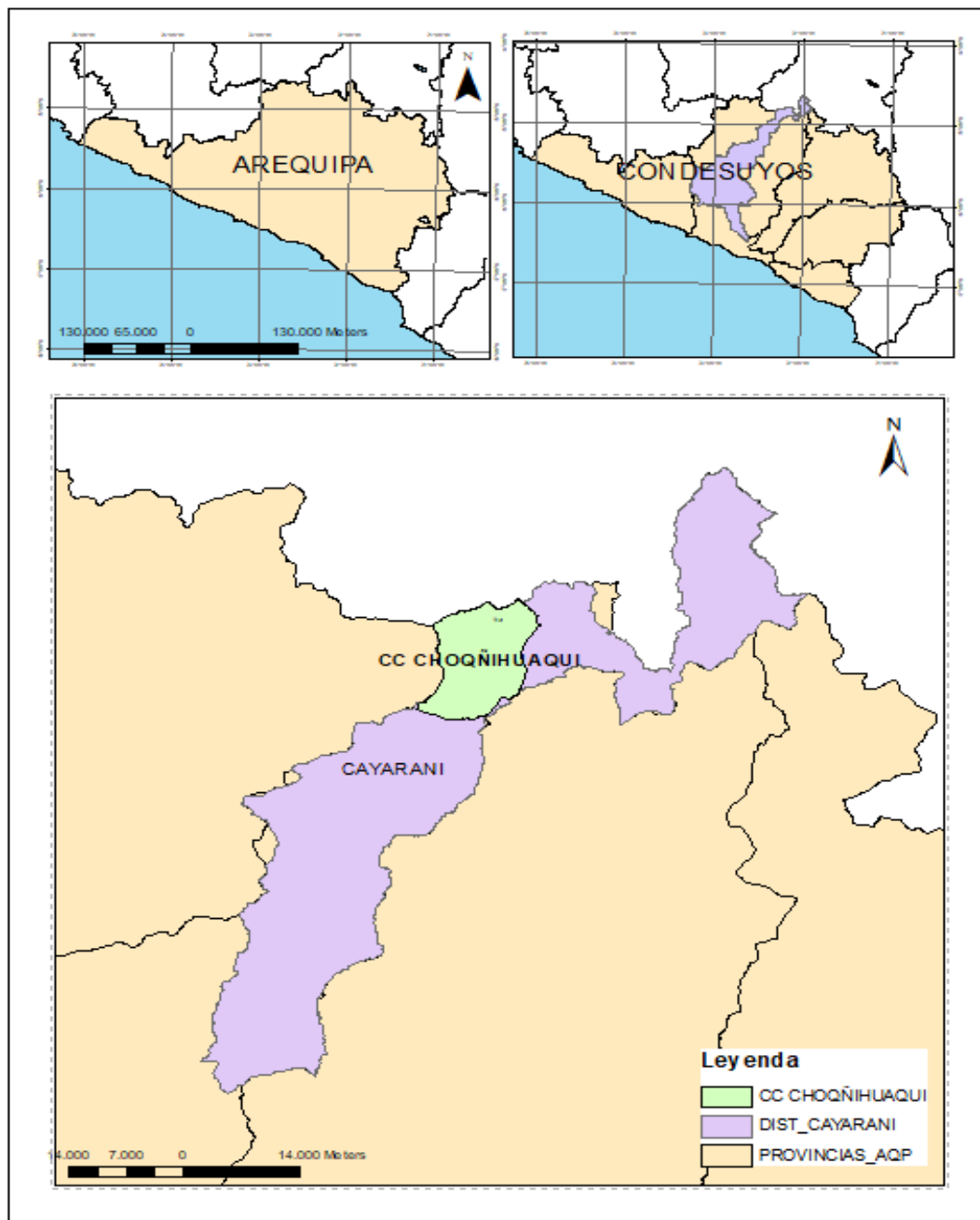
3.2 Métodos

3.2.1 Área y temporalidad del estudio

Este estudio se ubica en el distrito de Cayarani, Provincia de Condesuyos en el departamento de Arequipa, específicamente en la comunidad campesina de Choñihuaqui. Se encuentra en la parte alta de una meseta altoandina a 4,850 m.s.n.m. aproximadamente en la cabecera de la Intercuenca de Alto Apurímac. La investigación se llevó a cabo durante el año 2023, periodo en el cual se realizaron las actividades de levantamiento de información en campo, así como se tomó el 2023 como periodo de referencia para la adquisición y procesamiento de las imágenes satelitales en los meses de junio a octubre.

Figura 1

Mapa de ubicación del área de estudio



3.2.2 Materiales y equipos

Los materiales y equipos empleados para este trabajo de investigación se han dividido de acuerdo a lo empleado en la fase de campo y fase de gabinete.

Tabla 2*Materiales, herramientas y equipos usados en la fase de campo*

Materiales, herramientas y equipos	Cantidad	Unidad
GPS	1	Und
Equipo multiparámetro (Oxígeno Disuelto, Conductividad eléctrica, pH, temperatura y salinidad)	1	Und
Barreno (Diámetro de 4')	1	Und
Cinta métrica de 50 m	1	Und
Cinta métrica de 5 m	1	Und
Cámara fotográfica	1	Und
Cuchilla retráctil	8	Und
Cilindro de plástico de volumen conocido (Diámetro de 4")	1	Und
Cilindro de plástico de volumen conocido (Diámetro de 10")	1	Und
Pala recta	1	Und
Guantes palma látex	1	Paquete
Guantes anticorte	4	Par
Cuaderno de campo	2	Und
Fichas de registro (elaboración propia)	20	Und
Bolsas de papel (tamaño #5)	50	Und
Bolsas de plástico herméticas	30	Und
Plumón indeleble	2	Und
Tijeras	2	Und
Estacas	12	Und
Tubos PVC	1	Und
Pita cordel	1	Und
Lampa pequeña	1	Und
Cinta de embalaje	2	Und

Tabla 3

Materiales, herramientas y equipos usados en la fase de gabinete

Materiales, herramientas y equipos	Cantidad	Unidad
Laptop	1	Und
Softwares (Microsoft Word, Excel, Google Earth Pro, ArcGis y QGIS)	1	Und
Lapiceros	2	Und
Hojas bond	1	Paquete
Impresora	1	Und

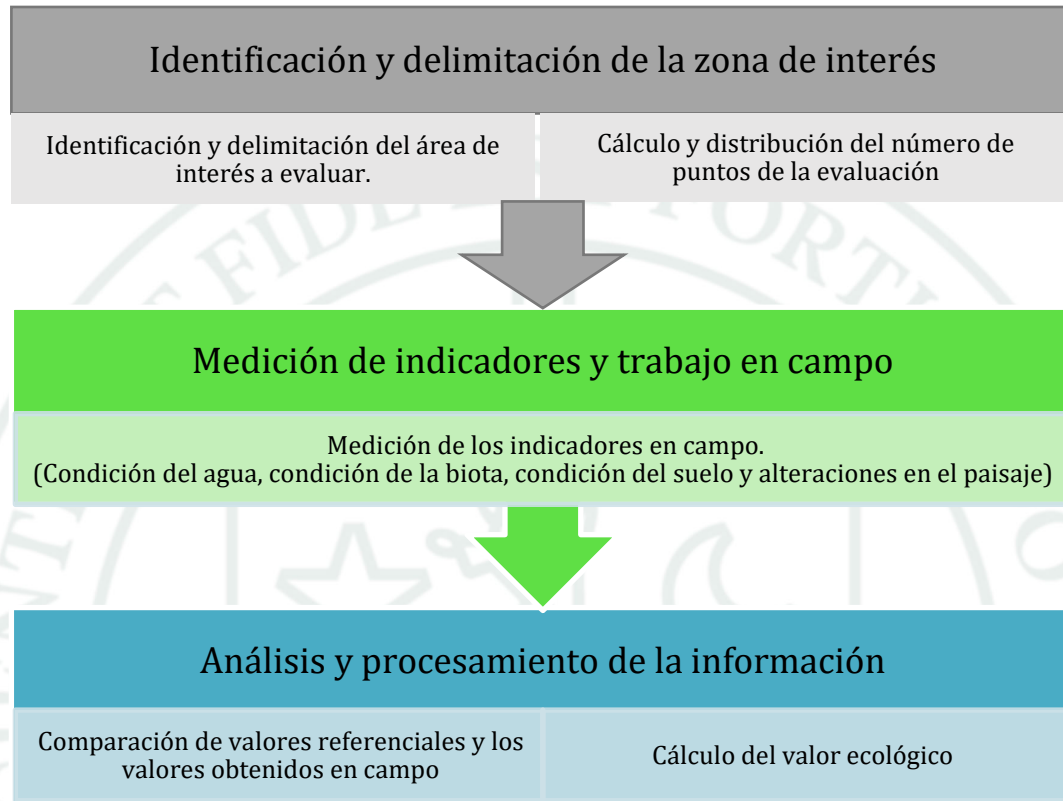
3.3 Metodología

3.3.1 Determinación de la condición ecológica de los bofedales de la Comunidad Campesina de Choqñihuaqui considerando los atributos de agua, suelo, condiciones bióticas y alteraciones en el paisaje.

Para la evaluación de los bofedales se tomó en cuenta la metodología propuesta en la Guía de evaluación de estado de los ecosistemas de Bofedal, la cual se encuentra en concordancia con la metodología establecida en la Guía complementaria para la compensación ambiental: ecosistemas Altoandinos, aprobada mediante Resolución Ministerial 183-2016-MINAM. La estimación del valor ecológico del bofedal toma como base el concepto de Índice de Integridad Biológica (IBI, por sus siglas en inglés), refiriéndose a un valor que resume e indica la condición en que se encuentra el sitio evaluado, con relación a un sistema de referencia, que se considera conservado. Este valor se calcula a través de un sistema de calificación basado en cuatro atributos fundamentales: condición del agua, condición del suelo, condición de la biota y alteraciones en el paisaje. Estos están compuestos por indicadores que pueden relacionarse con la respuesta que da el ecosistema ante un factor de degradación o ser un indicador de la presencia del factor de degradación en sí mismo.

Figura 2

Proceso metodológico de aplicación según la guía del MINAM para la evaluación de bofedales



3.3.1.1. Cálculo de unidades muestrales a evaluar

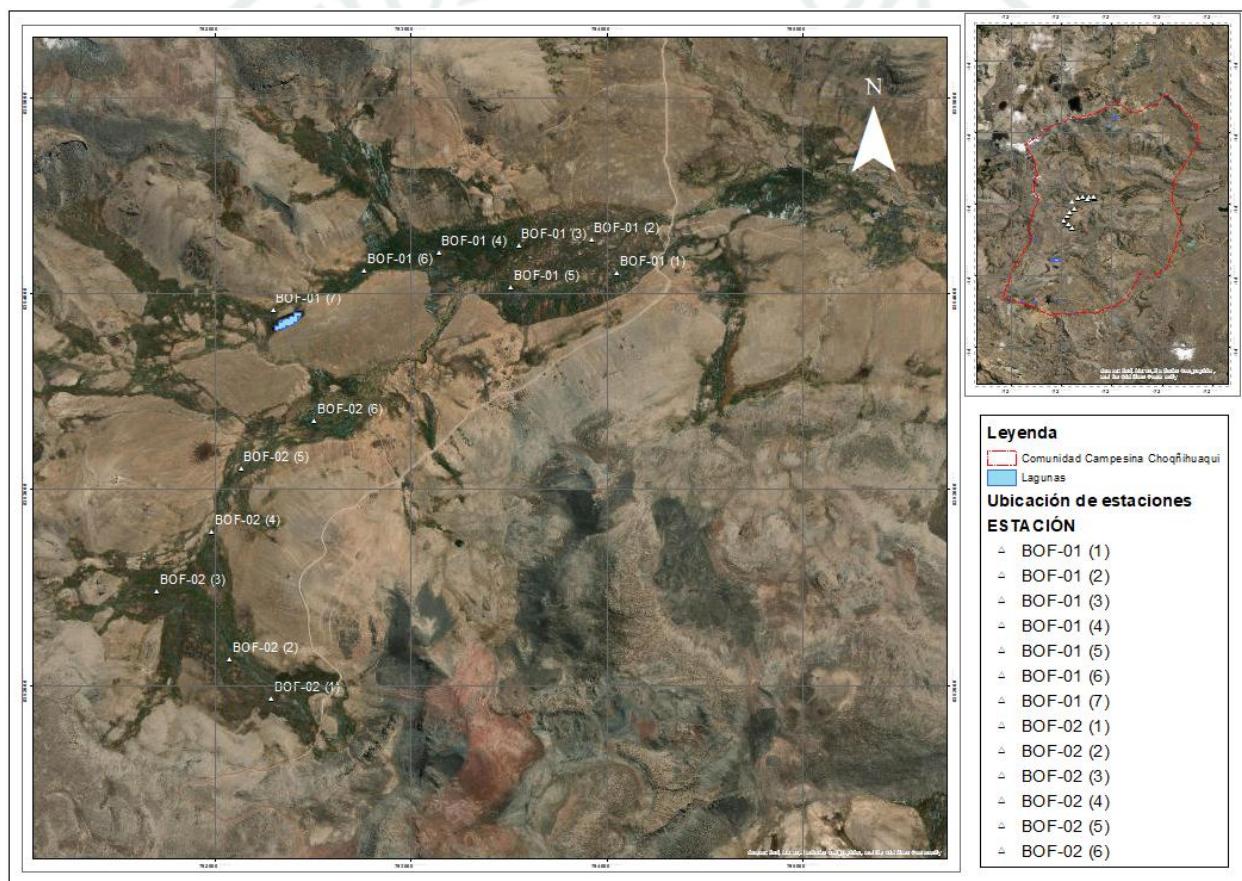
Para la delimitación de los bofedales en la comunidad de Choqñihuaqui, se emplearon los datos geográficos del Inventario Nacional de Bofedales proporcionados por INAIGEM en el año 2023. Posterior a ello se determinó el área de estos ecosistemas utilizando herramientas de geoprocésamiento en el programa ArcGIS- encontrando que INAIGEM (2023) determinó 1639.28 Ha para el área que ocupan los bofedales de la C.C. Choqñihuaqui. La validación de los datos se realizó *in situ*, empleando un GPS.

Posterior a ello, se establecieron 6 y 7 puntos respectivamente para la evaluación de los dos bofedales identificados. Dicha cantidad fue propuesta teniendo en cuenta la Guía de evaluación

del estado de conservación del bofedal altoandino donde se determina qué áreas superiores a las 5 ha corresponden a bofedales “Grandes” en los que se debe considerar como mínimo 4 puntos de evaluación.

Figura 3

Mapa de ubicación de las estaciones de monitoreo



3.3.1.2. Medición de indicadores y trabajo de campo

Para la evaluación de la calidad ambiental de los bofedales en el área de estudio se consideraron los 4 atributos de evaluación:

3.3.1.2.1. Condición del agua:

Con relación a la cantidad y calidad de agua presente en el bofedal.

- **Nivel de la napa freática:** En cada unidad muestral se realizó un hoyo, para lo cual se empleó el barreno de 4 pulgadas de diámetro. Según menciona la Guía, se buscó preferentemente zonas con turba y agua para realizar un corte más sencillo. Asimismo, para aquellas áreas que no contaban con vegetación, se realizó el hoyo directamente; mientras que, para aquellas con cobertura, previamente se realizó el corte de dicho elemento. Por último, se esperó a que el nivel del agua interior sea estable y, utilizando una wincha, se hizo la medición teniendo en cuenta la distancia entre el suelo y el agua. Estos datos se fueron registrando en el cuaderno de campo para su posterior tratamiento.

Figura 4

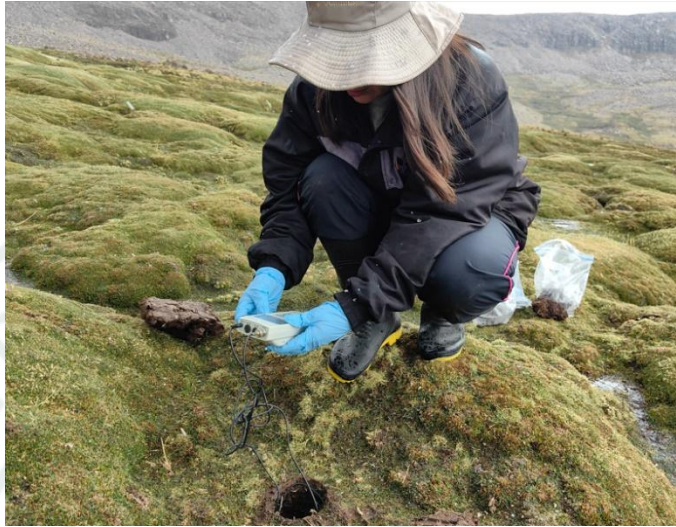
Uso de barreno para elaboración de hoyos y medición del nivel de la napa freática



- **Conductividad eléctrica:** Se empleó un multiparámetro para realizar la medición de la conductividad eléctrica ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$), del agua que se encontró en los hoyos realizados para medir el nivel de la napa freática. Posterior a ello, se empleó el nivel de coeficiente de compensación de temperatura (β) para corregir la lectura de la conductividad eléctrica en un 2% por cada grado Celsius de cambio en la muestra.

Figura 5

Medición de conductividad eléctrica y parámetros de campo



3.3.1.2.2. Condición del suelo:

Referido a la condición e integridad en la que se encuentre la turba o suelo orgánico propio del bofedal.

- **Profundidad de la turba:** En cada estación donde se realizó el hoyo para medir la napa freática, con la ayuda del barreno, se anotó la profundidad de la turba (cm). Para ello, la guía menciona que debe reconocerse a la turba por ser un material vegetal (raíces) que se encuentra en proceso de pudrición y con un característico color marrón oscuro a negro. De lo contrario, el hoyo a realizarse deberá ser más profundo. En esos casos se tuvo que precisar si dicha profundidad es la máxima a la que se pudo llegar o es el valor real de la profundidad de la turba en el bofedal.
- **Materia orgánica superficial:** Se empleó el volumen del sustrato extraído por el barreno como muestra para la evaluación de la materia orgánica. Con la ayuda de una cuchilla se eliminó la vegetación superficial y se obtuvo una muestra que representa los primeros 10

cm de turba. Cada muestra se depositó en una bolsa sellada y codificada para su análisis en laboratorio. En laboratorio, las muestras se colocaron en una estufa a temperatura 40 ± 2 °C hasta que la pérdida de masa no sea mayor al 5% en 24h. Luego fueron tamizadas y pesadas, el tamizaje se realizó con un tamiz de 2mm. Después se secaron en una estufa a 105 ± 5 °C durante 2 h. Se colocaron en una mufla a 550°C durante 2 h. La muestra resultante se pesó y se contrastó con el peso de la primera muestra.

Figura 6

Identificación de la profundidad de la turba y toma de muestra de materia orgánica



- **Densidad aparente en la capa superficial:** En cada estación, con la ayuda de un pequeño cilindro metálico de volumen conocido (pudiendo ser el mismo barreno) se extrajo el volumen correspondiente a 4 o 5 cm de profundidad. Esta muestra se dispuso en una bolsa sellada y codificada para ser llevada al laboratorio. En el laboratorio las muestras fueron secadas a 105°C hasta alcanzar un peso constante.
- **Signos de erosión:** En cada estación se observó y registró todas las evidencias de signos de erosión del suelo presentes en el bofedal y sus alrededores. La descripción del grado de erosión de la superficie evaluada se registró de acuerdo con la escala presentada en la tabla

Tabla 4

Escala de signos de erosión para la evaluación del atributo suelo en bofedales

Grado de erosión	Descripción
A	Menos del 10 % del área presenta signos de erosión laminar superficial y movimiento de mantillo.
B	Se aprecian signos de erosión laminar superficial en menos del 25 % del área, y pocas evidencias de alteraciones (vegetación seca, removida y/o pudriéndose) en la superficie de la vegetación de cojín.
C	Se presenta erosión laminar profunda, formando surco y zanjas en al menos el 15 % del área, y/o se evidencia formación de parches (cojines fraccionados); presencia de vegetación seca, removida o podrida en la superficie de la vegetación de cojín, en al menos 20 % del área.
D	Se observa una severa erosión en la superficie de la vegetación de cojín en al menos el 25 % del área; se han formado parches y el nivel del curso del agua está a 10cm o más de profundidad, en relación a la superficie del suelo con vegetación de cojín. 0 al menos 25 % del área presenta la formación de surco y depresiones profundas.

Fuente: Guía de Evaluación del Estado del Ecosistema de Bofedal (MINAM, 2019)

3.3.1.2.3. Condición de la biota:

- **Identificación de las especies nativas y evaluación de la riqueza de especies:** Se empleó el método de intercepción aplicando un transecto de 50 m utilizando una wincha la cual se colocará sobre la superficie del suelo. Cada 50 cm se registró en una tabla la especie encontrada. Con esta cantidad de puntos se estimó el porcentaje de la vegetación

considerada nativa. Posterior a ello se incluyó todas las especies de vegetación u otros para diferenciar la cantidad de especies registradas en cada bofedal evaluado. Para dicha labor se requirió el soporte del Blgo. Johan Romero Macavilca.

Figura 7

Identificación de especies nativas en el transecto de 50 m



Figura 8

Identificación de especies : “Ourisia muscosa” y “Werneria microphylla”



- **Determinación de la cobertura vegetal:** Se ubicó los siguientes puntos en el transecto colocado en la superficie del bofedal: 12.5 m, 25 m y 37.5 m en los cuales se estimó de forma visual la cobertura de vegetación en un cuadrante de 1m x 1 m.

Figura 9

Determinación de la cobertura vegetal utilizando cuadrante de 1m x 1m



- **Determinación de Biomasa aérea:** Se empleó el método de corte en un área de 25 x 25 cm en los puntos donde se evaluó la cobertura vegetal. Se retiró toda cobertura vegetal al ras del suelo empleando cutters, para posteriormente recolectar en bolsas codificadas y llevarlas a laboratorio, donde se secaron durante 48h, para luego ser pesadas en seco.

Figura 10

Recolección de biomasa área durante la evaluación



3.3.1.2.4. Alteración en el Paisaje:

- **Presencia de factores de degradación:** Se realizó de forma visual identificando los actores de degradación presentes en el bofedal y alrededores. Para la evaluación de este indicador se utilizó la tabla 5 y se escogió la categoría que mejor se adapte a las condiciones observadas.

Tabla 5

Categorías por presencia de factores a por abundancia e intensidad para evaluar el nivel de degradación en bofedales

Categoría	Descripción
A	Se presenta uno o ningún factor de degradación, en baja abundancia e intensidad.
B	Se presentan dos factores de degradación en baja abundancia e intensidad, o un factor con abundancia baja e intensidad alta, o viceversa, alta abundancia y baja diversidad.
C	Se presentan dos factores de degradación con alta intensidad o alta abundancia.
D	Se presentan tres o más factores de degradación en cualquier grado, o se presenta en factor de degradación con alta abundancia y alta intensidad.

Fuente: Guía de Evaluación del Estado del Ecosistema de Bofedal (MINAM, 2019)

Asimismo, se utilizó la tabla 6 para determinar la abundancia u intensidad según cada tipo de los factores de degradación:

Tabla 6

Factores de degradación en bofedales

Factor de degradación	Nivel	Abundancia	Intensidad
Alteraciones hidrológicas dentro del bofedal	Alta (3)	Las zanjas de infiltración o canales cubren una alta proporción del área (al menos 30%)	La diferencia entre la superficie del suelo y el curso del agua es de 25 cm a más.
	Baja (1)	Las zanjas de infiltración o canales cubren una baja proporción del área	La diferencia entre la superficie del suelo y el curso de agua es de menos de 25 cm.
Ganadería	Alta (3)	Presencia de más de 3 unidades animal por hectárea. O alta abundancia de estiércol de ganado	El pastoreo continuo en el área de bofedal (si hay algún informante local)
	Baja (1)	Presencia de menos de 3 unidades animal por hectárea. Baja presencia de estiércol de ganado	El pastoreo es estacional en el área de bofedal (si hay algún informante local)

Cosecha de turba	Alta (3)	En más del 15% del área se ha cosechado turba	Se ha drenado el bofedal y cosechado más de 30 cm de profundidad de turba.
	Baja (1)	En menos del 15% del área se ha cosechado turba	No se ha drenado el bofedal y se ha cosechado menos de 30 cm de turba.
Quemas	Alta (3)	Evidencia de quema reciente en al menos el 255% del área.	La quema siempre es de alta intensidad.
	Baja (1)	Evidencia de quema en menos del 25% del área.	-

Fuente: Guía de Evaluación del Estado del Ecosistema de Bofedal (MINAM, 2019)

- **Conectividad hidrológica:** En cada estación, dentro de un diámetro de 500 m se detectó y registró infraestructuras o alteraciones que modifiquen el curso natural del agua hacia el bofedal analizado, como se puede apreciar en la figura 6. Ejemplo: Tomas de agua, canales, construcción de carreteras, entre otros. Esta evaluación se seguirá de acuerdo a lo establecido por la Guía de Evaluación del Estado del Ecosistema de Bofedal.

Tabla 7

Infraestructuras o alteraciones que condicionan la conectividad hidrológica en los bofedales

Escala de alteraciones	Descripción
------------------------	-------------

- A No se ha encontrado ningún problema o alteración en las fuentes de agua que alimentan directamente al bofedal.
- B La presencia de carreteras o infraestructura han cambiado la permeabilidad del agua hacia el bofedal, pero no la cantidad de agua que entra. Se han encontrado fuentes de nutrientes, minerales y/o contaminantes en las partes altas de la quebrada (alteraciones en la calidad de agua.
- C Se encuentran tomas de agua o canales que funcionan estacionalmente, o carreteras que reducen la cantidad de agua que entra al bofedal. Hay presencia de morrenas grandes, indicando la pérdida significativa de masa glaciar.
- D Se encuentran carreteras y tomas de agua o canales permanentes que desvían y eliminan la entrada de agua de estas fuentes al bofedal.
-

Fuente: Guía de Evaluación del Estado del Ecosistema de Bofedal (MINAM, 2019)

3.3.1.3. Análisis y procesamiento de la información.

En función a las mediciones realizadas en campo y las muestras recolectadas y/o evaluadas en laboratorio se debe estimar los puntajes obtenidos en cada indicador. El valor máximo mediante el cual se determina que la calidad ambiental del bofedal es Muy buena es de 100 puntos o de escala 10.

Tabla 8

Formato de los valores de referencia para el cálculo del valor ecológico

Atributos	Indicadores	Valores de referencia (VR)		Unidad muestral (UM)	
		Valor	Puntaje	Valor	Puntaje
Condición del agua (39.6%)	Napa freática en época seca (cm)	<5	30.8		
	Conductividad eléctrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	<52	8.8		
Condición del suelo (24.5%)	Profundidad de turba (cm)	>200	9.2		
	Materia orgánica (%)	>75	8.9		
	Densidad aparente (g/cm^3)	<0.2	3.5		
	Signos de erosión (cualitativo)	A	2.9		
Condición de la biota (19.9%)	Especies nativas (%)	>80	8.7		
	Riqueza de especies (especies/área)	>10	3.1		
	Cobertura vegetal viva (%)	100	3		
	Biomasa aérea (kg MS/ha)	>1000	5.1		

Alteraciones en el paisaje	Presencia de factores de degradación	A	8
(16.0%)	Conectividad hidrológica del bofedal	A	8
Sumatoria			100
Escala 1-10			10
Estado del Ecosistema (Valor ecológico)			Muy bueno

Fuente: Guía de Evaluación del Estado del Ecosistema de Bofedal (MINAM, 2019)

3.3.1.4. Cálculo del valor ecológico

El cálculo del estado del ecosistema de la zona evaluada se obtiene determinando un único valor por cada indicador, promediando los valores de los indicadores de todas las unidades muestrales evaluadas. Posteriormente se determina el puntaje de cada indicador, en función al rango de valores en el que se encuentra y se realiza una sumatoria.

Tabla 7

Formato de los valores de referencia para el cálculo del valor ecológico

Indicadores	Valor promedio	
	Valor	Puntaje
Napa freática	$(N_1 + N_2 + N_3 + \dots + N_n)/n$	P_1
Conductividad eléctrica	$(C_1 + C_2 + C_3 + \dots + C_n)/n$	P_2

Profundidad de turba	$(T_1 + T_2 + T_3 + \dots + T_n) / n$	P ₃
Materia orgánica	$(Mo_1 + Mo_2 + Mo_3 + \dots + Mo_n) / n$	P ₄
Densidad aparente	$(Da_1 + Da_2 + Da_3 + \dots + Da_n) / n$	P ₅
Signos de erosión	$(E_1 + E_2 + E_3 + \dots + E_n) / n$	P ₆
Especies nativas	$(N_1 + N_2 + N_3 + \dots + N_n) / n$	P ₇
Riqueza de especies	$(Sp_1 + Sp_2 + Sp_3 + \dots + Sp_n) / n$	P ₈
Cobertura vegetal viva	$(Cv_1 + Cv_2 + Cv_3 + \dots + Cv_n) / n$	P ₉
Biomasa aérea	$(B_1 + B_2 + B_3 + \dots + B_n) / n$	P ₁₀
Presencia de factores de degradación	$(D_1 + D_2 + D_3 + \dots + D_n) / n$	P ₁₁
Conectividad hidrológica del bofedal	$(Ch_1 + Ch_2 + Ch_3 + \dots + Ch_n) / n$	P ₁₂
Valor relativo		Σ
Escala 1-10		V
Estado del Ecosistema (Valor Ecológico)		EE

Fuente: Guía de Evaluación del Estado del Ecosistema de Bofedal (MINAM, 2019)

La suma de los puntajes de los indicadores representa el valor relativo obtenido para la zona de evaluación. Para ello, se muestran cinco niveles que corresponden a una escala de 0 a 10, siendo la que presenta mejor condición ecológica, la escala del 8 al 10.

Tabla 8

Escala y valor relativo para estimar el estado de los ecosistemas de bofedal

Escala	Valor relativo (%)	Estado del ecosistema
[0 – 2>	[0 – 20>	Muy pobre
[2 – 4>	[20 – 40>	Pobre
[4 – 6>	[40 – 60>	Regular
[6 – 8>	[60 – 80>	Bueno
[8 – 10]	[80 – 100]	Muy bueno

Fuente: Guía de Evaluación del Estado del Ecosistema de Bofedal (MINAM, 2019).

3.3.2 Identificación de las coberturas de los bofedales mediante imágenes satelitales y algoritmos de teledetección

Para la identificación de los bofedales de la cuenca se emplearon los datos de entrenamiento del Inventario Nacional de Bofedales proporcionados por INAIGEM en el año 2023. El inventario de bofedales se realizó a una escala de 0.09, Sin embargo, la totalidad de los bofedales en el área de estudio no fueron identificados correctamente, es así que, siguiendo la metodología propuesta por Chimner et al (2019) se implementó el algoritmo Random Forest (RF) dentro de la plataforma Google Earth Engine donde se aprovechó la amplia y constante disponibilidad de imágenes satelitales.

3.3.2.1. Procesamiento de los datos satelitales

Previo a la clasificación y al cálculo de los índices de estado de conservación, se aplicaron procedimientos de preprocesamiento sobre cada fuente de información empleada. El objetivo fue garantizar la consistencia espectral, temporal y espacial de los datos antes de su integración en los análisis. A continuación se describen los procedimientos aplicados a cada fuente, según lo implementado en la plataforma Google Earth Engine (GEE).

Las imágenes fueron filtradas siguiendo las recomendaciones de Amani et al (2019) seleccionándose aquellas con una nubosidad menor al 20% así también se combinaron imágenes ópticas y radar de los satélites Sentinel 2 y 1. El satélite Sentinel-2 ofrece una resolución espacial de 10 metros en las bandas del espectro visible (azul, verde y rojo) y en el infrarrojo cercano, mientras que en las bandas del infrarrojo de onda corta (SWIR) y el infrarrojo de borde la resolución es de 20 metros. Su resolución espectral es de 12 bits, lo que le permite discriminar hasta 4096 niveles de intensidad por banda, incrementando la capacidad de detección de variaciones en la superficie terrestre. En cuanto a la resolución temporal, el sensor presenta un periodo de revisita de aproximadamente 7 días, lo que permite disponer de hasta cuatro imágenes mensuales de una misma área de estudio.

Por otro lado, el satélite Sentinel-1, que opera con radar de apertura sintética (SAR), proporciona imágenes con una resolución espacial de 10 metros y una frecuencia temporal similar a la de Sentinel-2. A diferencia de los sensores ópticos, las imágenes de radar no poseen resolución espectral, ya que la información se registra en unidades de intensidad (decibelios, dB) en función de la retro dispersión de la señal sobre la superficie. Para el periodo de estudio se emplearon 110 imágenes Sentinel 2A y 20 imágenes radar Sentinel 1A-B. En la sección anexos se puede encontrar los IDS de cada una de las imágenes.

Las imágenes del sensor fueron complementadas con índices espectrales que refuercen la identificación del área de bofedales es así que se implementaron los índices NDVI (índice normalizado de vegetación), NDWI (índice normalizado de agua) y LSWI (índice normalizado del contenido de agua en plantas y suelo). Estos índices permitieron caracterizar espectralmente el bofedal que corresponde a un cuerpo complejo de identificar por sus características de reflectividad. (Dong et al, 2014).

Tabla 9

Características espectrales de imagen Sentinel 2

Banda	Resolución espectral (µm)	Resolución espacial
B01	430.00 – 450.00	60
B02	450.00 – 520.00	10
B03	540.00 – 570.00	10
B04	650.00 – 680.00	10
B05	690.00 – 710.00	20
B06	730.00 – 740.00	20
B07	770.00 – 790.00	20
B08	780.00 – 900.00	10
B08A	850.00 – 870.00	20
B09	930.00 – 950.00	60
B10	1360.00 – 1390.00	60
B11	1560.00 – 1650.00	20
B12	2100.00 – 2280.00	20

Fuente: Google Earth Engine

Para la implementación del algoritmo RF, se consideraron cuatro clases donde la primera clase corresponde a los bofedales altoandinos, la segunda clase corresponde a cobertura glaciaria, la tercera clase a suelo desnudo-otras coberturas y la cuarta clase a lagunas. Es así que habiendo

definido estas cuatro unidades se procedió a la delimitación de polígonos de entrenamiento. Los polígonos de entrenamiento fueron dibujados en base a la composición falso color agrícola (B11, B08A y B3). La composición falso color permite diferenciar bofedales representados por un verde claro intenso, los cuerpos de suelo desnudo en color mostaza claro, glaciares en turquesa y lagunas en colores azul oscuro-verdosas dependiente de la composición mineralógica.

Figura 11

Composición falso color (1183) para bofedales y lagunas

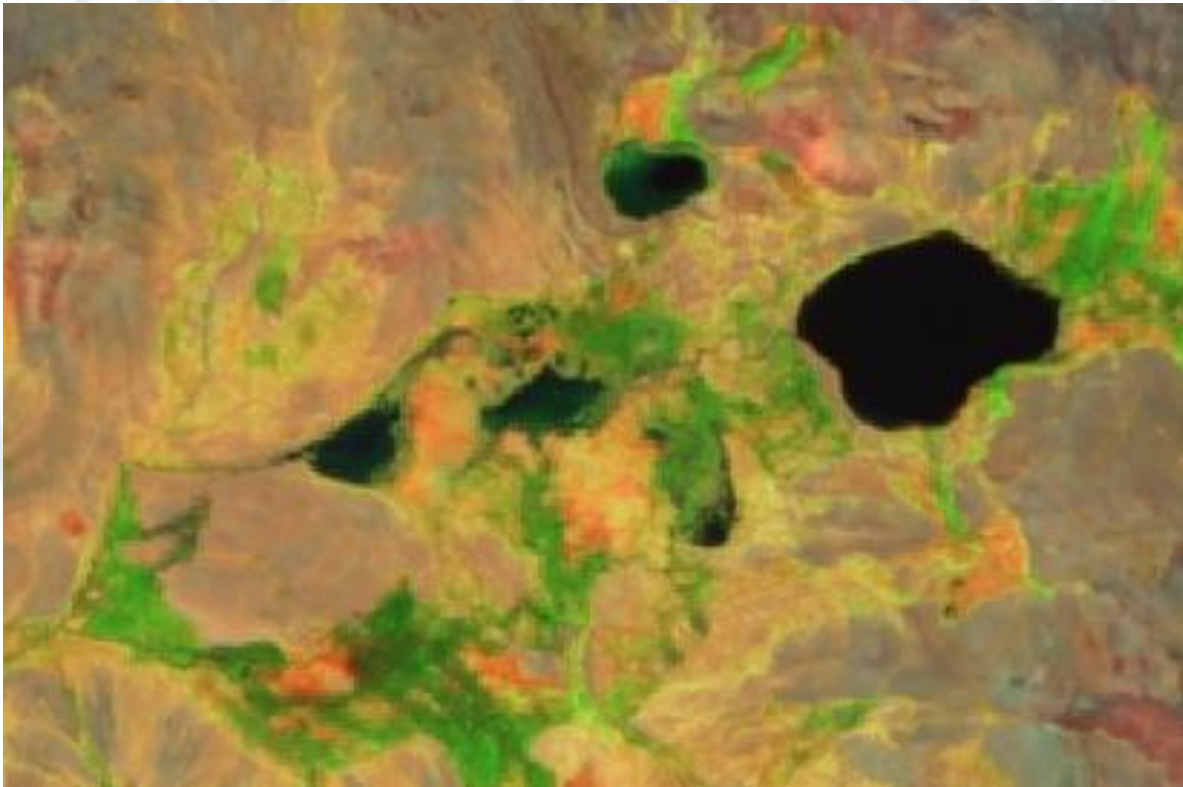
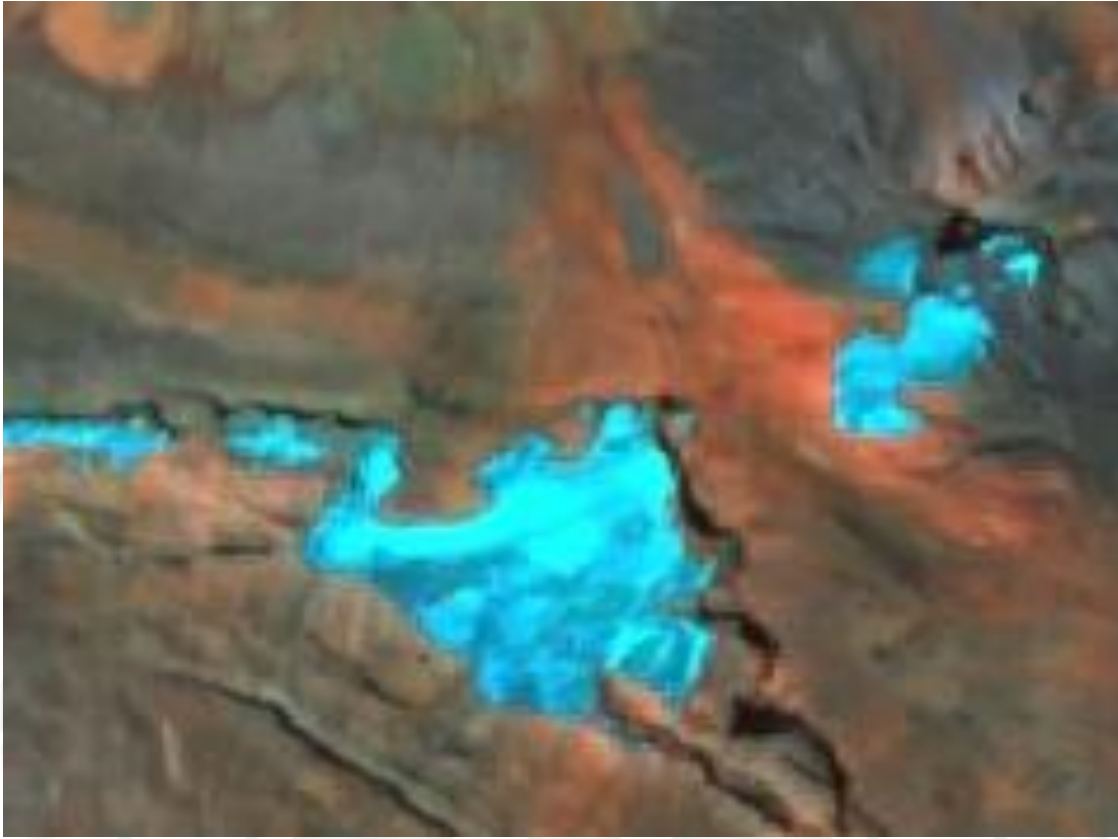


Figura 12

Composición falso color (1183) para glaciares

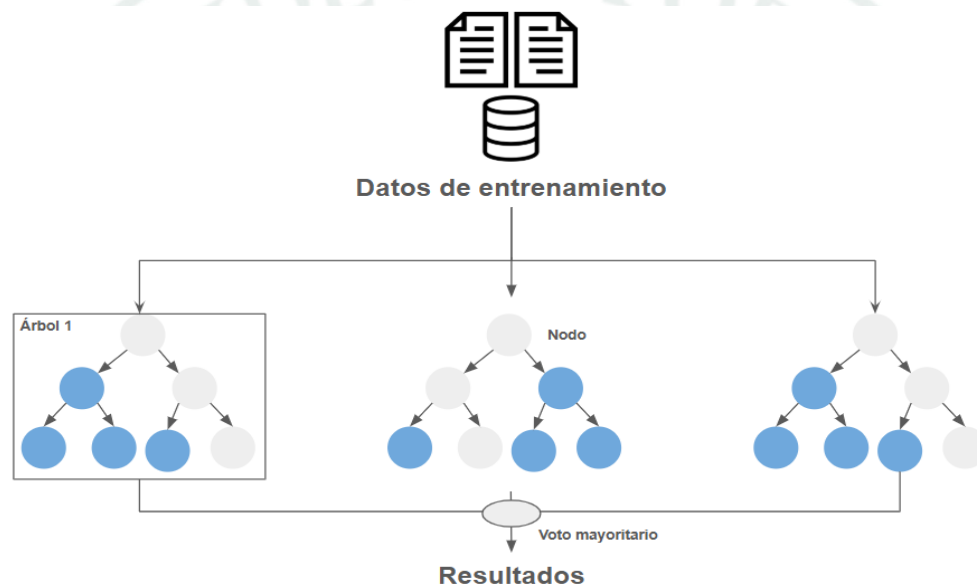


El algoritmo de Random Forest es ampliamente utilizado para la delimitación de coberturas de uso del suelo y unidades vegetales (Mohammadpour et al., 2022; Singh et al., 2023). El funcionamiento del algoritmo consiste en ajustar árboles de clasificación compuestos por nodos a un conjunto de datos y luego generar predicciones en todos los árboles, Cutler et al (2007) implementó el método para evaluaciones ecológicas encontrando dos ventajas claves del método respecto a sus competidores ANN (redes neuronales artificiales) y SVM (máquinas de soporte), la primera es la relación de importancias que implementa Random Forest ya que considera el conjunto de datos entero, así como la variedad de análisis de regresión y clasificación que puede realizar. El algoritmo fue configurado de manera que lo podemos ir ajustando a nuestra necesidad particular

la implementación se realizó considerando los siguientes parámetros de 100 árboles de decisión, voto mayoritario y semilla con el valor de 42 para reproducir los resultados. (Breiman, 2001; Pedregosa et al., 2011).

Figura 13

Flujograma para la predicción de algoritmo Random Forest



3.3.2.2. Evaluación de la calidad cartográfica en la identificación del área de los bofedales

El proceso de validación temática de los polígonos delimitados como unidades de vegetación, nos permite conocer el grado de precisión en la clasificación, como resultado de la implementación del algoritmo Random Forest y de los procesos de depuración y edición, usando métricas estadísticas, obtenidas de una matriz de confusión. El proceso se implementa a través de 3 fases: A) tamaño de la muestra, B) diseño de muestreo y respuesta y C) generación de la matriz de confusión y de los indicadores estadísticos, los cuales nos permiten conocer el grado de precisión, exactitud y niveles

de error que se pueden haber generado en este proceso de clasificación (Congalton y Green, 2019; Story y Congalton, 1986).

3.3.2.2.1. Tamaño de muestra

Se definió como unidad de muestreo a cada píxel, por lo que la población total, al ser extremadamente grande (mayor a 10,000), puede considerarse indeterminada o infinita. El complemento Atacama permite una estimación mediante el error estándar de acuerdo con la fórmula de Cochran (1977).

$$n = \frac{(\sum w_i S_i)^2}{[S(\hat{\theta})]^2 + (1/N) \sum w_i S_i^2} \approx \left(\frac{\sum w_i S_i}{[S(\hat{\theta})]} \right)^2$$

$$S_i = \sqrt{U_i * (1 - U_i)}$$

3.3.2.2.2. Diseño de muestreo y respuesta

Con la finalidad de optimizar el proceso de distribución de puntos, se trabajó con el complemento AcATaMa. Este complemento permite evaluar la precisión en mapas temáticos. Para ello trabaja en 3 secciones: “diseño de muestreo”, “diseño de respuesta” y “análisis”.

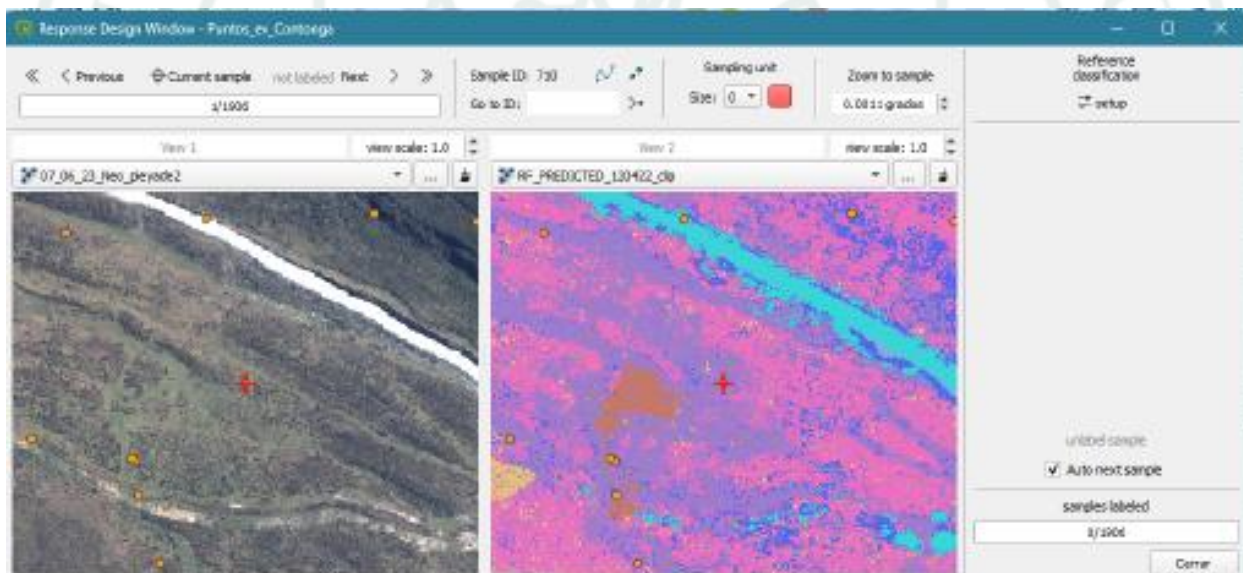
El complemento nos permite implementar 3 tipos de muestreos el aleatorio, realiza un sorteo aleatorio en todos los píxeles de evaluación y permite evaluar grandes extensiones de terreno sin altos costes computacionales. Sin embargo, el muestreo aleatorio puede estar representado clases con menores extensiones que no se distribuyen espacialmente. Respecto al muestreo estratificado este tiene como ventaja representar correctamente clases con menores extensiones y reduce la desviación estándar entre clases desproporcionadas. Este diseño es aplicado por Olofsson et al. (2014) y es recomendado con una buena práctica para la estimación temática. Finalmente, el muestreo sistemático realiza una distribución equitativa por toda el área de estudio. No obstante,

puede carecer de aleatoriedad, así también en errores que no se distribuyen uniformemente el error puede tener una menor varianza. En base a dichas consideraciones es que seleccionamos el muestreo aleatorio estratificado como una herramienta que nos permite equilibrar el número de clases asegurando una representatividad.

El diseño de respuesta con el complemento AcATaMa permite evaluar interactivamente en base a imágenes de referencia si un píxel está o no correctamente clasificado. Para ello se trabajó con imágenes de apoyo Sentinel 2A.

Figura 14

Diseño de respuesta de complemento AcATaMa



Finalmente, la evaluación estadística, mediante la matriz de confusión. Una de las principales ventajas del uso del plugin “AcATaMa”, es que, al finalizar la asignación de clases mediante inspección visual, automáticamente generará una matriz de confusión (Kohavi y Provost, 1998), comparando así los valores ingresados manualmente en el plugin (complemento), con aquellos que se generaron en la metodología de identificación.

3.3.3 Relación entre el estado de conservación de los bofedales mediante un índice ponderado de teledetección y la evaluación *in situ*.

La evaluación de la condición de los bofedales se realizó considerando el análisis jerárquico de acuerdo con la metodología propuesta por Zhu et al, (2022). Esta metodología, considera la construcción de un índice ponderado que permita evaluar la degradación de la cobertura bofedal. En nuestra región de estudio, se consideró como indicadores (1) la erosión del suelo, (2) la vigorosidad de la vegetación y (3) la humedad del suelo, similar a la propuesta desarrollada por Zhu et al, (2022). El índice ponderado se inspiró en el esquema desarrollado por Saaty (2005) donde consideramos una serie de descriptores entre 1 (igual importancia) y 9 (absolutamente importante). Asimismo, como estadística de validación para la comparación por pares de la matriz de Saaty se consideró la relación de consistencia de los componentes de la matriz, mediante el índice de consistencia aleatorio “RCI” y la relación de consistencia “RC”.

Tabla 10

Descriptores jerárquicos para la matriz de Saaty

Valores y descripciones de la escala de comparaciones por pares de Saaty			
Valor	Descripción	Valor	Descripción
9	Absolutamente importante	1/9	Absolutamente menos importante
8		1/8	
7		1/7	
6	Demostrablemente más importante	1/6	Demostrablemente menos importante
5		1/5	
4	Notablemente más importante	1/4	Notablemente menos importante
3		1/3	
2	Ligeramente más importante	1/2	Ligeramente menos importante
1		1	
1	Igual importancia	1	Igual importancia

3.3.3.1. Estimación de los factores para el índice ponderado

3.3.3.1.1. Erosión del suelo:

Esta capa fue obtenida mediante la aplicación de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo Revisada (RUSLE) dentro de la plataforma GEE, integrando los factores descritos en la sección de preprocesamiento: el factor R estimado a partir de CHIRPS, el factor C derivado del NDVI de imágenes Sentinel-2A armonizadas, el factor K obtenido de OpenLandMap, y el factor LS calculado desde el DEM SRTM. Esta propuesta es similar a la desarrollada por Sud et al. (2024).

- **Factor de cobertura vegetal (C - RUSLE):** Para la estimación del factor de cobertura vegetal (C) de la ecuación RUSLE, se calculó el NDVI a partir de un compuesto temporal mediante la mediana de las imágenes Sentinel-2A armonizadas del periodo de análisis, utilizando las bandas del infrarrojo cercano (B8) y rojo (B4). A partir del NDVI, el factor C fue derivado aplicando la transformación propuesta por van der Knijff et al. (2000), que emplea los parámetros alpha ($\alpha = -2$) y beta ($\beta = 1$) para convertir los valores de NDVI en valores de cobertura vegetal, según la expresión: $C = (\alpha \times (1 - \text{NDVI})) / (\alpha + \text{NDVI} + \beta)$. Esta transformación permite corregir la relación no lineal entre la cobertura vegetal y el NDVI, mejorando la estimación del factor C en ecosistemas de alta montaña con vegetación dispersa como los bofedales.
- **Índice de vigor de la vegetación (PPVDI):** Para el cálculo del índice PPVDI (Peak Plant Vigor Difference Index), se redujo la colección de imágenes Sentinel-2 armonizadas mediante el percentil 95 del NDVI. La elección del percentil 95, en lugar del valor máximo o la media, responde a la necesidad de capturar condiciones de máximo vigor vegetacional real del periodo analizado, minimizando la influencia de píxeles con contaminación residual de nubes o artefactos atmosféricos que no son completamente eliminados por el

filtro de nubosidad del 20% (Flood, 2013; Zhu et al., 2022). Este criterio es consistente con el empleado por Zhu et al. (2022) en la construcción del índice VDI para evaluación de degradación de humedales, donde se utiliza el percentil 90 del NDVI con el mismo fundamento: evitar el ruido inducido por sensores o imperfecciones en la corrección atmosférica.

- **Factor de erosividad de la lluvia (R – RUSLE):** El factor R fue estimado a partir de la colección de precipitación CHIRPS Pentad (Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station data), disponible en GEE. Se calculó la precipitación acumulada del periodo de análisis mediante la suma de los registros pentadales (.sum()), y se aplicó la ecuación empírica $R = (\text{precipitación acumulada} \times 0.363) + 79$, adaptada para ecosistemas altoandinos (Renard et al., 1997; Sud et al., 2024). La colección CHIRPS integra datos de estaciones meteorológicas con estimaciones de precipitación derivadas de imágenes infrarrojas, proporcionando una cobertura espacial continua que permite estimar la erosividad incluso en zonas de alta montaña con escasa red de estaciones (Funk et al., 2015).
- **Factor de erodibilidad del suelo (K - RUSLE):** El factor K fue obtenido a partir de la colección OpenLandMap SOL/SOL_TEXTURE-CLASS_USDA-TT_M/v02, seleccionando la banda b0 correspondiente a la textura del suelo superficial. Los valores de K fueron asignados mediante una clasificación condicional según la clase textural USDA, siguiendo los valores tabulados de erodibilidad del suelo propuestos por Wischmeier y Smith (1978). Este procedimiento garantiza que cada píxel reciba un valor de K coherente con la clase de suelo dominante en el área de estudio, sin necesidad de interpolación espacial que pudiera introducir incertidumbre adicional.

- **Factor topográfico (LS - RUSLE):** El factor topográfico LS fue calculado a partir del modelo digital de elevación SRTM de 30 metros de resolución espacial disponible en GEE. La pendiente fue calculada en grados mediante la función `ee.Terrain.slope()` y convertida a porcentaje mediante la transformación trigonométrica correspondiente ($\text{slope\%} = \tan(\text{slope}^\circ) \times 100$). El factor LS fue calculado combinando el factor de longitud de pendiente ($\text{LS1} = \sqrt{(500/100)}$) con el factor de inclinación según las ecuaciones de McCool et al. (1987), ampliamente empleadas en implementaciones de RUSLE sobre plataformas de teledetección (Sud et al., 2024).

3.3.3.1.2. Vigoridad de la vegetación (PPVDI):

Se calculó el índice PPVDI (Peak Plant Vigor Difference Index) mediante la inversión del NDVI reducido al percentil 95 de las imágenes Sentinel-2 armonizadas del periodo de análisis. La elección del percentil 95 permite capturar el máximo vigor vegetacional real minimizando la influencia de píxeles residualmente contaminados por nubes no detectadas (Flood, 2013), en coherencia con el criterio empleado por Zhu et al. (2022) en la construcción del índice VDI para humedales.

3.3.3.1.3. Humedad del suelo (SMMI):

La humedad del suelo fue estimada mediante el índice SMMI (Soil Moisture Monitoring Index), propuesto por McKee et al. (1993), el cual integra las bandas del rojo e infrarrojo cercano para caracterizar el contenido de humedad superficial del suelo. El índice fue calculado sobre las imágenes Sentinel-2 armonizadas del periodo de análisis, representando las condiciones de humedad del suelo en los bofedales evaluados.

La integración de los índices de erosión, humedad del suelo y vigor de la vegetación permite evaluar el estado de conservación del bofedal. En la figura 15, las áreas de alta erosión se muestran en tonos rojo-naranja, mientras que las de baja erosión aparecen en celeste. Las zonas con alto vigor vegetacional se representan en verde y aquellas con bajo vigor en tonos crema. El índice de humedad se representa en tonos oscuros para alta humedad y tonos claros para baja humedad.

Figura 15

Capas NDVI, SMMI y erosión en la Comunidad Campesina de Choqñihuaqui

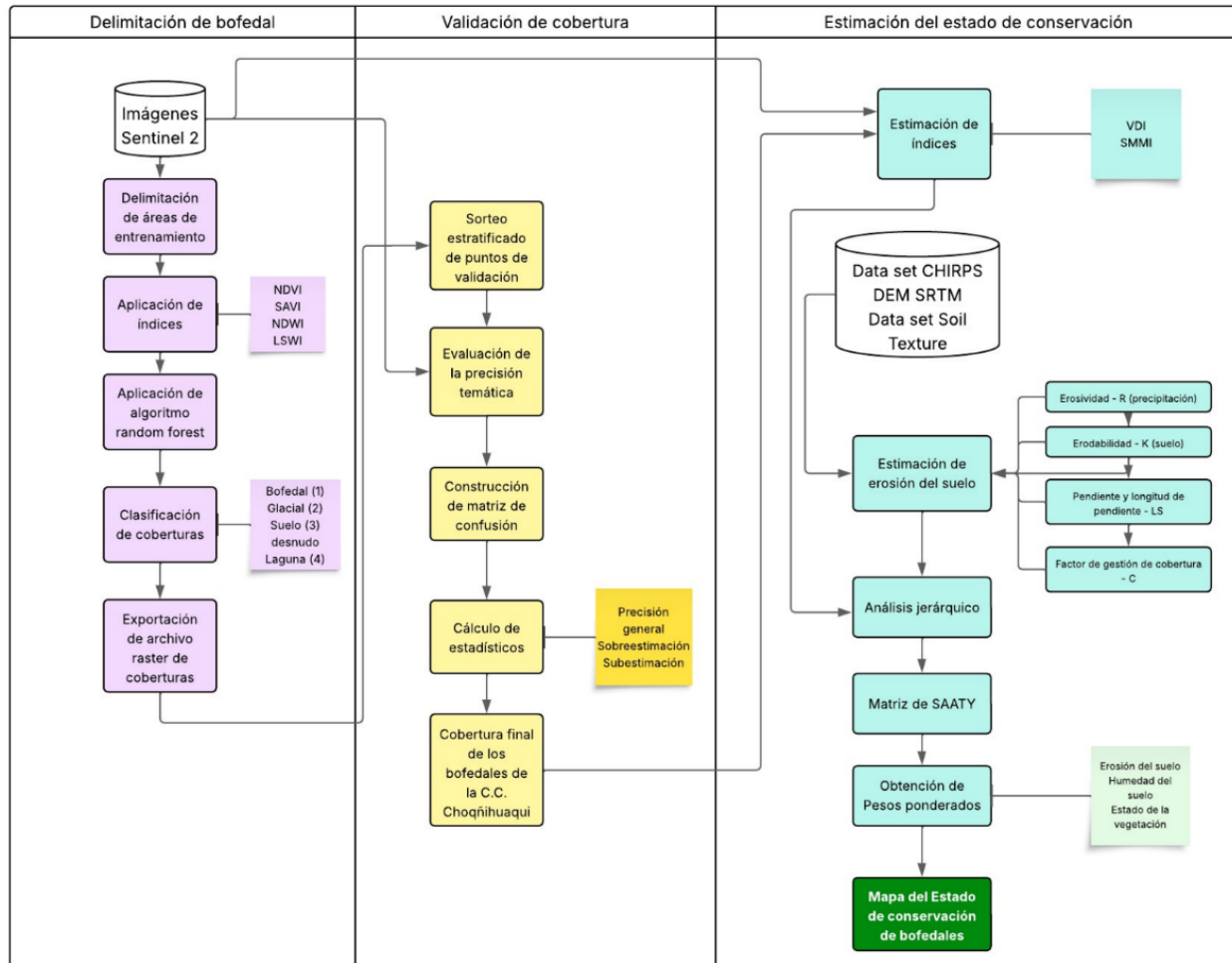


3.3.3.2. Análisis de concordancia entre métodos de evaluación

Finalmente, se evaluó la relación entre los resultados obtenidos a partir de la evaluación in situ y los obtenidos mediante teledetección. Dado que ambas fuentes de información fueron expresadas en términos cuantitativos, se empleó el coeficiente de determinación (R^2) como medida de concordancia, con el objetivo de determinar la correspondencia entre los resultados derivados de ambas metodologías.

Figura 16

Flujograma del procesamiento de imágenes para la estimación del estado de conservación de bofedales en la C.C. de Choqñihuaqui



3.3.4 Planteamiento de lineamientos de conservación para el manejo sostenible de los bofedales estudiados

La elaboración de estrategias para los bofedales de la C.C. de Choqñihuaqui tendrá en cuenta los resultados de la evaluación del estado de conservación, de manera que se realicen propuestas acordes a las necesidades del ecosistema. Asimismo, estas propuestas se elaborarán en base a lo establecido en la “Guía para la Conservación y Seguimiento Ambiental de Humedales Andinos”

(MMA, 2011). Dicha guía contiene diversos lineamientos para la gestión de los humedales altoandinos, por lo tanto, es necesario adecuarla para los fines presentes.





CAPÍTULO IV

4. RESULTADOS

4.1 Resultados del valor ecológico de los bofedales, considerando la condición del agua, suelo, factor biótico y alteraciones en el paisaje.

El monitoreo se realizó en temporada seca los días comprendidos desde el 23 de octubre hasta el 27 de octubre del 2023. Se escogió estas fechas puesto que pertenecen a la temporada seca y según la Guía del MINAM, esta época es la recomendada para realizar evaluaciones a los bofedales y obtener resultados más cercanos al estado ecológico.

Tabla 11

Coordenadas de los puntos de monitoreo para la evaluación de bofedales

N°	Código	Coordenadas (WGS 84)		Altura
		Este	Norte	m.s.n.m.
1	BOF-01 (1)	794053	8354106	4713
2	BOF-01 (2)	793922	8354276	4712
3	BOF-01 (3)	793550	8354244	4711
4	BOF-01 (4)	793142	8354208	4723
5	BOF-01 (5)	793513	8354034	4713
6	BOF-01 (6)	792762	8354117	4740
7	BOF-01 (7)	792295	8353918	4761

8	BOF-02 (1)	792288	8351933	4873
9	BOF-02 (2)	792075	8352135	4828
10	BOF-02 (3)	791702	8352479	4788
11	BOF-02 (4)	791984	8352785	4758
12	BOF-02 (5)	792131	8353106	4742
13	BOF-02 (6)	792507	8353352	4726

4.1.1 Resultados de la evaluación del atributo condición del agua en los bofedales

De la evaluación realizada en campo se obtuvo los siguientes resultados en cuanto a los dos indicadores de este atributo: napa freática y conductividad eléctrica.

Tabla 12

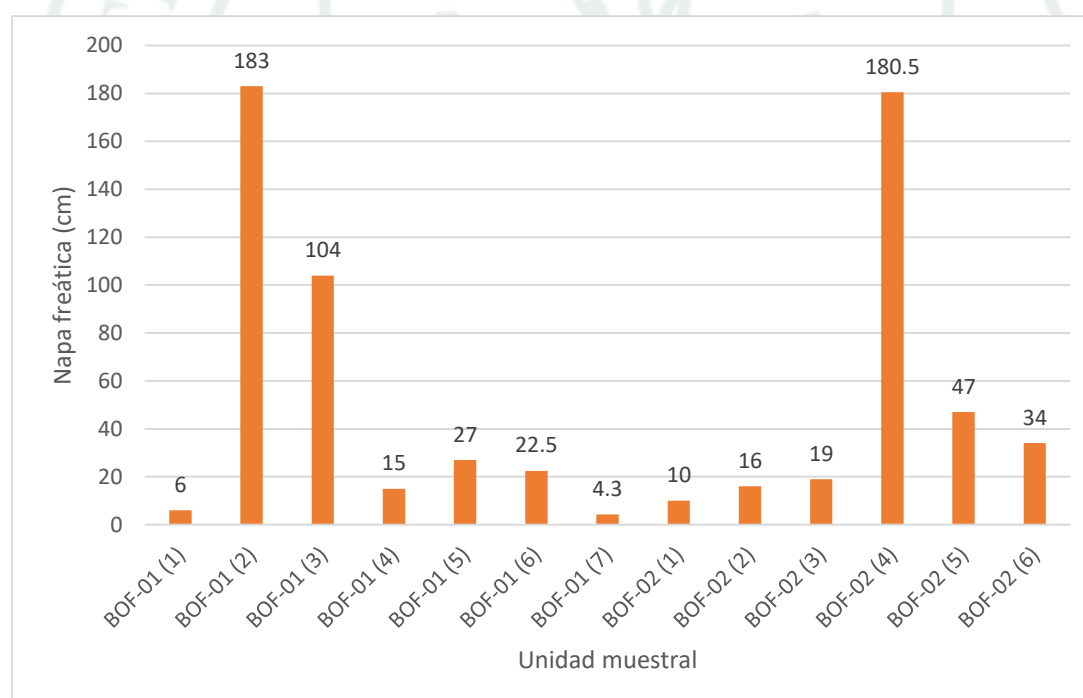
Valoración del atributo Condición del agua para los bofedales de CC Choqñihuaqui

Punto de muestreo	Indicadores			
	Napa freática en época seca (cm)		Conductividad eléctrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	
	VS	PS	VS	PS
BOF-01 (1)	6	20.5	31	8.8
BOF-01 (2)	183	0	222	0
BOF-01 (3)	104	0	175	2.90
BOF-01 (4)	15	20.5	33.3	8.80
BOF-01 (5)	27	10.30	36	8.80
BOF-01 (6)	22.5	10.30	47.6	8.80

BOF-01 (7)	4.3	30.8	5.90	8.80
BOF-02 (1)	10	20.5	42	8.80
BOF-02 (2)	16	20.5	30	8.80
BOF-02 (3)	19	20.5	23.60	8.80
BOF-02 (4)	180.50	0	58.5	5.90
BOF-02 (5)	47	10.30	34.50	8.80
BOF-02 (6)	34	10.30	46	8.80

Figura 17

Profundidad de la napa freática (cm) por unidad muestral

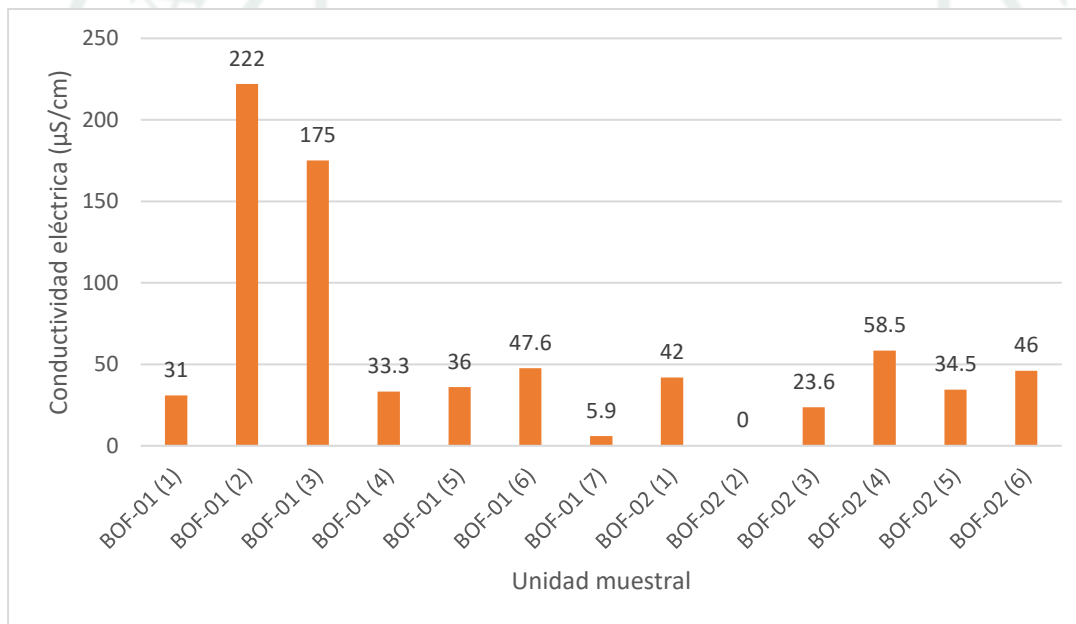


De acuerdo a la gráfica se puede observar una alta heterogeneidad en los valores de la profundidad de la napa freática, ya que varias unidades presentan niveles que oscilan entre 4.3 a 47 cm. Monge-Salazar et al. encontraron en su estudio valores similares que van desde 0 a 40 cm en temporada seca. Por otro lado, tenemos tres unidades que presentan valores mayores a 100 cm, dichas

unidades muestrales obtuvieron una valoración de 0 puntos. Oyague et al. (2022) encontró valores de hasta 0.51 m durante la temporada seca en las zonas de Moyobamba, Piticocha y Huachipampa en su estudio en los andes centrales del Perú. Maldonado Fonkén (2014) indica que en los bofedales la napa freática se encuentra cercana a la superficie lo cual favorece la recarga de acuíferos, por lo tanto, las unidades muestrales BOF-01 (2), BOF-01 (3) y BOF-02 (4) podrían presentar alguna alteración en la captación y acumulación de agua.

Figura 18

Conductividad eléctrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$) por unidad muestral



Los resultados obtenidos para la conductividad eléctrica (CE) en las unidades muestrales variaron de 0 en BOF-02 (2) a 222 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en BOF-01(2). Estos valores son relativamente bajos y se encuentran dentro del rango reportado por Millán (2023) en su tesis desarrollada en la región de Cajamarca. Asimismo, Sinsaya (2020) registró valores de hasta 468 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en el distrito de Pitumarca en Cusco. Esto nos indica que las concentraciones de sales son bajas, por lo tanto, el agua es aceptable para riego, consumo de ganado, etc.

4.1.2 Resultados de la evaluación del atributo condición del suelo en los bofedales

Los resultados de este atributo incluyen el análisis de cuatro indicadores: profundidad de turba, materia orgánica, densidad aparente y signos de erosión. Este último es una evaluación cualitativa, la cual se hizo mediante visualización en campo teniendo en cuenta las escalas de la tabla 4.

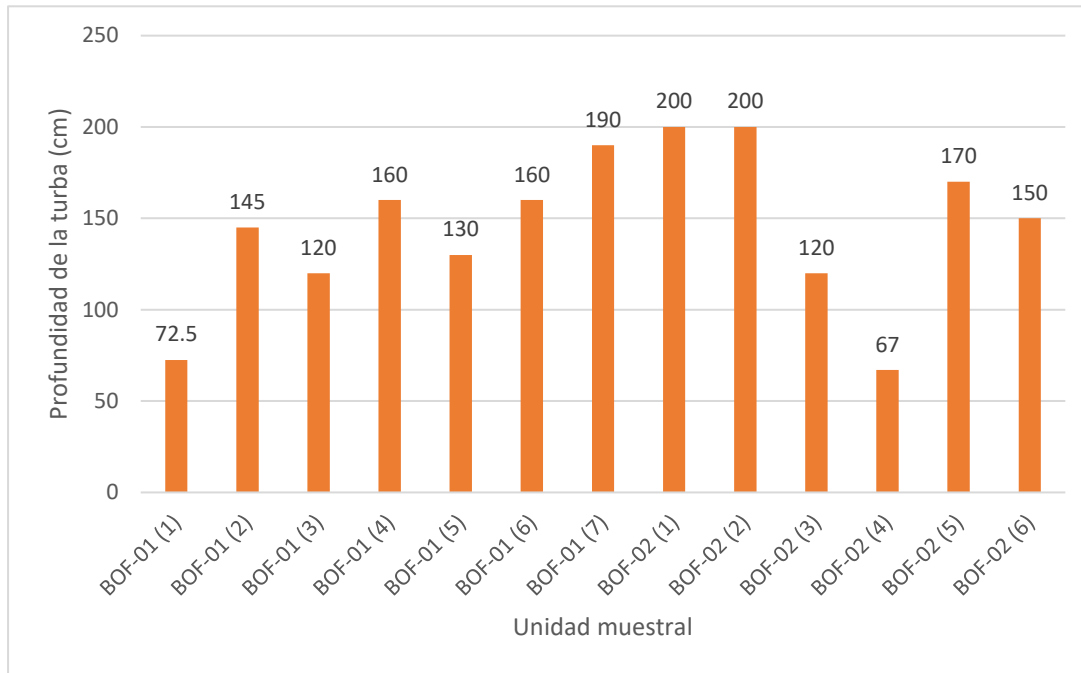
Tabla 13

Valoración del atributo Condición del suelo para los bofedales de CC Choqñihuaqui

Punto de muestreo	Indicadores							
	Profundidad de turba (cm)		Materia orgánica (%)		Densidad aparente (g/cm ³)		Signos de erosión (cualitativo)	
	VS	PS	VS	PS	VS	PS	VS	PS
BOF-01 (1)	72.5	3.1	9.40	0	0.13	3.5	A	2.90
BOF-01 (2)	145	6.1	26.20	3	0.14	3.5	C	1.00
BOF-01 (3)	120	6.1	62.61	5.9	0.15	3.5	B	1.90
BOF-01 (4)	160	6.1	71.47	5.9	0.13	3.5	A	2.90
BOF-01 (5)	130	6.1	45.68	3	0.45	1.2	A	2.90
BOF-01 (6)	160	6.1	65.29	5.9	0.11	3.5	A	2.90
BOF-01 (7)	190	6.1	7.79	0	0.32	1.2	A	2.90
BOF-02 (1)	200	6.1	71.20	5.9	0.14	3.5	A	2.90
BOF-02 (2)	200	6.1	66.10	5.9	0.15	3.5	A	2.90
BOF-02 (3)	120	6.1	67.71	5.9	0.12	3.5	B	1.90
BOF-02 (4)	67	3.1	48.10	3	0.19	3.5	B	1.90
BOF-02 (5)	170	6.1	28.62	3	0.24	2.3	A	2.90
BOF-02 (6)	150	6.1	70.67	5.9	0.11	3.5	A	2.90

Figura 19

Profundidad de la turba (cm) por unidad muestral

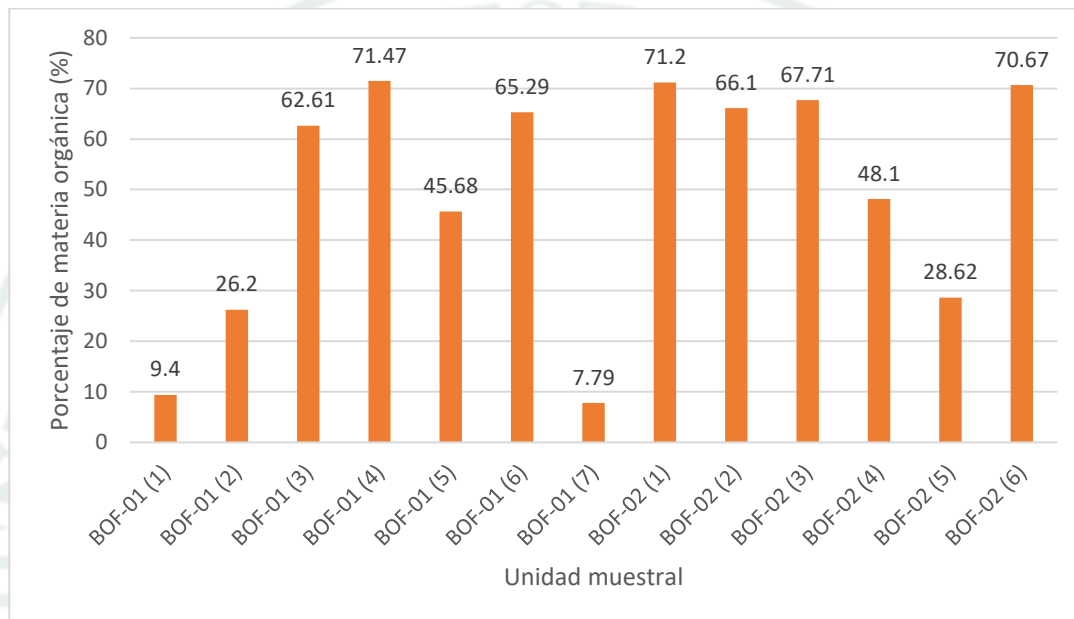


De acuerdo con los resultados obtenidos, el bofedal BOF-01 presenta profundidades de turba que van desde los 72.5 cm hasta los 190 cm. Se observa una variación interna notable, con la mayoría de las unidades superando los 120 cm, lo que indica una buena acumulación de materia orgánica en gran parte de este bofedal. La unidad BOF-01 (1) con 72.5 cm es la más superficial, lo que podría sugerir una zona más joven, estacional, o un área con alguna alteración que ha limitado la acumulación de turba. Por otro lado, el bofedal BOF-02 muestra un rango aún más amplio, ya que la profundidad de turba va desde 67 cm hasta 200 cm. Destaca la presencia de dos unidades que registran la máxima profundidad observada (200 cm), lo que sugiere áreas de turba muy bien desarrolladas y potencialmente muy antiguas. Sin embargo, la unidad BOF-02 (4) con 67 cm representa la menor profundidad registrada en todo el estudio, indicando una zona particularmente superficial dentro de este bofedal. Estas profundidades son consistentes con lo reportado para

bofedales altoandinos, donde se encuentran turbas con una profundidad que va desde los 17 cm hasta 3.8 m (Chimner et al., 2023; Machuca y Uzquiano, 2021).

Figura 20

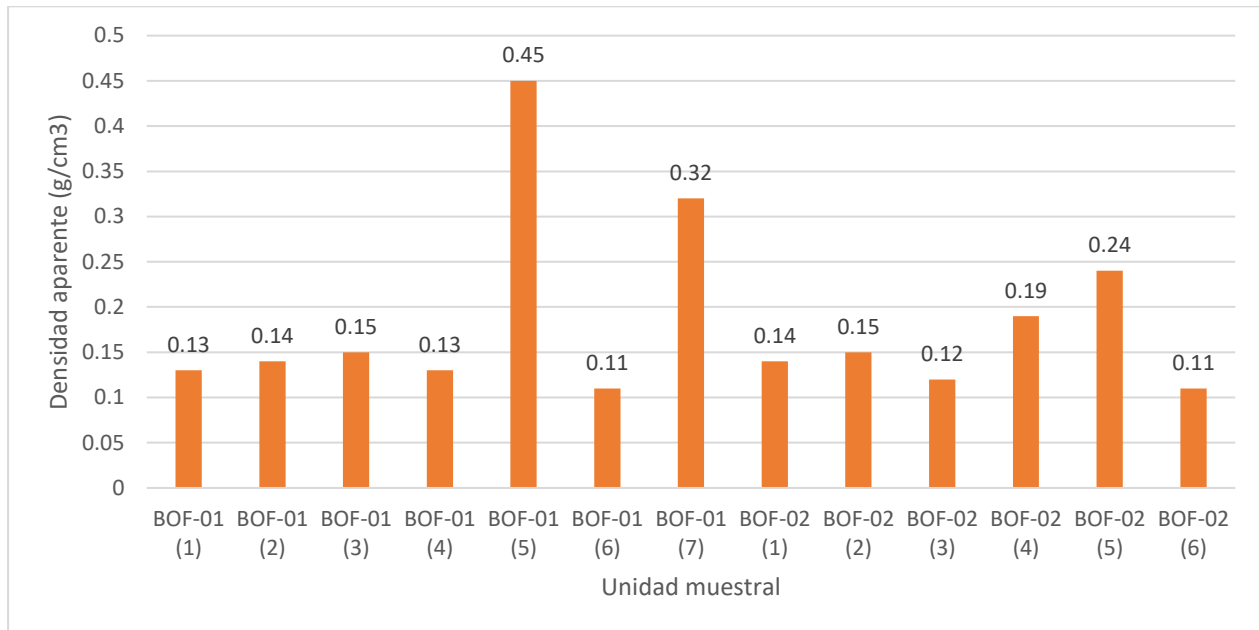
Materia orgánica (%) por unidad muestral



Se observa que el máximo valor (71.47 %) para materia orgánica se encuentra en la unidad muestral BOF-01 (4), a su vez la estación BOF-01 (7) presenta el menor valor con 7.79 %. Este bofedal presenta diferentes porcentajes de materia orgánica a diferencia del segundo bofedal, el cual mantiene un porcentaje similar entre las unidades muestrales, exceptuando a BOF-02 (5) cuyo valor es menor al 30%. Este indicador se relaciona a la presencia de materia orgánica superficial, por lo que valores bajos pueden ser reflejo de áreas inundadas dentro del bofedal evaluado. Asimismo, mayores valores de materia orgánica superficial nos muestra que el bofedal tiene una mayor capacidad para almacenar carbono (MINAM, 2019).

Figura 21

Densidad aparente (g/cm³) por unidad muestral



El gráfico nos muestra una similitud de valores entre las distintas unidades muestrales evaluadas para ambos bofedales. No obstante, se tiene un valor máximo de 0.45 g/cm³ en BOF-01 (5), seguido de 0.32 g/cm³ en BOF-01(7). Ello se puede deber a la presencia de ganado, que debido a la práctica de pastoreo genera un pisoteo constante y, por ende, se compacta el suelo.

Se puede observar que, en general, ambos bofedales muestran valores bajos (menor a 0.2 g/cm³), lo cual indicaría una buena capacidad para la retención de agua. Esteban y Moran (2022) obtuvieron un valor de 0.16 g/cm³ para el bofedal que evaluaron, similar a lo encontrado por Gonzales y Moscoso (2023) cuyo resultado se situaba entre 0.19 g/cm³ y 0.31 g/cm³.

Respecto a la evaluación de los signos de erosión en ambos bofedales se realizó mediante observación directa en campo teniendo en cuenta las escalas de la tabla 4. Estos valores se encuentran en su mayoría entre las categorías “A” y “B”. Las unidades muestrales ponderadas con la categoría “A” determinan que el área presenta erosión laminar y movimiento de mantillo en

menos del 10% de su extensión. Por lo tanto, dichos signos son menores u poco perceptibles. Las unidades muestrales ponderadas con categoría “B” identifican áreas con erosión laminar en menos del 25% de su extensión además pocas evidencias de alteraciones diversas como presencia de vegetación seca, vegetación removida o en estado de descomposición principalmente sobre la superficie de vegetación de cojín.

A continuación, se presentan fotografías de la evaluación cualitativa realizada para determinar los signos de erosión en los bofedales BOF-01 y BOF-02

Figura 22

BOF-01 (5) – Ponderación “A”



Figura 23

BOF-01 (7) - Ponderación “A”



Figura 24

BOF-01 (4) – Ponderación “B”



Figura 25

BOF-02 (4) - Ponderación “B”



Como se puede apreciar en las fotografías 22 y 23 las unidades muestrales BOF-01 (5) y BOF-01(7) fueron ponderadas con la categoría “A” puesto que en ambas unidades muestrales no se observaron signos de erosión notorios, ya que, por el contrario, ambas unidades presentaban buena cobertura vegetal, zonas de empozamiento de agua y surcos dando buenas condiciones visuales respecto al estado de conservación del bofedal. Sin embargo, las fotografías 24 y 25 correspondientes a las unidades muestrales BOF-01(4) y BOF-02(4) fueron ponderadas con la categoría “B” ya que ambas presentaban signos de erosión leves que no superaron el 25% de las áreas estudiadas. Los signos más perceptibles fueron vegetación seca y áreas con suelo desnudo. La unidad BOF-01 (7) fue la única unidad muestral evaluada con la categoría “C” ya que esta unidad presentó signos de erosión laminar profunda en más del 15% del área evaluada además presentaba vegetación seca en casi toda su extensión. La fotografía 26 muestra evidencias de las condiciones encontradas y evaluadas en campo.

Figura 26

BOF-01 (2) - Ponderación “C”



4.1.3 Resultados de la evaluación del atributo condición de la biota en los bofedales

En este apartado se tiene los resultados de la evaluación de la biota encontrada en los diferentes transectos. Para ello, se trabajó en campo con una ficha donde se anotó cada 50 cm las especies encontradas a lo largo del transecto de 50 m. A partir de los hallazgos se elaboró una lista mínima (Tabla 14) con las especies dominantes y/o representativas de los dos bofedales estudiados, tal como indica la Guía del MINAM.

Tabla 14

Lista de especies representativas encontradas en los bofedales evaluados

Forma de vida	Familia	Especies	Clasificación
Asteraceae	Asteraceae	<i>Hypochaeris taraxacoides</i>	Nativa
Asteraceae	Asteraceae	<i>Oritrophium limnophilum</i>	Nativa
Asteraceae	Asteraceae	<i>Soliva mexicana</i>	Nativa
Comunidad de cojín	Caryophyllaceae	<i>Arenaria digyna</i>	Nativa
Comunidad de cojín	Juncaceae	<i>Distichia muscoides</i>	Nativa
Comunidad de cojín	Apiaceae	<i>Lilaeopsis occidentalis</i>	Nativa
Comunidad de cojín	Orobanchaceae	<i>Neobartsia pedicularoides</i>	Nativa
Comunidad de cojín	Plantaginaceae	<i>Ourisia muscosa</i>	Nativa
Comunidad de cojín	Juncaceae	<i>Oxychloe andina</i>	Nativa
Comunidad de cojín	Cyperaceae	<i>Phylloscirpus acaulis</i>	Nativa
Comunidad de cojín	Cyperaceae	<i>Phylloscirpus boliviensis</i>	Nativa
Comunidad de cojín	Cyperaceae	<i>Phylloscirpus deserticola</i>	Nativa
Comunidad de cojín	Plantaginaceae	<i>Plantago tubulosa</i>	Nativa
Comunidad de cojín	Asteraceae	<i>Rockhausenia microphylla</i>	Nativa
Comunidad de cojín	Asteraceae	<i>Rockhausenia pygmaea</i>	Nativa

Cyperaceae (Pseudograminea)	Cyperaceae	<i>Carex lemanniana</i>	Nativa
Cyperaceae (Pseudograminea)	Orobanchaceae	<i>Castilleja pumila</i>	Nativa
Cyperaceae (Pseudograminea)	Asteraceae	<i>Cuatrecasasiella isernii</i>	Nativa
Gentianaceae	Poaceae	<i>Deschampsia chrysantha</i>	Nativa
Gentianaceae	Gentianaceae	<i>Gentiana sedifolia</i>	Nativa
Gentianaceae	Gentianaceae	<i>Geranium sessiliflorum</i>	No nativa
Gentianaceae	Gentianaceae	<i>Halenia caespitosa</i>	Nativa
Herbácea	Campanulaceae	<i>Lobelia oligophylla</i>	Nativa
Herbácea	Asteraceae	<i>Lucilia kunthiana</i>	Nativa
Juncaceas (Pseudograminea)	Juncaceae	<i>Juncus stipulatus</i>	Nativa
Juncaceas (Pseudograminea)	Poaceae	<i>Nassella inconspicua</i>	No nativa
Poaceae (Gramínea)	Poaceae	<i>Aciachne pulvinata</i>	Nativa
Poaceae (Gramínea)	Poaceae	<i>Cinnagrostis jamesonii</i>	No nativa
Poaceae (Gramínea)	Poaceae	<i>Cinnagrostis rigescens</i>	Nativa
Poaceae (Gramínea)	Poaceae	<i>Cinnagrostis vicunarum</i>	Nativa
Poaceae (Gramínea)	Boraginaceae	<i>Plagiobothrys humilis</i>	Nativa
Poaceae (Gramínea)	Poaceae	<i>Poa aequigluma</i>	Nativa
Poaceae (Gramínea)	Asteraceae	<i>Rockhausenia pinnatifida</i>	Nativa
Poaceae (Gramínea)	Asteraceae	<i>Rockhausenia solivifolia</i>	Nativa
Poaceae (Gramínea)	Asteraceae	<i>Rockhausenia spathulata</i>	Nativa
Rosaceae	Rosaceae	<i>Alchemilla diplophylla</i>	Nativa
Rosaceae	Rosaceae	<i>Alchemilla pinnata</i>	Nativa

De la lista anterior se obtuvo los porcentajes para el indicador de especies nativas en los bofedales. En cuanto al indicador de biomasa aérea, dichos resultados se obtuvieron de las muestras enviadas a laboratorio.

Tabla 15

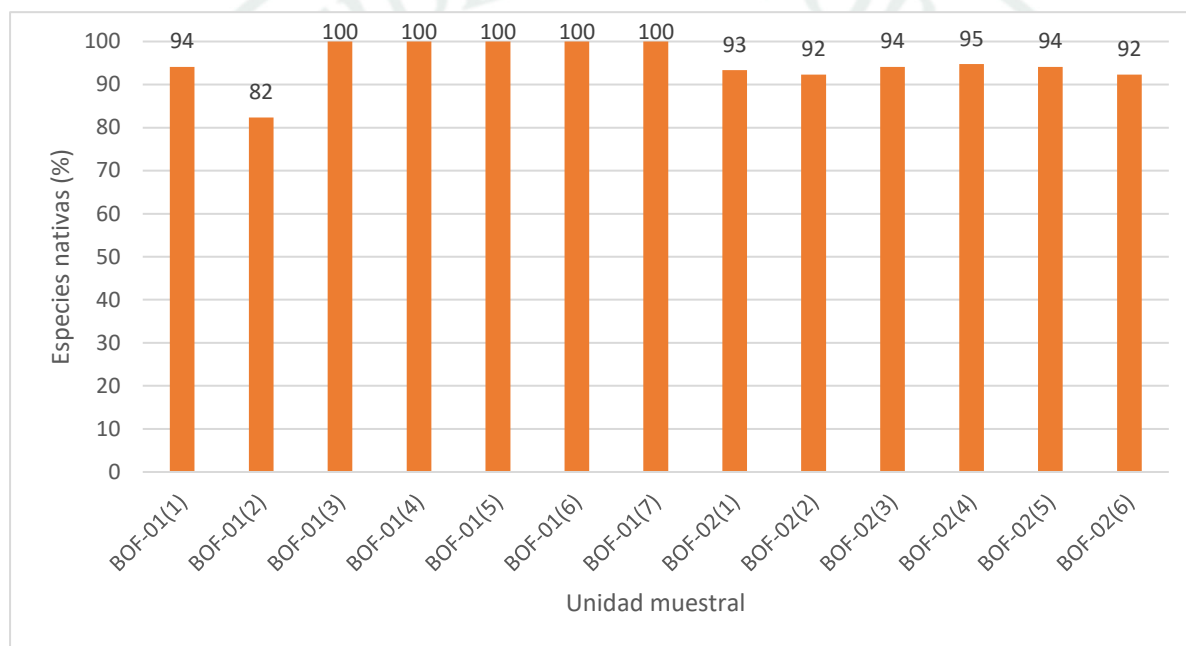
Valoración del atributo Condición de la biota para los bofedales de CC Choqñihuaqui

Punto de muestreo	Indicadores							
	Especies nativas (%)		Riqueza de especies (especies/área)		Cobertura vegetal viva (%)		Biomasa aérea (kg MS/ha)	
	VS	PS	VS	PS	VS	PS	VS	PS
BOF-01 (1)	94	8.7	17	3.1	98	2.0	5933.89	5.1
BOF-01 (2)	82	8.7	17	3.1	68.33	0.0	2135.98	5.1
BOF-01 (3)	100	8.7	16	3.1	85	1.0	4222.11	5.1
BOF-01 (4)	100	8.7	15	3.1	96.67	2.0	8532.03	5.1
BOF-01 (5)	100	8.7	17	3.1	90	2.0	5885.33	5.1
BOF-01 (6)	100	8.7	18	3.1	90.5	2.0	13719.89	5.1
BOF-01 (7)	100	8.7	14	3.1	85.8	1.0	5418.67	5.1
BOF-02 (1)	93	8.7	15	3.1	80	1.0	6970.31	5.1
BOF-02 (2)	92	8.7	13	3.1	76.67	1.0	3418.67	5.1
BOF-02 (3)	94	8.7	17	3.1	88.33	1.0	12519.76	5.1
BOF-02 (4)	95	8.7	19	3.1	85	1.0	3086.34	5.1
BOF-02 (5)	94	8.7	17	3.1	71.67	1.0	10138.67	5.1
BOF-02 (6)	92	8.7	13	3.1	78.33	1.0	5876.98	5.1

Respecto al indicador de especies nativas en las unidades de muestreo, se registró que todas las estaciones presentaron valores altos (>80%). Este valor nos indica que la proporción de especies nativas es superior a las especies invasoras.

Figura 27

Porcentaje de especies nativas por unidad muestral



El total de especies registradas en ambos bofedales fue de 37 especies agrupadas en 12 familias. Dentro de la vegetación característica se puede mencionar a: *Distichia muscoides* (265 ind.), *Rockhausenia pygmaea* (126 ind.), *Alchemilla diplophylla* (105 ind.), *Lobelia oligophylla* (82 ind.), *Phylloscirpus acaulis* (79 ind.), *Rockhausenia microphylla* (71 ind.) y *Ourisia muscosa* (67 ind.). Estas 7 especies representan el 63 % de la abundancia total de especies encontradas en ambos bofedales. De acuerdo con Maldonado (2014), la presencia dominante de *D. muscoides* indica que estos bofedales presentan un tipo de comunidad vegetal denominado Turberas de *Distichia*, caracterizado por cojines duros que permanecen verdes a lo largo del año. Asimismo, la presencia

abundante de *R. pygmaea* o *P. tubulosa* nos indica que estamos frente a la comunidad Césped de arroyo, la cual se caracteriza por especies que forman alfombras duras y permanentemente verdes.

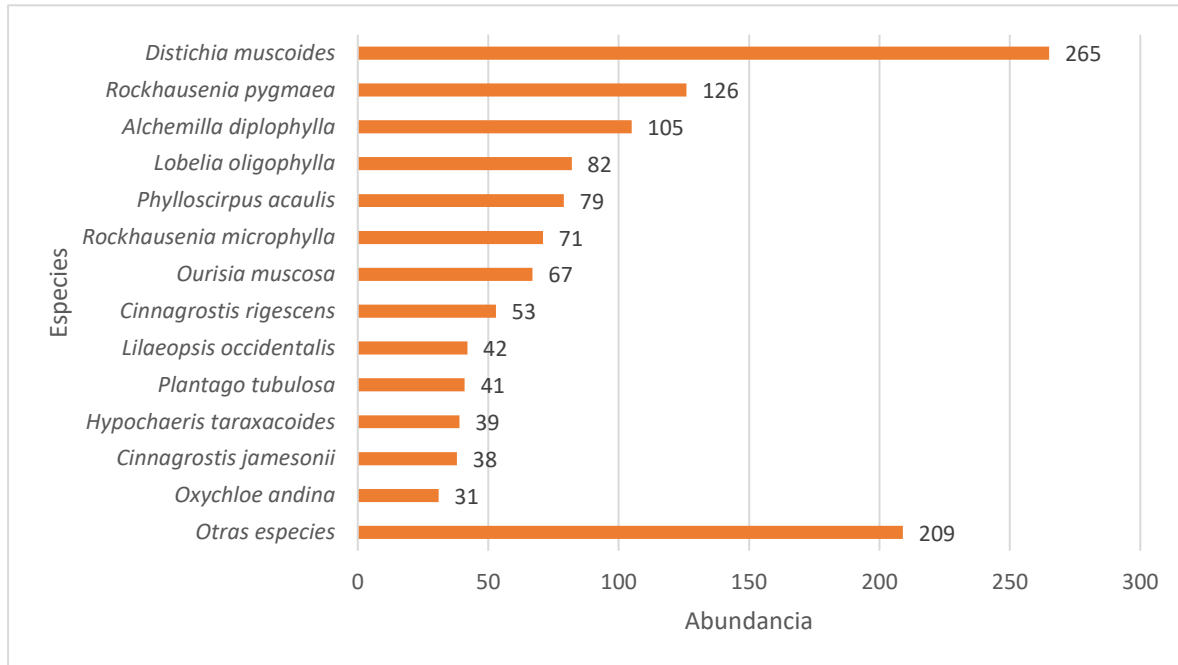
En general, las especies encontradas en los dos bofedales es similar. En cuanto al primero, se encontró mayor presencia de especies como *Oxychloe andina* o *Plantago Tubulosa*; mientras que, en el segundo bofedal se encontró mayor número de especies como *Cinnagrostis jamesonii*. En cuanto a especies como *Poa aequigluma*, *Soliva mexicana* o *Rockhausenia solivifolia*, solo se encontraron en esta última zona de estudio.

Oyague et al., (2022) indica que la composición vegetal de los bofedales se encuentra estrechamente relacionada con la profundidad de la napa freática, además encontró que en áreas con napa freática superficiales y estables *Distichia muscoides* presentaba mayor dominancia y una elevada capacidad de acumulación de turba, por el contrario, en las zonas donde la napa freática se encuentra en niveles más profundos la vegetación suele estar dominada por *Plantago rigida*, *Plantago tubulosa*, *Werneria pygmaea*, *Calamagrostis spicigera* y *Calamagrostis chrysantha* especies adaptadas a suelos más secos. Esto a su vez se ve relacionado estrechamente con los procesos de formación de turba y por ende a la capacidad de almacenamiento de agua de las unidades muestrales evaluadas.

Para este estudio se identificó mayor dominancia de *Distichia muscoides* lo cual coincide con lo reportado por Maldonado Fónken (2014) y Wunderlich et al., (2023) quien determinó que dicha especie hidrófita se establece en zonas con grandes espesores de turba lo que favorece la funcionalidad de los bofedales en su rol dinámico de almacenamiento de agua.

Figura 28

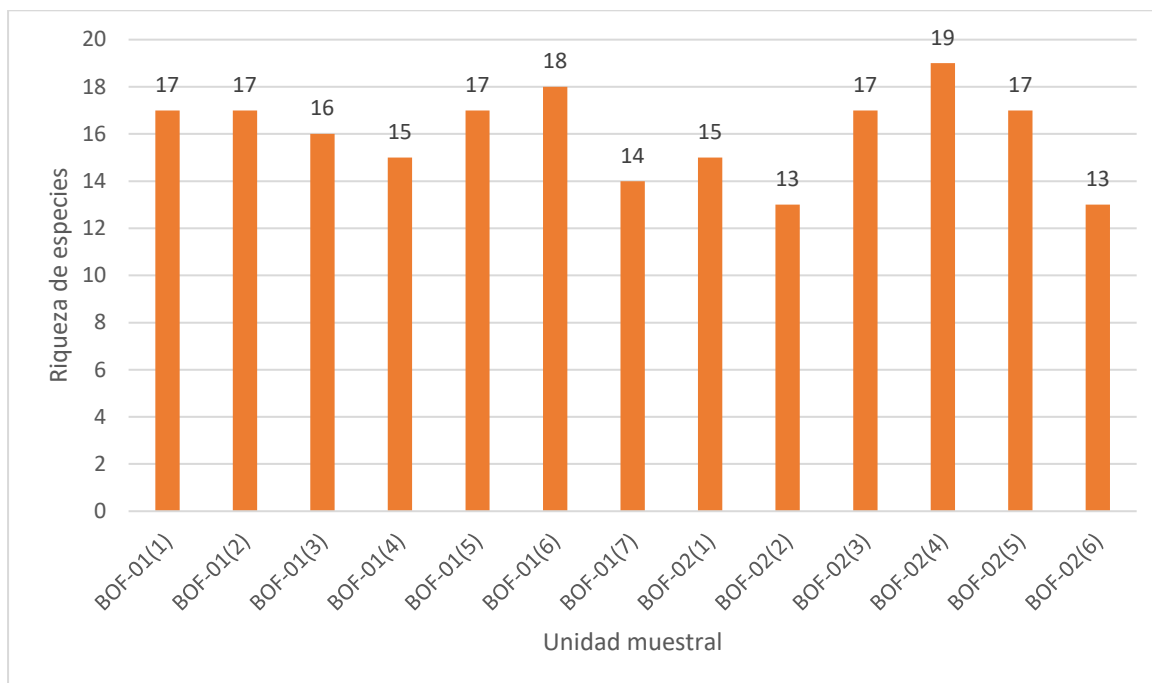
Géneros con mayor número de especies en los bofedales estudiados



Respecto a la riqueza por área de evaluación en las unidades de muestreo, se concluyó que solo una estación alcanzó el mayor valor de 19 especies, mientras que la mayoría de las estaciones muestran un promedio de 17 especies por transecto evaluado. En cuanto a las estaciones del segundo bofedal, dos de ellas presentan la menor riqueza con 13 especies encontradas. Estos valores contrastan con los resultados obtenidos por estudios similares como Medina (2024) o Moscoso y Gonzales (2023), donde cada transecto evaluado muestra un promedio de 9 especies como valor máximo.

Figura 29

Riqueza de especies por unidad muestral en los bofedales evaluados



4.1.4 Resultados de la evaluación del atributo Alteración en el paisaje

Para este atributo se tuvo en cuenta dos indicadores: presencia de factores de degradación y conectividad hidrológica. Ambos se evaluaron de forma cualitativa y mediante observaciones realizadas en campo, teniendo en cuenta lo establecido en las tablas 6 y 7.

Tabla 16

Valoración del atributo Alteración en el paisaje para los bofedales de CC Choqñihuaqui

Punto de muestreo	Indicadores			
	Presencia de factores de degradación		Conectividad hidrológica del bofedal	
	VS	PS	VS	PS
BOF-01 (1)	B	5.30	A	8.00
BOF-01 (2)	B	5.30	B	5.30

BOF-01 (3)	B	5.30	A	8.00
BOF-01 (4)	B	5.30	A	8.00
BOF-01 (5)	B	5.30	A	8.00
BOF-01 (6)	B	5.30	A	8.00
BOF-01 (7)	A	8.00	A	8.00
BOF-02 (1)	B	5.30	A	8.00
BOF-02 (2)	B	5.30	A	8.00
BOF-02 (3)	B	5.30	A	8.00
BOF-02 (4)	B	5.30	B	5.30
BOF-02 (5)	B	5.30	B	5.30
BOF-02 (6)	A	8.00	A	8.00

La evaluación de este atributo se realizó bajo observación directa en campo y en base a lo determinado por la guía de MINAM. La ponderación de los indicadores cualitativos de conectividad hidrológica y presencia de factores de degradación se encuentra, entre las categorías “A” y “B”. Para la conectividad hidrológica se determinó que las unidades muestrales se evaluarían en categoría “A” en caso no se haya detectado ningún problema o alteración visible que afecte a las fuentes que alimentan directamente al bofedal y “B” en caso se haya identificado presencia de carreteras o infraestructura que haya cambiado la permeabilidad de agua hacia el bofedal más no la cantidad de agua que ingresa e incluso si se ha encontrado la presencia de contaminantes u alteraciones en el agua.

A continuación, se presentan las evidencias de la evaluación realizada en campo.

Figura 30

BOF-01 (7) – Ponderación “A”



Figura 31

BOF-02 (3) - Ponderación “A”



Figura 32

BOF-01 (3) – Ponderación “B”



Figura 33

BOF-01 (5) - Ponderación “B”



Como se puede observar en las fotografías 30 y 31 las unidades muestrales BOF-01(7) y BOF-02(3) fueron evaluadas con la ponderación “A” ya que no se observaron alteraciones visibles que puedan impactar la conectividad hidrológica en dichas áreas, sin embargo, las unidades muestrales BOF-01(3) y BOF-01(5) fueron ponderadas con la categoría “B” ya que se identificó infraestructura cercana que pudo cambiar la permeabilidad de los bofedales como lo son: Presencia

de torres de alta tensión y estancias comunales los cuales se pueden observar en las fotografías 32 y 33.

Respecto a la evaluación de los factores de degradación la Guía del MINAM considera los siguientes: Alteraciones hidrológicas dentro del bofedal, ganadería, cosecha de turba y quemas. Producto de nuestra evaluación las unidades muestrales del BOF-01 y BOF-02 se encontraron entre las categorías “A” y “B”. Se consideró la evaluación en categoría “A” en caso se haya identificado uno o ningún factor de degradación en las unidades muestrales evaluadas, y que además estos factores se caractericen en baja abundancia e intensidad.

Se consideró categoría “B” en caso se presenten dos factores de degradación en baja abundancia e intensidad o un factor con baja abundancia y alta intensidad o viceversa.

A continuación, se presentan fotografías de la evaluación cualitativa realizada para determinar las alteraciones del paisaje en los bofedales BOF-01 y BOF-02.

Figura 34

BOF-01 (5) – Ponderación “B”



Figura 35

BOF-01 (5) - Ponderación “B”



Figura 36*BOF-02 (1) – Ponderación “B”***Figura 37***BOF-02 (4) - Ponderación “B”*

Como se puede observar en las fotografías 34, 35, 36 y 37, los factores de alteración del paisaje encontrados durante la evaluación en campo fueron la presencia de ganadería de camélidos sudamericanos en la zona y un canal artificial registrado en la unidad muestral BOF-01 (5).

4.1.5 Cálculo de la condición ecológica de los bofedales estudiados

A continuación, se muestran los resultados ponderados para cada indicador de los cuatro atributos evaluados para los dos bofedales:

Tabla 17

Condición ecológica de los bofedales evaluados BOF-01 y BOF-02

Atributos	Indicadores	Valores de		BOF-01		BOF-02	
		referencia (VR)					
		Valor	Puntaje	Valor	Puntaje	Valor	Puntaje
Condición del agua (39.6%)	Napa freática en época seca (cm)	<5	30.8	51.69	10.30	51.08	10.3

	Conductividad						
	eléctrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	<52	8.8	78.69	8.80	39.10	8.8
Condición del suelo (24.5%)	Profundidad de						
	turba (cm)	>200	9.2	139.64	6.10	151.17	6.1
	Materia orgánica (%)	>75	8.9	41.21	3.00	58.73	5.9
	Densidad						
	aparente (g/cm^3)	<0.2	3.5	0.20	2.30	0.16	3.5
	Signos de						
	erosión	A	2.9	A	2.90	A	2.9
	(cualitativo)						
Condición de la biota (19.9%)	Especies nativas						
	(%)	>80	8.7	96.57	8.70	93.33	8.7
	Riqueza de						
	especies	>10	3.1	16.29	3.10	15.67	3.1
	(especies/área)						
	Cobertura						
	vegetal viva (%)	100	3	87.76	1.00	80.00	1
	Biomasa aérea						
	(kg MS/ha)	>1000	5.1	6549.7 0	5.10	7001.79	5.1

Alteraciones en el paisaje (16.0%)	Presencia de factores de degradación	A	8	B	5.30	B	5.3
	Conectividad hidrológica del bofedal	A	8	A	8.00	A	8
Sumatoria			100	-	64.6	-	68.7
			10	-	6.46	-	6.87
Estado del Ecosistema (Valor ecológico)		Muy bueno			Bueno		Bueno

La condición ecológica para ambos bofedales se encuentra en la categoría “Bueno”, con un valor de 6.46 y 6.87 para BOF-01 y BOF-02 respectivamente. En el Anexo N°3 se considera la tabla de evaluación de cada unidad muestral donde de las 13 unidades evaluadas se identificó que solo la estación BOF-01 (2) se encuentra en la categoría “Pobre” y las estaciones BOF-01(3), BOF-02(4) se encuentran en la categoría “Regular”.

Además, nueve de las unidades muestrales evaluadas se encuentran en la categoría “Bueno” e incluso la estación BOF-01(7) obtuvo la categoría “Muy Bueno”. Los resultados obtenidos concuerdan con las apreciaciones realizadas durante la evaluación en campo, de manera general, ambos bofedales presentan buenas condiciones ya que como se describió anteriormente los cuatro atributos evaluados se encontraron en buenos rangos según la Guía del MINAM. Además no se tuvo mayor incidencia de factores de alteración en ambos bofedales, no se registraron quemadas ni

extracción de turba por lo que los únicos factores detectados fueron ganadería y algunas alteraciones mínimas en la conectividad hidrológica esto debido a la presencia de pastoreo y como parte de las actividades realizadas por los pobladores de la Comunidad.

4.2 Identificación de coberturas de los bofedales de la C.C. de Choqñihuaqui mediante imágenes satelitales y algoritmos de teledetección

El área del bofedal al 2023 fue identificada en 1576.37 ha, lo que representa un 9.73% respecto al total del territorio de la comunidad campesina. El algoritmo alcanzó una precisión global del 96.19%, lo que evidencia un buen desempeño ya que supera el umbral del 85% considerado como referencia para clasificaciones de cobertura vegetal con Sentinel-2 y Random Forest (Puerta et al., 2023).

En la matriz de confusión se observa que la clase Bofedal presenta una sobreestimación del 18.0% y una subestimación del 15.4%, con una precisión del usuario de 82.04% y del productor de 84.59%. Este error se debe principalmente a la confusión con la clase Suelo desnudo, lo que refleja la similitud espectral entre ambas coberturas en ciertas condiciones.

En cuanto a las otras clases, se encontró que Glaciar obtuvo una precisión del usuario de 94.0%, aunque su precisión del productor fue más baja (60.97%), evidenciando una subestimación considerable por confusión con Suelo desnudo. La clase Suelo desnudo presentó los mejores resultados, con una precisión del usuario de 97.89% y del productor de 97.83%, siendo la clase más consistente. Finalmente, la clase Lagunas alcanzó una precisión moderada, con un 82.0% de precisión del usuario y 67.87% del productor, mostrando confusión con áreas clasificadas como Suelo desnudo.

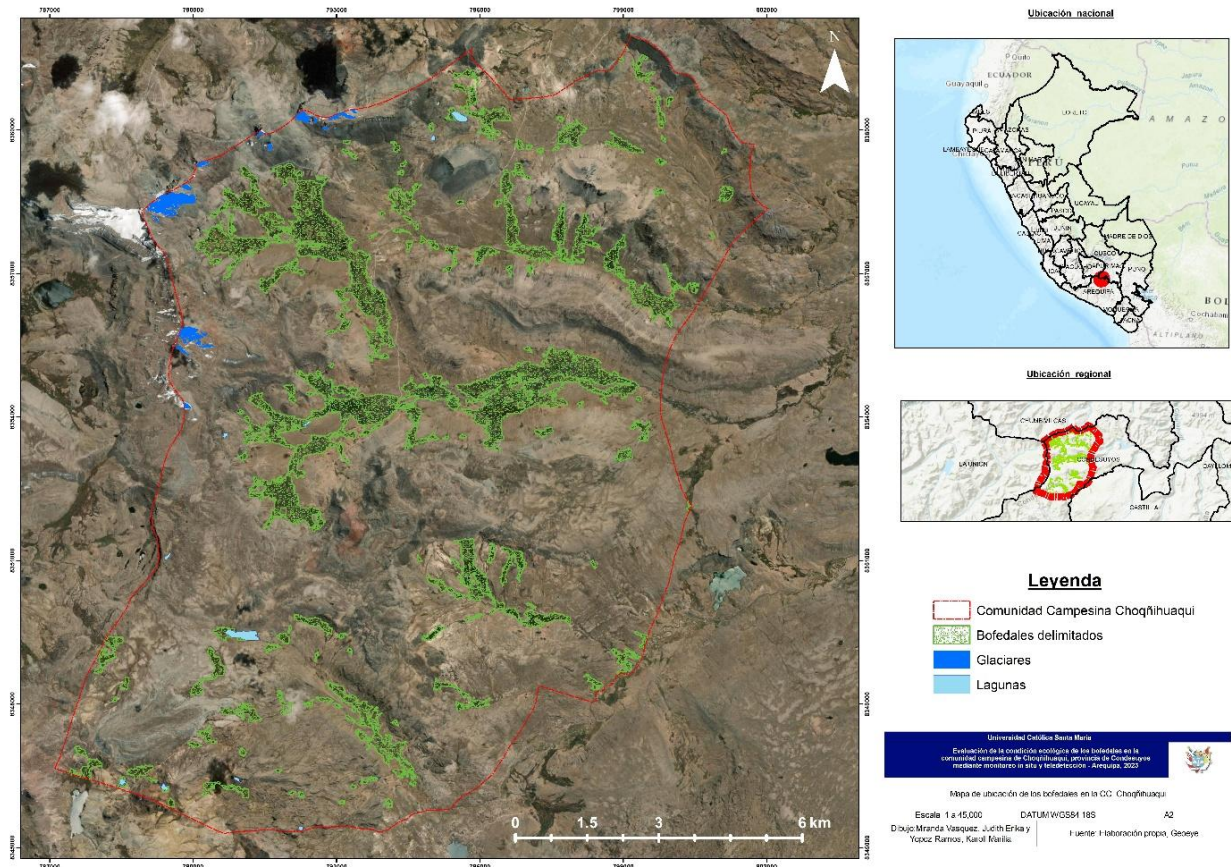
Tabla 18

Matriz de confusión para la identificación de bofedales en la C.C. de Choqñihuaqui

Validador temático	1 (Bofedal)	2 (Glaciar)	3 (Suelo desnudo)	4 (Lagunas)	Total	Precisión del usuario
1 (Bofedal)	137	0	30	0	167	82.04%
2 (Glaciar)	0	47	3	0	50	94.00%
3 (Suelo desnudo)	25	4	1393	1	1423	97.89%
4 (Lagunas)	0	0	9	41	50	82.00%
Total	162	51	1435	42	1690	
Precisión del productor	84.59%	60.97%	97.83%	67.87%		96.19%

Figura 38

Delimitación de las áreas que ocupan los bofedales de la C.C. de Choqñihuaqui



4.3 Relación del estado de conservación de los bofedales de la C.C. de Choqñihuaqui mediante un índice ponderado de teledetección y la evaluación *in situ*

Aplicando la matriz de análisis jerárquico (AHP), se determinó que la erosión constituye el factor más relevante en la degradación del bofedal, con un peso del 63%. Le sigue la pérdida de vigor de la vegetación, reflejada en valores bajos de NDVI, con un 22%, mientras que la humedad del suelo aporta un 15%. Si bien se le asignó mayor peso a la erosión ello no implica que sea el único factor determinante del estado de conservación del bofedal. De acuerdo con el método AHP, dicha ponderación refleja la importancia relativa asignada durante las comparaciones pareadas entre los indicadores. En este estudio, la erosión recibió la mayor ponderación ya que representa un proceso de degradación estructural que altera de manera acumulativa el suelo y la turba, modifica el régimen hidrológico y repercute directamente sobre la humedad del suelo y el vigor de la vegetación. Esta relación está documentada en diversos artículos de revisión sobre degradación de turberas y humedales de montaña (Li et al., 2018). Así también Yager et al. (2021) proponen un marco conceptual para comprender las relaciones socioecológicas e hidrológicas que sustentan los bofedales altoandinos. Este marco reconoce como componentes principales del paisaje al glaciar, el lago de alta montaña, el bofedal, el acuífero, la materia orgánica, los ojos de agua, los manantiales y los canales de riego. Asimismo, los autores muestran que las alteraciones en estos componentes y en las prácticas de manejo pueden ocasionar pérdida de cobertura vegetal, degradación del suelo y procesos erosivos, afectando la capacidad de regulación hídrica, la biodiversidad y la resiliencia del bofedal. Por lo que la erosión resulta un factor importante respecto a la capacidad de un bofedal para retener agua, así como dentro del ciclo hidrológico. A nivel cuantitativo, según el estudio realizado en la cuenca de Trout Beck Inglaterra, se demostró que el aumento de la erosión de la turba incrementó significativamente e incluso en 13.5 veces más en escenarios en los que la cobertura vegetal fue eliminada, lo que determina su relación directa. (Li

et al., 2016a). Además, medir y analizar el contenido de agua o humedad del suelo de los bofedales permite comprender su comportamiento (estacional o permanente) y su estado de conservación. (Moncada et al., 2025) ello se encuentra relacionado con la profundidad del nivel freático en los bofedales y en consecuencia el control de la erosión del suelo. (Maldonado, 2014).

La humedad del suelo y el vigor de la vegetación son variables que pueden presentar una mayor variabilidad temporal debido a la estacionalidad y a las fluctuaciones del régimen hidrológico. (Price et al., 2016; Bu et al., 2011), mientras que la erosión refleja procesos de degradación física acumulativos y de más lenta reversión (Evans & Warburton, 2010). En consecuencia, un mayor peso asignado a la humedad del suelo y el vigor de la vegetación incrementaría la influencia de las variaciones temporales sobre el índice, mientras que una mayor ponderación de la erosión resalta cambios estructurales de largo plazo en el estado de conservación del bofedal.

En ese sentido, la ponderación de los criterios se realizó mediante el Proceso Analítico Jerárquico —AHP— propuesto por Saaty. La coherencia de los juicios establecidos en la matriz de comparación por pares fue evaluada mediante la razón de consistencia, obteniéndose un valor de 0.0817. Este resultado es inferior al umbral máximo aceptable de 0.10, lo que indica que las preferencias asignadas entre los criterios presentan un nivel adecuado de consistencia y que los pesos obtenidos pueden ser utilizados en la integración de las variables seleccionadas.

Así también la razón de consistencia permite identificar posibles contradicciones en las comparaciones realizadas, por lo que un cambio en los descriptores (erosión, pérdida del vigor de la vegetación y humedad del suelo) requiere (1) la reevaluación del sistema propuesto por Yager et al (2021) y (2) la reevaluación de los pesos.

Tabla 19*Índices de consistencia del método AHP*

Parámetro	Valor
Ci	0.05392367
Rci	0.66
CR	0.0817

Determinados los pesos para la evaluación jerárquica se evaluó el estado de conservación de los bofedales en la comunidad campesina de Choqñihuaqui. Encontrándose que esta cobertura presenta una variación que va desde muy buena hasta moderada conservación. Predominan los bofedales muy bien conservados, con una extensión de 1547.12 ha, seguidos por aquellos en buena conservación, que abarcan 23.46 ha. Finalmente, los bofedales con un nivel de conservación media alcanzan apenas 0.02 ha.

Tabla 20*Pesos de los criterios de degradación del bofedal obtenidos mediante método AHP*

Tipo	Degradación del bofedal	Pesos
C1	Humedad del suelo	0.15
C2	Degradación de la vegetación	0.22
C3	Erosión	0.63
Total de pesos		1.00

Tabla 21

Propuesta de clasificación del estado de conservación de los bofedales

Estado de conservación	Descripción
Muy Bueno	Bofedales con alta cobertura vegetal, suelos húmedos y mínima susceptibilidad a erosión, manteniendo óptimas funciones ecológicas.
Bueno	Bofedales con buena cobertura vegetal y humedad intermedia, con baja a moderada susceptibilidad a erosión y estabilidad general.
Medio	Bofedales con cobertura vegetal fragmentada, menor humedad y riesgo creciente de erosión, mostrando signos de vulnerabilidad.
Malo	Bofedales degradados con escasa vegetación, déficit hídrico y alta susceptibilidad a erosión, en estado crítico de conservación.

4.3.1 Validación estadística del índice ponderado

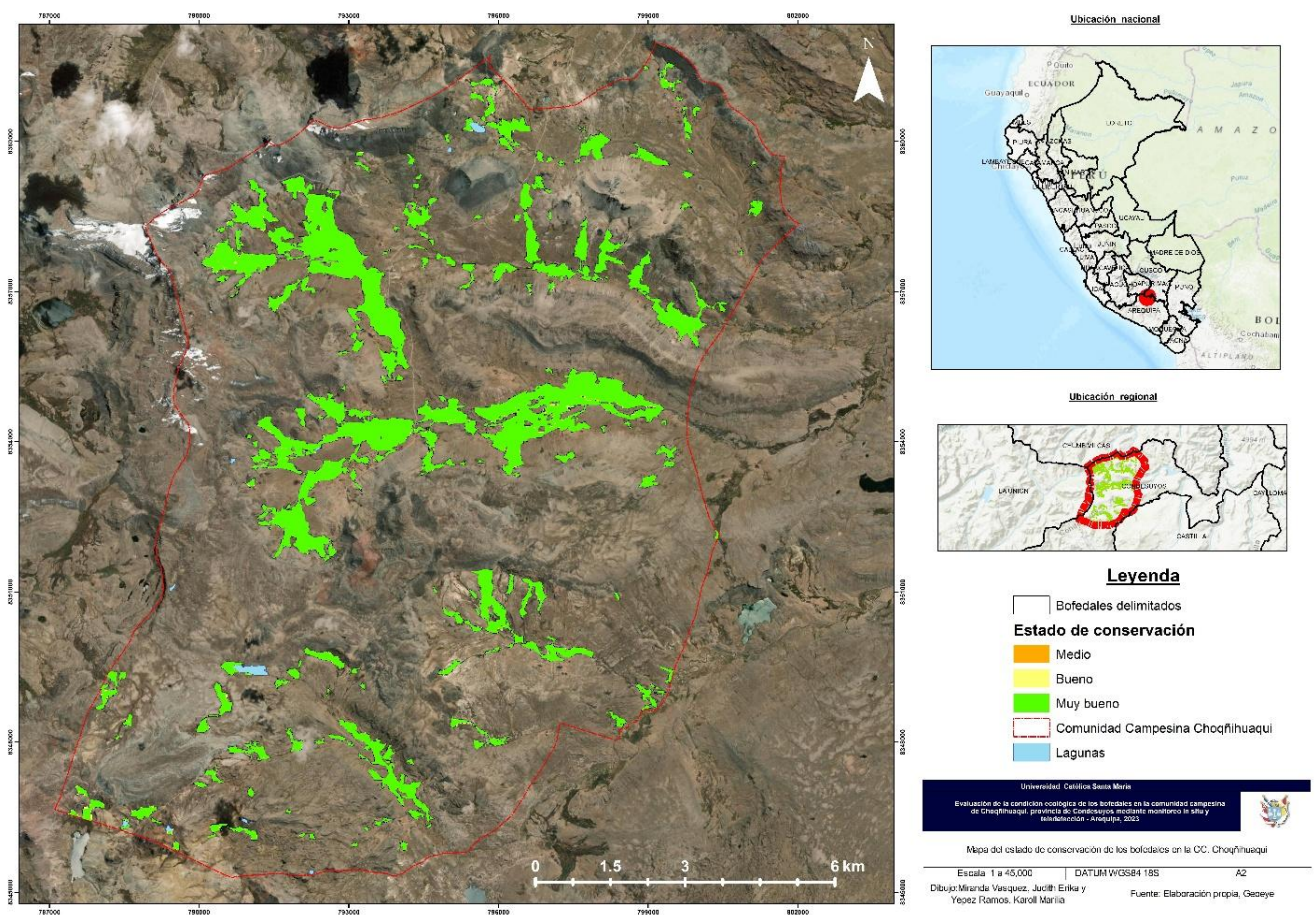
La comparación entre los indicadores modelados y la información obtenida en campo evidenció una correspondencia moderada, respaldada por un coeficiente de determinación de $R^2 = 0.58$, lo que indica que el 58% de la variabilidad observada en los datos de campo es explicada por el modelo. No obstante, se identificó un punto con comportamiento atípico (outlier) que ejercía una influencia desproporcionada sobre el ajuste del modelo de regresión. Se aplicó el criterio de distancia de Cook (Cook, 1977), ampliamente utilizado para la detección de observaciones

influyentes en modelos de regresión, el cual confirmó que dicho punto superaba el umbral de influencia aceptable ($D > 4/n$). En el presente estudio, el outlier fue el punto de monitoreo con coordenadas UTM (WGS84, Zona 18S) Este 791 984 m, Norte 8 352 785 m. La inspección de la imagen satelital en dichas coordenadas sugiere como explicación más probable la presencia del efecto sal y pimienta. Este fenómeno es frecuente en el análisis de imágenes satelitales de alta resolución espacial que se manifiesta como la aparición aleatoria de píxeles aislados con valores espectrales inconsistentes respecto a su entorno inmediato. Este efecto puede originarse por múltiples factores, entre ellos el malfuncionamiento de sensores, errores en la transmisión y almacenamiento de datos o la alta heterogeneidad espectral local, que no son abordados por las correcciones atmosféricas o radiométricas estándar aplicadas durante el preprocesamiento, constituyendo por tanto una limitación inherente a las clasificaciones basadas en píxeles (Cai et al., 2025). Estos píxeles atípicos introducen valores que no representan la condición real de la cobertura superficial, distorsionando los índices espectrales calculados. En consecuencia, siguiendo las recomendaciones de Tabachnick y Fidell (2019) respecto al tratamiento de outliers en análisis de regresión, el punto mencionado fue excluido reduciendo el número de puntos de monitoreo válidos a 12 muestras distribuidas en el área del bofedal. Es así como se obtuvo un incremento del coeficiente de determinación de $R^2 = 0.58$ a $R^2 = 0.93$, lo que evidencia una alta concordancia entre ambos métodos de evaluación. Cabe precisar que el valor inicial de $R^2 = 0.58$ obtenido previo a la exclusión del valor atípico no representa un resultado deficiente en términos absolutos. Räsänen et al. (2022), en un estudio de monitoreo de turberas con imágenes Sentinel-2 procesadas en Google Earth Engine mediante Random Forest, reportaron un R^2 promedio de 0.424 para modelos basados exclusivamente en datos ópticos, con una variación entre sitios que osciló entre -0.033 y 0.888. En ese contexto, el valor obtenido en el presente estudio supera el promedio

reportado en la literatura comparable para ecosistemas de turbera. Por tanto, los resultados obtenidos mediante teledetección se pueden tomar como una base confiable para la identificación espacial del estado de conservación de los bofedales y, por consiguiente, para el diseño de estrategias de conservación (Tough et al., 2025; Shen et al., 2025).

Figura 39

Mapa de la clasificación de los bofedales correspondiente a la C.C. de Choqñihuaqui



Los métodos tradicionales de diagnóstico de degradación de humedales presentan limitaciones significativas que dificultan su aplicación práctica y escalabilidad. Huang et al. (2022) señalan que los enfoques existentes, basados en elementos medidos como erosión costera, sequías y marejadas, métricas de paisaje y matrices de transferencia, resultan excesivamente complicados y operan

principalmente a pequeña escala. Estos métodos consideran múltiples dimensiones simultáneamente: vegetación, fauna, calidad del agua, suelo, funciones de soporte, regulación y aspectos culturales, incluyendo indicadores de presión como población, economía, contaminación y actividades pesqueras, lo que genera dificultades operativas importantes para su implementación a escala regional. En ese sentido, para la evaluación de bofedales con una extensión igual o mayor a 5 ha, la Guía del MINAM sugiere evaluar entre 4 a 5 unidades muestrales, y en el caso de los dos bofedales evaluados in situ, se cumple con dicho estándar. Asimismo, los puntos de monitoreo fueron seleccionados considerando diferentes tipos de cobertura vegetal y gradientes de humedad con el objetivo de garantizar representatividad en los resultados. Si bien, a mayor cantidad de puntos se mejora la representatividad, esto conlleva mayor cantidad de recursos a invertir.

En ese contexto, la presente investigación empleó el sensor Sentinel-2A, cuya resolución espacial de 10 m permite una caracterización a nivel de comunidad vegetal con una unidad mínima cartografiable confiable de aproximadamente 0.5 ha. Esto posibilita evaluar aspectos clave establecidos en la Guía de Evaluación del Estado del Ecosistema de Bofedal del MINAM (2020), tales como vigor vegetal, erosión y humedad del suelo. No obstante, el sensor pierde capacidad de discriminación espectral a escalas de mayor detalle que 1:25,000, por lo que los alcances del estudio permiten estimar zonas degradadas a nivel de subcuenca, para una posterior focalización en microcuencas específicas.

Una limitación principal también radica en la accesibilidad de datos. Aunque el agua es reconocida como factor clave en el crecimiento y desarrollo de humedales, y los cambios hidrológicos deberían incorporarse en cualquier diagnóstico, la obtención de información completa y confiable resulta compleja, reduciendo la viabilidad práctica de estas metodologías.

A diferencia de estudios previos que usaron teledetección solo para identificar o cuantificar la cobertura de bofedales (García & Peralta, 2021), esta investigación plantea el uso de un índice ponderado que evalúa el estado de conservación de bofedales al integrar tres variables: pérdida de la vigorosidad de la vegetación, erosión y humedad. Finalmente, los resultados fueron validados estadísticamente contrastándolos con los resultados del monitoreo in situ realizado en base a la Guía del MINAM (2019). Esto representa un aporte metodológico para futuras investigaciones o proyectos que cuenten con limitados recursos. Además, la metodología propuesta puede replicarse en otras comunidades campesinas con bofedales, ofreciendo una alternativa escalable y menos costosa que el monitoreo exclusivamente in situ.

4.4 Estrategias para la conservación de los bofedales de la C.C. de Choqñihuaqui

El estado general de los bofedales evaluados en la C.C. de Choqñihuaqui nos indica que nos encontramos frente a ecosistemas saludables, no obstante, requieren de medidas enfocadas a su conservación de manera que pueda minimizarse cualquier presión antrópica y reforzar aquellas prácticas positivas.

Producto de la evaluación realizada en campo se determinó que las principales presiones se derivan de la presencia de alteraciones hidrológicas, condiciones del agua (profundidad de la napa freática), erosión y en menor medida la ganadería de camélidos sudamericanos.

Por lo tanto las estrategias propuestas apuntan al manejo de las presiones identificadas, además incluyen la integración comunitaria como medida de gestión en la conservación de estos ecosistemas.

- **Objetivo :** Proponer estrategias específicas para la conservación de los bofedales de la comunidad campesina de Choqñihuaqui, orientadas a promover un manejo comunitario del ecosistema

Línea estratégica 1. Gestión del recurso hídrico

ESTRATEGIA	ACTIVIDAD	APLICACIÓN	INDICADOR	BENEFICIO	RESPONSABLE
Mantenimiento de canales e implementación de redes hídricas (Aduvire & Aduvire, 2021)	Derivación de canales de agua hacia las zonas de interés (Profundidad de napa freática > 60 cm)	Aseguramiento de abastecimiento del recurso hídrico y zonas de empozamiento.	Cantidad de canales construidos por Hectárea de bofedal	Favorece el abastecimiento de agua y zonas de empozamiento. Regula el flujo de agua en los bofedales y evita la desecación - Favorece la recuperación de niveles óptimos de la napa freática. - Incrementa la productividad y mejora las condiciones de la vegetación	Comunidad campesina de Choqñihuaqui y propietarios de las zonas observadas
Implementación de diques (Suarez et al., 2022)	Construcción de pequeños diques o zanjales de bloqueo para generar zonas de empozamiento de agua.		Cantidad de diques construidos por Hectárea de bofedal		

Línea estratégica 2. Control y mitigación de erosión

ESTRATEGIA	ACTIVIDAD	APLICACIÓN	INDICADOR	BENEFICIO	RESPONSABLE
Estabilización de áreas erosionadas (MMA-ONU Medio Ambiente, 2025)	Uso de “champas” y construcción de diques y/o canales.	Implementación de medidas de estabilización de suelos y control de la erosión mediante revegetación y propagación de especies.	Cantidad de diques construidos por Hectárea de bofedal	-Mitigación de la erosión en el bofedal. - Se optimiza el proceso de infiltración de agua en el bofedal - Recuperación de productividad en las áreas degradadas.	Comunidad campesina de Choqñihuaqui y propietarios de las zonas observadas.
Revegetación y propagación de especies nativas de bofedal. Ej.	Trasplante, evaluación de germinación,		Número de Hectáreas revegetadas en		

“Distichia muscoides” (Bazan, 2017)	crecimiento y adaptabilidad	el bofedal por año.
--	-----------------------------	---------------------

Línea estratégica 3. Manejo sostenible de la ganadería

ESTRATEGIA	ACTIVIDAD	APLICACIÓN	INDICADOR	BENEFICIO	RESPONSABLE
Pastoreo rotativo (Olazábal y Mamani, 2024)	Subdividir parcelas y promover el pastoreo selectivo a fin de distribuir la carga de ganado en el bofedal	Gestión adaptativa y sostenible de áreas del bofedal.	Número de cercos construidos por Hectárea de bofedal.	-Recupera áreas con pasturas degradadas. - Conservación de pastos y vegetación en el bofedal. - Favorece las actividades de pastoreo rotativo.	Comunidad campesina de Choqñihuaqui
Implementación de cercos para manejo de bofedales. (Salinas, Rivera, Condori, 2021)	Instalación de postes y mallas metálicas para cercar las áreas de interés del bofedal	Prevención de procesos de sobrecarga de ganado en el bofedal.			

Línea estratégica 4. Manejo comunitario de los bofedales

ESTRATEGIA	ACTIVIDAD	APLICACIÓN	INDICADOR	BENEFICIO	RESPONSABLE
Fomentar prácticas de conservación de bofedales para la comunidad. (Sangha et al., 2025)	Programa de sensibilización y fortalecimiento de capacidades orientado a la implementación de un sistema de monitoreo comunitario de	Fortalecimiento de capacidades bajo el enfoque participativo en el registro periódico de datos de campo y variables hidrológicas mediante la	- Porcentaje de participantes convocados que completan y aprueban la evaluación de conocimientos. - Número de monitoreos comunitarios	-Reconocimiento del valor ecosistémico de los bofedales en la comunidad. Manejo sostenible de los bofedales. Empoderamiento de la comunidad	Comunidad campesina de Choqñihuaqui y Municipalidad distrital de Cayarani.

bofedales, mediante la capacitación de los actores locales en técnicas básicas de monitoreo ambiental, registro de datos de campo y fichas de monitoreo	aplicación de fichas de monitoreo.	de realizados por campesina. los participantes capacitados. -Porcentaje de fichas de monitoreo correctamente completadas por los actores locales de la comunidad
---	------------------------------------	--

Fortalecer a las organizaciones comunales y mejorar la gobernanza. (Al & Islam, 2022)	Creación del “Comité de Manejo y Conservación de Bofedales”	Comité de Manejo y Conservación de Bofedales conformado y formalizado mediante acta comunal.
---	---	--



5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

PRIMERO: Se realizó la evaluación *in situ* empleando la Guía aprobada por el MINAM para dos bofedales de la C.C. de Choqñihuaqui. El primer bofedal, de codificación BOF-01, obtuvo un valor relativo promedio de 64.6, que indica un estado “Bueno”. Para ello, se trabajó con 07 puntos de muestreo, los cuales fueron evaluados individualmente y se obtuvieron resultados desde “Muy bueno” hasta “Pobre”, tal es el caso puntual de BOF-01(2). Para el segundo bofedal, con codificación BOF-02, se obtuvo un valor relativo promedio de 68.7, que indica un estado “Bueno”. El total de puntos muestreados fueron 06, los cuales obtuvieron calificaciones desde “Bueno” hasta “Regular”, siendo este último el punto BOF-02(4). En ambos bofedales se encontraron especies como: *Distichia muscoides*, *Rockhausenia pygmaea*, *Alchemilla diplophylla*, *Lobelia oligophylla* o *Plantago tubulosa*. Asimismo, la profundidad de turba va desde los 67 cm hasta 200 cm, mientras que, el valor promedio de materia orgánica es de 49 % y se ha registrado una densidad aparente mayoritariamente menor a 0.2 g/cm³. No obstante, se observaron puntos con una densidad más alta, lo que podría estar relacionado con la ganadería de camélidos. Otras presiones antrópicas observada en campo fueron la presencia de canales artificiales, torres de alta tensión, estancias comunales, entre otros.

SEGUNDO: La identificación de las coberturas de los bofedales se realizó empleando imágenes satelitales (Sentinel-1 y Sentinel-2) junto con la aplicación del algoritmo Random Forest. Ello permitió una delimitación sólida de manera que se obtuvo una extensión total de 1576.37 ha para el año 2023. Asimismo, la clasificación temática realizada alcanzó una precisión del 96.19%, gracias al uso complementario de índices de vegetación tales como NDVI o NDWI y polígonos de entrenamiento. En cuanto a la clase de Bofedal, la precisión del usuario consiguió un 82.04%,

mientras que la del productor fue de 84.59%, evidenciando así una correcta identificación respaldada por la metodología empleada.

TERCERO: Se logró evaluar el estado de conservación de los bofedales pertenecientes a la C.C. de Choñihuaqui para lo cual se empleó el análisis jerárquico AHP. Los pesos asignados a cada indicador mostraron una relación de consistencia de 0.0817, lo cual confirmó la consistencia del modelo. Bajo este esquema ponderado, se obtuvo que los bofedales estudiados presentan mayoritariamente un estado de conservación “Muy bueno” (1547.12 ha), mientras que las áreas en conservación “Bueno” y “Medio” representan 23.46 ha y 0.02 ha respectivamente. La comparación entre los indicadores modelados y la información obtenida en campo mostró una correspondencia inicial del 58 %, no obstante, al retirar el valor atípico identificado se obtuvo una correspondencia del 93%.

CUARTO: Las estrategias propuestas para la conservación de los bofedales de la C.C. de Choñihuaqui se elaboraron, principalmente, a partir de lo observado en campo durante el muestreo *in situ* y se enmarcó en el resultado del análisis satelital. Estas propuestas están orientadas a mermar las presiones identificadas sobre los bofedales y evitar su degradación mediante la gestión del recurso hídrico, control y mitigación de erosión, manejo de ganadería y la participación comunitaria. Dichas acciones requieren la involucración de diferentes actores, tales como las autoridades municipales como las entidades ambientales y académicas competentes, de manera que se garantice la efectividad de las propuestas.

5.2 Recomendaciones

- Se recomienda en futuros estudios realizar la evaluación en temporada seca y húmeda para poder contrastar los resultados, así como tener en cuenta mayor cantidad de puntos de muestreo por bofedal con el objetivo de obtener resultados más fehacientes.
- Se recomienda ampliar períodos de tiempo más extensos para reconocer, mediante teledetección, tendencias de cambio.
- El presente estudio y las propuestas de estrategias sirven de base para ser aplicadas por las autoridades de la Municipalidad Provincial de Condesuyos, Municipalidad Distrital de Cayarani y la C.C. de Choqñihuaqui.
- Evaluar periódicamente la condición ecológica de los bofedales, así como, la efectividad de las estrategias propuestas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aduvire, O. & Aduvire, H. (2021). Diagnóstico y rehabilitación de bofedales afectados por pasivos ambientales mineros. *Revista de Medio Ambiente y Minería*, 6(1), 17-25.
- Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional – USAID (2022). CUBHIC 2.0 Documento Metodológico Humedales. [Revista de Infraestructura Natural para la seguridad Hídrica.]
- Al, K. E., & Islam, M. H. (2022). Institutionalizing the Community-Based Management Approach for Natural Wetlands Toward the Exploring Policy Gaps. *Egyptian Journal of Aquatic Biology and Fisheries*, 26(6), 439-465. <https://doi.org/10.21608/ejabf.2022.273373>
- Alberto Castillo, M. E. & Joseli Matos, C. L. (2019). *Evaluación del estado ambiental del bofedal altoandino “Yanacancha” comunidad campesina de Miraflores-Yaayos 2019*. [Tesis de licenciatura, Universidad Cesar Vallejo]. Repositorio académico UCV.
- Alpaca Terán, W. J. (2021). *Plan de restauración y manejo de bofedales para la comunidad de Quetena Grande Municipio Sud Lipez - Departamento Potosí*. [Tesis de licenciatura, Universidad Mayor de San Simón]. Repositorio digital UMSS.
- Alvino Daga, S. B. & Nolasco Osorio, G. N. (2023). *Evaluación de la presencia de la rana gigante (Telmatobius macrostomus) en la zona de Ninacaca-lago Chinchaycocha, frente a los impactos ambientales generados por la actividad antropogénica*. [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión]. Repositorio institucional UNDAC.

- Amani, M., Mahdavi, S., Afshar, M., Brisco, B., Huang, W., Mohammad Javad Mirzadeh, S., White, L., Banks, S., Montgomery, J., & Hopkinson, C. (2019). Canadian wetland inventory using Google Earth Engine: The first map and preliminary results. *Remote Sensing*, 11(7), 842
- Anderson, E. P., Marengo, J., Villalba, R., Halloy, S., Young, B., Cordero, D., Gast, F., Ena, J. & Ruiz, D. (2011). Consequences of climate change for ecosystems and ecosystem services in the tropical Andes. *Climate change and biodiversity in the tropical Andes*, 1, 1-18.
- Anguiosa Arrambide, E. & Martinez Peñalva, M. (2022). *Factor antrópico y conservación de ecosistemas altoandinos de puna en el sector de Yanacocha del Distrito de Tambobamba*. [Tesis de licenciatura, Universidad Cesar Vallejo]. Repositorio académico UCV.
- Argote Quispe, G. S. (2018). Implicaciones ecológicas y económicas del uso de bofedales altoandinos para el pastoreo. [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional Agraria la Molina]. Repositorio Institucional UNALM
- Ashok, A., Rani, H. P. & Jayakumar, K. V. (2021). Monitoring of dynamic wetland changes using NDVI and NDWI based landsat imagery. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 23, 100547. <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2021.100547>
- Baldoceda, Á., Maldonado, M. & Alcántara, F. (2021). Análisis del porcentaje de humedad, materia orgánica y porosidad del suelo de dos tipos de bofedales. *Ciencia & Desarrollo*, 20(2), 17-28. <http://10.33326/26176033.2021.2.1204>
- Buytaert, W. & De Bievre, B. (2012). Water for cities: The impact of climate change and demographic growth in the tropical Andes. *Water Resources Research*, 48(8), 1–13. <https://doi.org/10.1029/2011WR011755>

Bazán Reyes Ana, 2017. Propuestas Para La Recuperación De Áreas Y Vegetación De Bofedales Degradados, Y Alternativas De Manejo Ganadero En La Cabecera De La Microcuenca San Luis - San Nicolás, Ancash

Breiman, L. (2001). Random Forests. *Machine Learning*, 45, 5-32.
<http://dx.doi.org/10.1023/A:1010933404324>

Breiman, A., Zarei, A. A., Dehbandi, R., Khaksefidi, R., Shahsavani, E., Rahimi, S., Elshall, A.S. & Azhdarpoor, A. (2022). Comprehensive assessment of water quality and associated health risks in an arid region in south Iran. *Regulatory toxicology and pharmacology*, 135, 105264.
<https://doi.org/10.1016/j.yrtph.2022.105264>

Bu, Z., Hans, J., Li, H., Zhao, G., Zheng, X., Ma, J., & Zeng, J. (2011). The response of peatlands to climate warming: A review. *Acta Ecologica Sinica*, 31(3), 157-162.
<https://doi.org/10.1016/j.chnaes.2011.03.006>.

Cai, R. T., Chen, G. X., Li, J., Du, R. S., Lu, H. Y., Qi, Y. L., & Chen, J. X. (2025). A denoising method for salt and pepper noise in remote sensing based on Swin-Transformer convolution U-Net and filtering—FSCU-Net. *Earth and Space Science*, 12, e2025EA004225. <https://doi.org/10.1029/2025EA004225>

Calleja, et al. (2021). *Cálculo de Índices de Vegetación NDVI y SAVI a Partir de Imágenes Multiespectrales Obtenidas con un Dron*. [Congreso Internacional de Investigación, Morelia]

Capacho Navia, D.I. (2016). *La vegetación de los humedales altoandinos del Sector Presidente, páramo Almorzadero (Norte de Santander, Colombia)*. [Tesis doctoral, Universidad de Alicante]. Repositorio institucional UA.

- Carrasco Baquero, J. C., Caballero Serrano, V. L., Romero Cañizares, F., Carrasco López, D. C., León Gualán, D. A., Vieira Lanero, R. & Cobo-Gradín, F. (2023). Water Quality Determination Using Soil and Vegetation Communities in the Wetlands of the Andes of Ecuador. *Land*, 12(8), 1586. <http://dx.doi.org/10.3390/land12081586>
- Cassin, J. & Ochoa-Tocachi, B. F. (2021). Learning from indigenous and local knowledge: The deep history of nature-based solutions. *Nature-Based Solutions and Water Security*, 283-335. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819871-1.00012-9>
- Castro Illesca, J. P. (2021). Variación de cobertura vegetal de los bofedales en los centros poblados de Tinyaclla y Pueblo Libre en los años 2016-2018 - Huancavelica. [Tesis de maestría, Universidad Nacional de Huancavelica]. Repositorio UNH.
- Chamorro, A., Salcedo D., Flores M. & Gonnet J. (2021). Manual de buenas prácticas en manejo y restauración de bofedales en Junín, Perú. https://lac.wetlands.org/wp-content/uploads/sites/2/dlm_uploads/2021/07/Manual-ECOAN.pdf
- Chávez, R. O., Meseguer-Ruiz, O., Olea, M., Calderón-Seguel, M., Yager, K., Meneses, R. I., Lastra J. A., Núñez-Hidalgo, I., Sarricolea P., Serrano-Notivoli, R. & Prieto, M. (2023). Andean peatlands at risk? Spatiotemporal patterns of extreme NDVI anomalies, water extraction and drought severity in a large-scale mining area of Atacama, northern Chile. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 116, 103138.
- Chimner, R. A., Bourgeau-Chavez, L., Grelik, S., Hribljan, J. A., Planas, A. M., Polk, M. H., Lilleskov, E.A., & Fuentealba, B. (2019). Mapping mountain peatlands and wet meadows

using multi-date, multi-sensor remote sensing in the Cordillera Blanca, Peru. *Wetlands*, 39(5), 1057-1067.

Cochran, W. G. (1977). *Sampling techniques* (3rd ed.). New York: John Wiley & Sons.

Compañía Minera Ares. (2021). Censo a las Comunidades de Área de Influencia Directa.

Congalton, R. G., & Green, K. (2019). *Assessing the accuracy of remotely sensed data: Principles and practices* (3.^a ed.). CRC Press / Taylor & Francis. <https://doi.org/10.1201/9780429052729>

Constitución Política de Perú [Const]. Art. 2 y 66. 29 de diciembre de 1993 (Perú).

Cook, R. D. (1977). Detection of Influential Observation in Linear Regression. *Technometrics*, 19(1), 15–18. <https://doi.org/10.1080/00401706.1977.10489493>

Cuello Salinas, M. J. y Galvi Rueda, M. (2020). Diversidad y composición de plantas vasculares en humedales del páramo Rabanal, Boyacá-Colombia. *Revista De Investigación Agraria Y Ambiental*, 11(2), 131-146. <https://doi.org/10.22490/21456453.3425>

D.S. N° 005-2013-PCM. Crean Comisión Multisectorial de Naturaleza Permanente denominada “Comité Nacional de Humedales”. <https://busquedas.elperuano.pe/dispositivo/NL/886510-2>

D.S. N° 006-2021-MINAM. Decreto Supremo que Aprueba las Disposiciones generales para la gestión multisectorial y descentralizada de los humedales (2021). <https://www.gob.pe/institucion/minam/normas-legales/1896029-006-2021-minam>

D.S. N° 009-2013-MINAGRI. Decreto Supremo QUE aprueba la Política Nacional Forestal y de Fauna Silvestre. <https://www.midagri.gob.pe/portal/decreto-supremo/ds-2013/9438-decreto-supremo-n-009-2013-minagri>

D.S. N° 012-2009-MINAM. Decreto Supremo que Aprueba la Política Nacional del Ambiente.

<https://www.minam.gob.pe/disposiciones/decreto-supremo-n-012-2009-minam/>

De la Fuente, A., Meruane, C., & Suárez, F. (2021). Long-term spatiotemporal variability in high Andean wetlands in northern Chile. *Science of The Total Environment*, 756, 143830.

<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.143830>

Dong, Z., Wang, Z., Liu, D., Song, K., Li, L., Jia, M., & Ding, Z. (2014). Mapping wetland areas using Landsat-derived NDVI and LSWI: A case study of West Songnen plain, Northeast China. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 42(3), 569-576.

Drusch, M., et al. (2012). Sentinel-2: ESA's optical high-resolution mission for GMES operational services. *Remote Sensing of Environment*, 120, 25–36.

European Environment Agency. (2016). *RUSLE soil erosion model structure*. Disponible en: <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/figures>

Evans, M. G., & Warburton, J. (2010). Peatland Geomorphology and Carbon Cycling. *Geography Compass*, 4(10), 1513-1531. <https://doi.org/10.1111/j.1749-8198.2010.00378.x>

Fennessy, M. S., Jacobs, A. D., y Kentula, M. E. (2007). An evaluation of rapid methods for assessing the ecological condition of wetlands. *Wetlands*, 27(3), 543-560.

Galarza Barzola, P. V. y Jorge Chachi, J. B. (2020). *Evaluación del estado de conservación del bofedal sector Moya en el Santuario Histórico de Chacamarca, Junín*. [Tesis de licenciatura, Universidad Católica Sedes Sapientiae]. Repositorio Institucional Digital UCSS.

- García Celadita, I. M. y Peralta Landa, C. C. (2021). *Estado de conservación del agua y de la vegetación de bofedal en la subcuenca del Valle de Santa Eulalia-Cuenca Rímac Huarochirí, Lima*. [Tesis de licenciatura, Universidad Peruana Unión]. UPEU-Tesis.
- García, J., Guerreiro, J., Willems, B. y Espinoza R. (2021). Propuesta de un Índice de Bofedal para la teledetección de bofedales cabeceras de cuenca usando imágenes de los Sensores TM, OLI a bordo de los satélites Landsat - Caso estudio: Bofedal Chunal, cuenca alta del río Chillón. *Revista de Investigación de Física*, 24(2). <https://doi.org/10.15381/rif.v24i2.20385>
- Google (2025). *Google Earth Engine*. Disponible en: <https://earthengine.google.com>
- Gonzales García, C. M. y Moscoso Arpasi, A. G. (2023). Diseño de tareas y acciones para el proceso de conservación y planificación de la restauración ecológica de los bofedales del centro poblado rural Chalhuanca - Yanque, Arequipa 2021 – 2022. [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional de San Agustín]. Repositorio UNSA.
- Gonzales Huaman, L. Y. (2018). Evaluación de la condición ecológica de tres bofedales en la comunidad campesina cordillera blanca, distrito y provincia de Recuay, Ancash - 2017. [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo]. Repositorio Institucional UNASAM.
- Gorelick, N., Hancher, M., Dixon, M., Ilyushchenko, S., Thau, D., & Moore, R. (2017). Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. *Remote sensing of Environment*, 202, 18-27. (3.^a ed.). CRC Press / Taylor & Francis. <https://doi.org/10.1201/9780429052729>

- Guerrero, O. A., Camargo, M. G. y Torres, B. I. (2022). Caracterización y clasificación geológica y ambiental: humedales altoandinos de la provincia de Loja-Ecuador. *AXIOMA*, (26), 19-28. <https://doi.org/10.26621/ra.v1i26.742>.
- Guzman, N. E. (2025). Evaluación de pérdida de bofedales vinculados a la actividad minera en la cuenca del río Santa mediante técnicas de teledetección, años 2017 – 2022. Tesis de licenciatura, Universidad San Ignacio de Loyola]. Repositorio USIL.
- Hartman, B. D. y Cleveland, D. A. (2018). The socioeconomic factors that facilitate or constrain restoration management: Watershed rehabilitation and wet meadow (bofedal) restoration in the Bolivian Andes. *Journal of environmental management*, 209, 93-104 <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.12.025>.
- Huete, A., Didan, K., Miura, T., Rodriguez, E. P., Gao, X., & Ferreira, L. G. (2002). Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. *Remote Sensing of Environment*, 83(1–2), 195–213. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(02\)00096-2](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(02)00096-2).
- Huang, X., Wu, Z., Zhang, Q., & Cao, Z. (2022). How to measure wetland destruction and risk: Wetland damage index. *Ecological Indicators*, 141, 109126.
- Instituto Nacional de Investigación de Glaciares y Ecosistemas de Montaña - INAIGEM (2018). Informe de la situación de los Glaciares y Ecosistemas de Montañas. MINAM, 148, 32.
- Instituto Nacional de Investigación de Glaciares y Ecosistemas de Montaña - INAIGEM (2023). Memoria descriptiva Inventario Nacional de Bofedales 2023.
- ITPS (2017). *Mapa de carbono orgánico del suelo*.

- Jara, C., Delegido, J., Ayala, J., Lozano, P., Armas, A. y Flores, V. (2019). Estudio de bofedales en los Andes ecuatorianos a través de la comparación de imágenes Landsat-8 y Sentinel-2. *Revista de teledetección*, (53), 45-57.
- Javier Silva, L. A., Quicaña, E. P. y Alcántara Boza, F. A. (2021). Evaluación de la cobertura vegetal en bofedales altoandinos en función de la napa freática y precipitación utilizando imágenes de satélite. *Revista del Instituto de investigación de la Facultad de minas, metalurgia y ciencias geográficas*, 24(48), 299-306. <https://doi.org/10.15381/iigeo.v24i48.19521>
- Kohavi, R., & Provost, F. (1998). Glossary of terms. *Machine Learning*, 30(2-3), 271–274.
- Lal, R. (2004). Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security. *Science*, 304(5677), 1623-1627.
- Ley N° 28611. Ley General del Ambiente (2017). <https://www.gob.pe/institucion/congreso-de-la-republica/normas-legales/3569-28611>
- Ley N° 29338. Ley de los Recursos Hídricos (2009). <https://www.ana.gob.pe/publicaciones/ley-no-29338-ley-de-recursos-hidricos>
- Ley N° 29763. Ley Forestal y de Fauna Silvestre (2011). <https://busquedas.elperuano.pe/dispositivo/NL/2251964-1>
- Ley N° 30754. Ley Marco Sobre Cambio Climático (2018). <https://busquedas.elperuano.pe/dispositivo/NL/1638161-1>

Ley N° 31804. Ley de Promoción de la Gestión Sostenible de los pastos naturales *para el Desarrollo de la Ganadería Nacional* (2023).

<https://busquedas.elperuano.pe/dispositivo/NL/2191763-1>.

Li, C., Grayson, R., Holden, J., & Li, P. (2018). Erosion in peatlands: Recent research progress and future directions. *Earth-Science Reviews*, 185, 870-886. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2018.08.005>

Li, P., Holden, J., & Irvine, B. (2016). Prediction of blanket peat erosion across Great Britain under environmental change. *Climatic Change*, 134(1), 177-191. <https://doi.org/10.1007/s10584-015-1532-x>

Li, Y., Qin, L., Wang, Y., Liu, H., Zhang, M., & Hao, H. (2024). Ecosystem health assessment of the largest lake wetland in the Yellow River basin using an improved vigor-organization-resilience-services model. *Ecological Indicators*, 166, 112539.

Limo Segura, Alberto. (2023). Análisis de la participación ciudadana en la conservación de los servicios ecosistémicos de los bofedales ubicados en la sub cuenca Santa Eulalia en Lima. *Ecología Aplicada*, 22(2), 195-228.

Lino Leyva, K. K. (2020). *Evaluación de la condición de dos bofedales en el sector de Piticocha, dentro de la Reserva Paisajística Nor Yauyos*. [Tesis de licenciatura, Universidad Católica Sedes Sapientiae]. Repositorio Institucional Digital UCSS

Machuca Peña, E. y Uzquiano Céspedes, F. (2021). *Evaluación del estado de salud de bofedales mediante teledetección en la microcuenca de Acocancha-Lima 2021*. [Tesis de licenciatura, Universidad Cesar Vallejo]. Repositorio académico UCV.

Maldonado Fonkén, M. S. (2014). An introduction to the bofedales of the Peruvian High Andes. *Mires and Peat*, 15(5), 1-13.

Maldonado Fonkén, M. S. (2010). Comportamiento de la vegetación de los bofedales influenciados por las actividades antrópicas. [Tesis de maestría, Pontificia Universidad Católica del Perú]. Repositorio PUCP.

Mamani Arpasi, Y. M. (2024). *Evaluación del área y CO_2 en bofedales y su relación al cambio climático en la cuenca Huancané mediante Google Earth Engine (2010 - 2022)*. [Tesis de doctorado, Universidad Nacional del Altiplano]. Repositorio académico UCV.

Mamani Mamani, F. P. y Chalco Vargas, F. T. (2024). Uso de bofedales para el tratamiento de aguas residuales domésticas en poblaciones del medio rural Puno-evaluación del impacto ambiental. *Revista Científica Investigación Andina*, 22(2).

Mamani Mamani, M. (2024). *Reserva de carbono y emisión de dióxido de carbono del bofedal en el sector Vizcachani, distrito de Capaso, El Collao – 2022*. [Tesis de licenciatura, Universidad Privada San Carlos]. Repositorio académico UPSC.

Ministerio del Ambiente (2019). Guía de evaluación del estado del ecosistema de Bofedal.

Millán, A. (2023). *Plan de compensación ambiental para humedales altoandinos afectados por un proyecto minero en la región Cajamarca*. [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional Federico Villareal]. Repositorio Institucional UNFV.

MMA-ONU Medio Ambiente (2025) Guía metodológica para el desarrollo de iniciativas de restauración de humedales con énfasis en la recuperación de sus servicios ecosistémicos.

[Proyecto GEF/SEC ID: 9766 “Conservación de humedales costeros de la zona centrosur de Chile”. 128 pp.]

- Moncada, W., Pereda, A., Masías, M., Lagos, M., Portal-Quicaña, E., Aldana, C., Saavedra, Y., & Saavedra, E. (2025). Estimación de la humedad del suelo de un ecosistema de humedal altoandino (Bofedal) con datos de georradar y mediciones in situ , Ayacucho—Perú. *International Soil and Water Conservation Research*, 13(1), 122-133. <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2024.06.003>
- Monge-Salazar, M. J., Tovar, C., Cuadros-Adriazola, J., Baiker, J. R., Montesinos-Tubée, D. B., Bonnesoeur, V., Antiporta, J., Román-Dañobeytia, F., Fuentealba, B., Ochoa-Tocachi, B. F. y Buytaert, W. (2022). Ecohydrology and ecosystem services of a natural and an artificial bofedal wetland in the Central Andes. *The Science of the Total Environment*, 838, 155968. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.155968>
- Mutanga, O., & Kumar, L. (2019). Google Earth Engine Applications. *Remote Sensing*, 11(5), 591. <https://doi.org/10.3390/rs11050591>
- NASA (2024). *MODIS*. Disponible en: <https://terra.nasa.gov/about/terra-instruments/modis>
- NASA (2025). *Bandas Landsat 9*. Disponible en : <https://landsat.gsfc.nasa.gov/satellites/landsat-9/landsat-9-bands>
- Ñahui Martinez, E. (2021). Comportamiento y estrategias de conservación del recurso hídrico de bofedales en Callqui Chico, Huancavelica-2021. [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional de Huancavelica]. Repositorio UNH.

Olazábal, O; Mamani, M (2024). Plan de Manejo de Bofedales en el ACR Ausangate.

Olofsson, P., Foody, G. M., Herold, M., Stehman, S. V., Woodcock, C. E., & Wulder, M. A. (2014). Good practices for estimating area and assessing accuracy of land change. *Remote sensing of Environment*, 148, 42-57.

Oyague, E., Cooper, D. J., & Ingol, E. (2022). Effects of land use on the hydrologic regime, vegetation, and hydraulic conductivity of peatlands in the central Peruvian Andes. *Journal of Hydrology*, 609, 127687. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2022.127687>

Pamo-Sedano, J., & Oscco-Coa, C. E. (2022). Análisis espacio temporal del bofedal de la comunidad de Ancomarca (Tacna-Perú) durante el período 1990–2021, con técnicas de teledetección. *Revista Ciencias Biológicas y Ambientales*, 1(1), 43-53. <https://doi.org/10.33326/29585309.2022.1.1587>

Paredes Gomez, J. J. (2023). *Característica fisicoquímica de las aguas superficiales del bofedal alto andino Guitarrachayocc, distrito de Paras. Cangallo-Ayacucho. 2018-2019*. [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga]. Repositorio académico UNSCH.

Pedregosa, et al. (2011) Scikit-Learn: Machine Learning in Python. *Journal of Machine Learning Research*, 12, 2825-2830.

Peña Gonzales, E. E. (2020). *Restauración ecológica de un humedal altoandino para la mejora de la provisión de agua de las Comunidades Campesinas en la Reserva Paisajística Nor Yauyos Cochas*. [Tesis de licenciatura, Universidad Católica Sedes Sapientiae]. Repositorio Institucional Digital UCSS

- Price, J., Evans, C., Evans, M., Allott, T., & Shuttleworth, E. (2016). Peatland restoration and hydrology. En A. Bonn, H. Joosten, M. Evans, R. Stoneman, & T. Allott (Eds.), *Peatland Restoration and Ecosystem Services: Science, Policy and Practice* (pp. 77-94). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9781139177788.006>
- Portilla Rivadeneria, M.G. (2020). Análisis comparativo del estado ecológico de la vegetación acuática en dos humedales altoandinos del volcán Antisana. *Revista Ecuatoriana de Medicina y Ciencias Biológicas: REMCB*, 41(1), 59-74. <https://doi.org/10.26807/remcb.v41i1.839>
- Pucuna Allaica, G. E. (2020). *Determinación de la calidad del agua mediante el uso de parámetros físico-químicos y biológicos de 8 bofedales de la reserva de producción de fauna Chimborazo (RPFCH)*. [Tesis de licenciatura, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo]. Repositorio Digital ESPOCH.
- Puerta Tuesta, R. H., Iannacone Oliver, J. A., & Reátegui Inga, M. E. (2023). Una revisión del uso de imágenes Sentinel-2 para el monitoreo de la cobertura boscosa a nivel global. *Ingeniería y competitividad*, 25(3). <https://doi.org/10.25100/iyv.v25i3.12708>
- Pulido Capurro, V., Málaga Arenas, E., Velarde Falconí, D., Cano Coa, D. M., Olivera Carhuaz, E. & Acevedo Flores, J. (2021). Censo de aves acuáticas y conservación de humedales en las vertientes altoandinas del Perú. *Revista De Investigaciones Altoandinas - Journal of High Andean Research*, 23(4), 244-257. <https://doi.org/10.18271/ria.2021.310>
- Quenta Laura, I. (2019). Caracterización morfológica físico químico y bacteriológica de los bofedales del municipio de Huarina. [Tesis de licenciatura, Universidad Mayor de San Andrés]. Repositorio Institucional-UMSA

- Ramsar. (2013). Manual de la Convención de Ramsar. Secretaría de La Convención de Ramsar, 6a. ed., 120.
- Räsänen, A., Tolvanen, A., & Kareksela, S. (2022). Monitoring peatland water table depth with optical and radar satellite imagery. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 112, 102866.
- Robles Paredes, J. M. (2024). *Servicios ambientales de captura de dióxido de carbono en la época de estiaje y de lluvias en ecosistemas de bofedal originados del nevado Allinccapac en la Comunidad de Pacaje-Macusani, Carabaya 2021/2022*. [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional de Juliaca]. Repositorio académico UNJ.
- Rodrigues, C. I. D., Brito, L. M., y Nunes, L. J. (2023). Soil carbon sequestration in the context of climate change mitigation: A review. *Soil Systems*, 7(3), 64.
- Salvador, F., Monerris, J., & Rochefort, L. (2014). Peatlands of the Peruvian Puna ecoregion: types, characteristics and disturbance. *Mires and Peat*, 15(3), 1–17.
- Saaty, T. L. (2005). Making and validating complex decisions with the AHP/ANP. *Journal of Systems Science and Systems Engineering*, 14(1), 1-36.
- Salinas, M. Rivera, A.; Condori, W. (2021) Guía 8: Manejo De Bofedales E Instalación De Cercos Cooperación para el Proceso de Autodesarrollo Sostenible de Arequipa – COPASA. Gobierno Regional de Arequipa.
- Sangha, K. K., Leyton-Flor, S. A., Conner, N., Bhardwaj, A., & Bhardwaj, A. K. (2025). Transforming conservation by understanding the role of Indigenous peoples and local

communities and their economies. *Global Ecology and Conservation*, 64, e03949.
<https://doi.org/10.1016/j.gecco.2025.e03949>

Shen, C., Fang, Y., Wang, S., Liu, Z., Cai, X., & Tian, L. (2025). Assessing wetland ecological quality and protection effectiveness in the Qilihai Wetland using long-term multi-source remote sensing data. *Geo-Spatial Information Science*, 1–20.
<https://doi.org/10.1080/10095020.2025.2540570>

Singh, H., Nielsen, M., & Greatrex, H. (2023). Causes, impacts, and mitigation strategies of urban pluvial floods in India: A systematic review. *International journal of disaster risk reduction*, 93, 103751.

Sinsaya, E. (2020). *Variación espacial (2015-2019) y estado de conservación de Humedales altoandinos en la comunidad de Ananiso, distrito de Pitumarca, Cusco*. [Tesis de licenciatura, Universidad Cesar Vallejo]. Repositorio académico UCV.

Story, M., & Congalton, R. G. (1986). Accuracy assessment: a user's perspective. *Photogrammetric Engineering and remote sensing*, 52(3), 397-399

Suarez, E., Chimbolema, S., Jaramillo, R., Zurita-Arthos, L., Arellano, P., Chimner, R. A., Stanovick, J. S., & Lilleskov, E. A. (2022). Challenges and opportunities for restoration of high-elevation Andean peatlands in Ecuador. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 27(4), 30. <https://doi.org/10.1007/s11027-022-10006-9>

Sud, A., Sajjan, B., Kanga, S., Singh, S. K., Singh, S., Durin, B., ... & Chand, K. (2024). Integrating RUSLE model with cloud-based geospatial analysis: A Google Earth Engine approach for soil erosion assessment in the Satluj Watershed. *Water*, 16(8), 1073.

Tabachnick, B. G., & Fidell, L. S. (2019). *Using multivariate statistics* (7.^a ed.). Pearson.

Tough, L. F., Bamford, A. J., Harrison, A., Wood, K. A., Los, S., Biervliet, O., Turvey, S. T., Hudson, M., Hansford, J., & Duncan, C. (2025). An open source, remote sensing-based methodology for wetland habitat condition assessments to aid conservation decision-making. *Journal of Applied Ecology*, 62, 2844–2857. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.70135>

Úbeda, C. A. (2021). Estrategias reproductivas, hábitats y otros aspectos ecológicos de los anfibios altoandinos en la vertiente oriental de la Cordillera de los Andes. *Boletín Chileno de Herpetología*, 8, 10-21.

Uyar, N. (2025). Index-Driven Soil Loss Mapping Across Environmental Scenarios: Insights from a Remote Sensing Approach. *Sustainability*, 17(17), 7913. <https://doi.org/10.3390/su17177913>

Villanueva Ramírez, R. Evaluación del cambio en la cobertura vegetal de la subcuenca del río Quillcay mediante el índice de vegetación de diferencia normalizada. *Aporte Santiaguino*, 17(1). <https://doi.org/10.32911/as.2024.v17.n1.1151>

Wulder, M. A., Roy, D. P., Radeloff, V. C., Loveland, T. R., Anderson, M. C., Johnson, D. M., Healey, S., Zhu, Z., Scambos, T. A., Pahlevan, N., Hansen, M., Gorelick, N., Crawford, C. J., Masek, J. G., Hermosilla, T., White, J. C., Belward, A. S., Schaaf, C., Woodcock, C. E., ... Cook, B. D. (2022). Fifty years of Landsat science and impacts. *Remote Sensing of Environment*, 280, 113195. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2022.113195>

- Wunderlich, W., Lang, M., Keating, K., Perez, W. B., & Oshun, J. (2023). The role of peat-forming bofedales in sustaining baseflow in the humid puna. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 47, 101394. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2023.101394>
- Yager, K., Prieto, M. y Meneses, R. I. (2021). Reframing pastoral practices of bofedal management to increase the resilience of andean water towers. *Mountain. Research and Development*, 41(4), A1-A9. <https://doi.org/10.1659/MRD-JOURNAL-D-21-00011.1>
- Yaranga, R. (2020). Humedal Altoandino del Perú: Diversidad florística, productividad primaria neta aérea, condición ecológica y capacidad de carga. *Scientia Agropecuaria*, 11(2), 213-221. <https://dx.doi.org/10.17268/sci.agropecu.2020.02.08>
- Yepes, G. Y. F. y Pérez, J. F. B. (2019). State of conservation index for high Andean wetlands. *Journal for nature conservation*, 49, 45-53. <https://doi.org/10.1016/j.jnc.2019.02.004>
- Yerovi Juiña, A. V. (2019). *Análisis comparativo de la calidad de agua usando macroinvertebrados bentónicos como bioindicadores en dos bofedales en la comunidad Pucará, parroquia Pilahuín, dentro de la Reserva de Producción de Fauna Chimborazo*. [Tesis de licenciatura, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo]. Repositorio Digital ESPOCH.
- Zhu, L., Ke, Y., Hong, J., Zhang, Y., & Pan, Y. (2022). Assessing degradation of lake wetlands in Bashang Plateau, China based on long-term time series Landsat images using wetland degradation index. *Ecological Indicators*, 139, 108903.

ANEXOS

Anexo N° 1.1 Informe de análisis de laboratorio – Densidad Aparente

Anexo N° 1.2 Informe de análisis de laboratorio – Biomasa Aérea

Anexo N° 1.3 Informe de análisis de laboratorio – Materia Orgánica

Anexo N° 2. Certificado de calibración de Multiparámetro

Anexo N° 3. Evaluación de la condición ecológica en las Unidades Muestrales

Anexo N° 4. Fichas de caracterización de unidades muestrales

Anexo N°5 Imágenes satelitales del periodo de estudio

Anexo N° 1.1 Informe de análisis de laboratorio – Densidad Aparente



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE AGRONOMIA
LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES



INFORME DE ANALISIS ESPECIAL EN SUELO

SOLICITANTE : JUDITH ERIKA MIRANDA VASQUEZ
PROCEDENCIA : AREQUIPA/ CONDESUYOS/ CAYARANI
REFERENCIA : H.R. 81228
BOLETA : 6138
FECHA : 22/11/2023

Lab	Número Muestra	D.A. g/cc
	Claves	
6860	BOF-01 (1)	0.13
6861	BOF-01 (2)	0.14
6862	BOF-01 (3)	0.15
6863	BOF-01 (4)	0.13
6864	BOF-01 (5)	0.45
6865	BOF-01 (6)	0.11
6866	BOF-01 (7)	0.32
6867	BOF-02 (1)	0.14
6868	BOF-02 (2)	0.15
6869	BOF-02 (3)	0.12
6870	BOF-02 (4)	0.19
6871	BOF-02 (5)	0.24
6872	BOF-02 (6)	0.11



Dr. Constantino Calderón Mendoza
Jefe del Laboratorio

Av. La Molina s/n Campus UNALM
Telf.: 614-7800 Anexo 222 Teléfono Directo: 349-5622
Celular: 946-505-254
e-mail: labsuelo@lamolina.edu.pe

Anexo N° 1.2 Informe de análisis de laboratorio – Biomasa Aérea



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE AGRONOMIA
LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES



INFORME DE ANALISIS ESPECIAL EN FOLIAR

SOLICITANTE : JUDITH ERIKA MIRANDA VASQUEZ
PROCEDENCIA : AREQUIPA/ CONDESUYOS/ CAYARANI
MUESTRA : BIOMASA AEREA
REFERENCIA : H.R. 81227
BOLETA : 6138
FECHA : 22/11/2023

N. Lab.	CLAVE DE CAMPO	Peso seco g
3218	BOF-01 (1)	111.27
3219	BOF-01 (2)	40.05
3220	BOF-01 (3)	79.26
3221	BOF-01 (4)	160.20
3222	BOF-01 (5)	110.40
3223	BOF-01 (6)	254.07
3224	BOF-01 (7)	101.65
3225	BOF-02 (1)	130.67
3226	BOF-02 (2)	64.16
3227	BOF-02 (3)	234.48
3228	BOF-02 (4)	57.99
3229	BOF-02 (5)	190.10
3230	BOF-02 (6)	110.24



Constantino Calderón Mendoza
Jefe de Laboratorio

Av. La Molina s/n Campus UNALM
Telf.: 614-7800 Anexo 222
Celular: 946-505-254
e-mail: labsuelo@lamolina.edu.pe

Anexo N° 1.3 Informe de análisis de laboratorio – Materia Orgánica



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE AGRONOMIA
LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES



INFORME DE ANALISIS ESPECIAL EN SUELO

SOLICITANTE : JUDITH ERIKA MIRANDA VASQUEZ
PROCEDENCIA : AREQUIPA/ CONDESUYOS/ CAYARANI
REFERENCIA : H.R. 81229
BOLETA : 6138
FECHA : 22/11/2023

Lab	Número Muestra	M.O. %
	Claves	
6873	BOF-01 (1)	9.40
6874	BOF-01 (2)	26.20
6875	BOF-01 (3)	62.61
6876	BOF-01 (4)	71.47
6877	BOF-01 (5)	45.68
6878	BOF-01 (6)	65.29
6879	BOF-01 (7)	7.79
6880	BOF-02 (1)	71.20
6881	BOF-02 (2)	66.10
6882	BOF-02 (3)	67.71
6883	BOF-02 (4)	48.10
6884	BOF-02 (5)	28.62
6885	BOF-02 (6)	70.67



Dr. Constantino Calderón Mendoza
Jefe del Laboratorio

Av. La Molina s/n Campus UNALM
Telf.: 614-7800 Anexo 222 Teléfono Directo: 349-5622
Celular: 946-505-254
e-mail: labsuelo@lamolina.edu.pe

Anexo N° 2. Certificado de calibración de Multiparámetro



LABORATORIO DE CALIBRACIÓN ACREDITADO
POR EL ORGANISMO DE ACREDITACIÓN A2LA
CON CERTIFICADO #6032.01 SEGÚN ISO/IEC 17025:2017



CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N° LTA-0088-2023

Expediente : 000290

Página 1 de 2

Fecha de emisión : 2023-02-17

1. Solicitante : BIOYAKU RESOURCES

Dirección : ASOC. LA ESTRELLA MZA. C LOTE. 6 TRES CUADRAS
DELANTE PLAZA VEA LOS OLIVOS - LIMA - LIMA

2. Instrumento calibrado : TERMÓMETRO CON INDICACIÓN DIGITAL

INDICADOR	SENSOR
Marca : Lutron	Marca : No Indica
Modelo : WA-2017SD	Modelo : No Indica
N° de serie : T.063331	N° de Serie : No Indica
Código : No Indica	Código : No Indica
Alcance : 0 °C a 60 °C	Alcance : 0 °C a 60 °C
Resolución : 0,1 °C	
Procedencia : Taiwan	
Tipo de Sensor : Termistor	

3. Lugar de calibración : Laboratorio de temperatura de ALAB E.I.R.L

4. Fecha de calibración : 2023-02-17

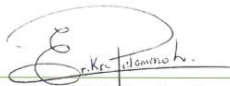
5. Método de calibración :

La calibración se realizó por comparación directa siguiendo el PC-017 "Procedimiento para la Calibración de Termómetros Digitales". Segunda Edición. 2012. INDECOP

6. Trazabilidad :

Los resultados de la calibración realizada tienen trazabilidad a los patrones nacionales del INACAL - DM, en concordancia con el Sistema Internacional de Unidades de Medida (SI) y el Sistema Legal de Unidades de Medida del Perú (SLUMP)

Código	Descripción	Certificado de calibración
PTT-014	Termómetro Digital de Incertidumbre 0,016 C a 0,046 C	LT-217-2022 / INACAL-DM
PTT-026	Termómetro Digital de Incertidumbre 0,016 C a 0,046 C	LT-218-2022 / INACAL-DM


Erika M. Palomino Limache
Responsable del Laboratorio


Randy C. Santiago Jurado
Jefe de Laboratorio de Metrología

SEDE PRINCIPAL
Av. Guardia Chalaca N° 1877, Bellavista - Callao
Telf.: (+01) 717 5802 - Cel.: 977 515 129

www.alab.com.pe

Certificado de calibración N° LTA-0088-2023

Página 2 de 2

7. Condiciones de Calibración :

Tiempo de estabilización : 10 min

Profundidad de inmersión : 9 cm

Temperatura ambiental Inicial : 24,8 °C Final : 25,3 °C

Humedad relativa Inicial : 55,8 % h.r. Final : 55,9 % h.r.

8. Resultados de la Calibración :

Indicación del termómetro °C	Temperatura convencionalmente verdadera °C	Corrección °C	Incertidumbre °C
14,3	15,012	0,712	0,078
19,3	20,019	0,719	0,078
24,3	25,028	0,728	0,077

La temperatura convencionalmente verdadera (TCV) resulta de la relación:
 $TCV = \text{Indicación del termómetro} + \text{corrección}$

9. Observaciones :

- Se colocó una etiqueta autoadhesiva con la indicación "CALIBRADO"; N° IM-00929.
- Antes de la calibración no se realizó ningún tipo de ajuste.
- La incertidumbre expandida de la medición se ha obtenido multiplicando la incertidumbre estándar de la medición por el factor de cobertura $k = 2$ que, para una distribución normal corresponde a una probabilidad de cobertura de aproximadamente 95 %.
- (*) Código de identificación indicado en una etiqueta adherida al instrumento.

FIN DEL DOCUMENTO

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N° LFQA-0043-2023

Expediente : 000290

Página 1 de 2

Fecha de emisión : 2023-02-17

1. **Solicitante** : BIOYAKU RESOURCES
2. **Dirección** : ASOC. LA ESTRELLA MZA. C LOTE. 6 TRES CUADRAS
DELANTE PLAZA VEA LOS OLIVOS - LIMA - LIMA
3. **Instrumento** : CONDUCTÍMETRO (Multiparámetro)
 - Marca** : Lutron
 - Modelo** : WA-2017SD
 - Serie** : T.063331
 - Serie del electrodo** : 11-07
 - Procedencia** : Taiwan
 - Código de identificación** : No Indica
 - Intervalo de Indicación** : 0 μ S/cm a 200mS/cm
 - Resolución** : 0,1 μ S/cm; 0,001mS/cm
 - Ubicación** : No Indica
4. **Lugar de calibración** : Laboratorio de Físicoquímica de ALAB E.I.R.L.
5. **Fecha de calibración** : 2023-02-17
6. **Método de calibración** :
La calibración se realizó por comparación con material de referencia certificado según el procedimiento PC-022 "Procedimiento para la calibración de Conductímetros" Primera Edición. 2014. INDECOPI.

Los resultados presentados corresponden sólo al ítem calibrado y se refieren al momento y condiciones en que se realizaron las mediciones y no deben utilizarse como certificado de conformidad con normas de producto.

El certificado de calibración es un documento oficial de interés público, su adulteración o uso indebido constituye delito contra la fe pública y se regula por las disposiciones penales y civiles en la materia. Sin perjuicio de lo señalado, dicho uso puede configurar por sus efectos una infracción a las normas de protección al consumidor y las que regulan la libre competencia.

Al usuario le corresponde disponer en su momento la ejecución de una nueva calibración, la cual está en función del uso, conservación y mantenimiento del instrumento de medición o a reglamentaciones vigentes.

ALAB E.I.R.L. no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración aquí declarados.

Este certificado de calibración es trazable a patrones nacionales o internacionales, los cuales realizan las unidades de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).

Este certificado de calibración no podrá ser reproducido parcialmente, excepto con autorización expresa por escrito de ALAB E.I.R.L.

El certificado de calibración no es válido sin la firma del responsable técnico de ALAB E.I.R.L.

7. **Trazabilidad :**

Valor Certificado a 25 °C	N° de lote	Certificado de Análisis	Incertidumbre (k=2)
9,99 μ S/cm	CC22898	4565-13476735	0,30 μ S/cm
99,50 μ S/cm	CC22752	4566-13392245	0,80 μ S/cm
1415,00 μ S/cm	CC22679	4573-13358035	3,00 μ S/cm

Código	Instrumento Patrón	Certificado o informe de calibración
PTT-001	Termómetro digital	LT - 008 - 2022

8. **Condiciones de calibración :**

	Inicial	Final
Temperatura ambiental :	25,2 °C	25,3 °C
Humedad relativa :	58,4 % H.R.	57,6 % H.R.



Meyler Villalobos Bravo
Responsable de Laboratorio
de Físicoquímica



Randy Santiago Jurado
Jefe de Laboratorio

SEDE PRINCIPAL

Av. Guardia Chalaca N° 1877, Bellavista - Callao
Telf.: (+01) 717 5802 - Cel.: 977 515 129

www.alab.com.pe

Certificado de calibración N° LFQA-0043-2023

Página 2 de 2

9. Resultados :

Valor del Certificado	Lectura promedio del equipo	Error	Incertidumbre
9,99 $\mu\text{S/cm}$	10,20 $\mu\text{S/cm}$	0,210 $\mu\text{S/cm}$	0,6 $\mu\text{S/cm}$
99,50 $\mu\text{S/cm}$	99,70 $\mu\text{S/cm}$	0,200 $\mu\text{S/cm}$	2,1 $\mu\text{S/cm}$
1,415 mS/cm	1,409 mS/cm	-0,006 mS/cm	0,005 mS/cm

Valor del Certificado = Lectura promedio del equipo - Error

10. Observaciones :

- Se colocó en el instrumento una etiqueta autoadhesiva con la indicación "CALIBRADO" y N° IM-00929.
- Los resultados son emitidos para la temperatura de referencia de 25°C.
- Las incertidumbres de medición expandidas reportadas son las incertidumbres de medición estándares multiplicadas por el factor de cobertura $k=2$ de modo que la probabilidad de cobertura corresponde aproximadamente a un nivel de confianza del 95 %.

(FIN DEL DOCUMENTO)

SEDE PRINCIPAL

Av. Guardia Chalaca N° 1877, Bellavista - Callao
Telf.: (+01) 717 5802 - Cel.: 977 515 129 www.alab.com.pe

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N° LFQA-0042-2023

Expediente : 000290

Página 1 de 2

Fecha de emisión : 2023-02-17

1. **Solicitante** : BIOYAKU RESOURCES
2. **Dirección** : ASOC. LA ESTRELLA MZA. C LOTE. 6 TRES
CUADRAS DELANTE PLAZA VEA LOS OLIVOS -
LIMA - LIMA
3. **Instrumento** : **Medidor de pH (Multiparámetro)**
 Marca : Lutron
 Modelo : WA-2017SD
 Número de serie : T.063331
 Serie del electrodo : No Indica
 Identificación : No Indica
 Procedencia : Taiwan
 Intervalo de medida : 0 a 14 pH
 Resolución : 0,01 pH
4. **Lugar de calibración** : En el Laboratorio de Físicoquímica de
ALAB E.I.R.L.
5. **Fecha de calibración** : 2023-02-17
6. **Método de calibración** :
La calibración se realizó por comparación con material de referencia
certificado según el procedimiento PC-020 "Procedimiento para la
calibración de medidores de pH". Segunda Edición. 2017. INACAL.

Los resultados presentados corresponden sólo al
ítem calibrado y se refieren al momento y
condiciones en que se realizaron las mediciones y
no deben utilizarse como certificado de conformidad
con normas de producto.

El certificado de calibración es un documento oficial
de interés público, su adulteración o uso indebido
constituye delito contra la fe pública y se regula por
las disposiciones penales y civiles en la materia. Sin
perjuicio de lo señalado, dicho uso puede configurar
por sus efectos una infracción a las normas de
protección al consumidor y las que regulan la libre
competencia.

Al usuario le corresponde disponer en su momento
la ejecución de una nueva calibración, la cual está
en función del uso, conservación y mantenimiento
del instrumento de medición o a reglamentaciones
vigentes.

ALAB E.I.R.L. no se responsabiliza de los perjuicios
que pueda ocasionar el uso inadecuado de este
instrumento, ni de una incorrecta interpretación de
los resultados de la calibración aquí declarados.

Este certificado de calibración es trazable a
patrones nacionales o internacionales, los cuales
realizan las unidades de acuerdo con el Sistema
Internacional de Unidades.

Este certificado de calibración no podrá ser
reproducido parcialmente, excepto con autorización
expresa por escrito de ALAB E.I.R.L.

El certificado de calibración no es válido sin la firma
del responsable técnico de ALAB E.I.R.L.

7. Trazabilidad :

Se utilizó los siguiente materiales de referencia certificados :

pH	N° Lote	Certificado de Análisis	Incertidumbres (pH)
4,007	CC721421	4280-12172020	0,011
6,995	CC729852	4281-12451546	0,011
10,009	CC720358	4282-12147180	0,011

Un termómetro de código PTT-001 con Certificado de Calibración N° LT - 008 - 2022



Meyler Villalobos Bravo
Responsable de Laboratorio de
Físicoquímica



Randy Santiago Jurado
Jefe de Laboratorio

SEDE PRINCIPAL

Av. Guardia Chalaca N° 1877, Bellavista - Callao
Telf.: (+01) 717 5802 - Cel.: 977 515 129

www.alab.com.pe

Certificado de Calibración N° LFQA-0042-2023

Página 2 de 2

8. Condiciones ambientales :

	Inicial	Final
Temperatura Ambiental :	23,4 °C	23,8 °C
Humedad Relativa :	58,5 % h.r.	54,8 % h.r.

9. Resultados :

INDICACIÓN PROMEDIO DEL PHMETRO (pH)	SOLUCIÓN TAMPÓN (BUFFER) PATRÓN (pH)	ERROR PROMEDIO ENCONTRADO (pH)	INCERTIDUMBRE (pH)
4,00	4,007	-0,007	0,012
6,98	6,995	-0,015	0,012
10,03	10,009	0,021	0,013

Valor de la solución tampón patrón = Indicación promedio del pHmetro - Error promedio encontrado.

Los resultados son emitidos para la temperatura de referencia de 25 °C .

La incertidumbre de la medición se da con un nivel de confianza aproximado del 95 % con un factor de cobertura $k = 2$.

10. Observaciones :

La indicación del pHmetro es el promedio de 3 mediciones.

Antes del ajuste las lecturas del equipo para los patrones 4,007 pH; 6,995 pH y 10,009 pH fueron 3,78 pH ; 7,03 pH y 9,91 pH respectivamente .

Después del ajuste las lecturas del equipo para los patrones 4,007 pH; 6,995 pH y 10,009 pH fueron 4,00 pH ; 6,98 pH y 10,04 pH respectivamente .

El Coeficiente de correlación obtenido es (0,999) y se encuentra dentro de los límites establecidos "mayor a 0,995 y menor a 1,005" según el procedimiento de calibración.

Se colocó una etiqueta autoadhesiva en el instrumento con la indicación "CALIBRADO" y N° IM-00929 .

FIN DEL DOCUMENTO

SEDE PRINCIPAL

Av. Guardia Chalaca N° 1877, Bellavista - Callao
Telf.: (+01) 717 5802 - Cel.: 977 515 129

 www.alab.com.pe

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N° LFQ-0008-2023

Expediente : 000290

Página 1 de 2

Fecha de emisión : 2023-02-17

1. **Solicitante** : BIOYAKU RESOURCES
2. **Dirección** : ASOC. LA ESTRELLA MZA. C LOTE. 6 TRES CUADRAS DELANTE PLAZA VEA LOS OLIVOS - LIMA - LIMA
3. **Instrumento** : **MEDIDOR DE OXÍGENO DISUELTO (Multiparámetro)**
Marca / Fabricante : LUTRON
Modelo : WA-2017SD
Serie : T.063331
Serie de la sonda : No indica
Procedencia : Taiwan
Código de identificación : No indica
Intervalo de Indicación : 0,00 mg/L a 20,00 mg/L
Resolución : 0,1 mg/L
Ubicación : No indica
4. **Lugar de calibración** : Laboratorio de Físicoquímica de ALAB E.I.R.L.
5. **Fecha de calibración** : 2023-02-17
6. **Método de calibración** :
La calibración se realizó por comparación de la indicación del equipo contra material estandar de referencia con valor conocido siguiendo el MVAL-LAB-24: Procedimiento para la Calibración de medidores de oxígeno Disuelto. Rev. 00:2022 ALAB E.I.R.L.
7. **Trazabilidad** :

Producto	Marca	N° Lote	Expiración
HI7040-1	Hanna Instruments	3163	2023-07
HI7040-2	Hanna Instruments	3222	2023-07
Dissolved Oxygen	Supelco / Sigma Aldrich	LRAD3526	2023/09

8. Condiciones de calibración :

	Inicio	Final
Temperatura ambiental :	23,9 °C	23,2 °C
Humedad relativa :	57,8 % h.r.	58,7 % h.r.



Meyler Villalobos Bravo
Responsable de Laboratorio de
Físicoquímica



Randy Santiago Jurado
Jefe de Laboratorio

Los resultados presentados corresponden sólo al ítem calibrado y se refieren al momento y condiciones en que se realizaron las mediciones y no deben utilizarse como certificado de conformidad con normas de producto.

El certificado de calibración es un documento oficial de interés público, su adulteración o uso indebido constituye delito contra la fe pública y se regula por las disposiciones penales y civiles en la materia. Sin perjuicio de lo señalado, dicho uso puede configurar por sus efectos una infracción a las normas de protección al consumidor y las que regulan la libre competencia.

Al usuario le corresponde disponer en su momento la ejecución de una nueva calibración, la cual está en función del uso, conservación y mantenimiento del instrumento de medición o a reglamentaciones vigentes.

ALAB E.I.R.L. no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración aquí declarados.

Este certificado de calibración es trazable a patrones nacionales o internacionales, los cuales realizan las unidades de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades.

Este certificado de calibración no podrá ser reproducido parcialmente, excepto con autorización expresa por escrito de ALAB E.I.R.L.

El certificado de calibración no es válido sin la firma del responsable técnico de ALAB E.I.R.L.

SEDE PRINCIPAL

Av. Guardia Chalcá N° 1877, Bellavista - Callao
Telf.: (+01) 717 5802 - Cel.: 977 515 129

www.alab.com.pe

9. Resultados :

Valor referencia (mg/L)	Lectura promedio del instrumento (mg/L)	Error promedio encontrado (mg/L)	Incertidumbre (mg/L)	Temperatura de referencia (°C)
8,23 (*)	8,02	-0,21	0,14	25,0
7,78	7,60	-0,18	0,35	20,0
0,00	0,52	0,52	0,14	25,0

$$\text{Valor de referencia} = \text{Lectura promedio del Instrumento} - \text{Error promedio encontrado}$$

10. Observaciones :

- Se colocó en el instrumento una etiqueta autoadhesiva con la indicación "CALIBRADO" y N° de etiqueta IM-00929.
- Los resultados mostrados son el promedio de 5 mediciones para el instrumento calibrado.
- La incertidumbre de medición expandida reportada es la incertidumbre de medición estándar multiplicada por el factor de cobertura $k=2$ de modo que la probabilidad de cobertura corresponde aproximadamente a un nivel de confianza del 95 %.

(*) El valor para 100 % oxígeno disuelto o su equivalencia en concentración es solo un valor referencial.

(FIN DEL DOCUMENTO)

SEDE PRINCIPAL

Av. Guardia Chalaca N° 1877, Bellavista - Callao
Telf.: (+01) 717 5802 - Cel.: 977 515 129

 www.alab.com.pe

Anexo N° 3. Evaluación de la condición ecológica en las Unidades Muestrales

Atributos	Indicadores	BOF-01(1)		BOF-01(2)		BOF-01(3)		BOF-01(4)		BOF-01(5)		BOF-01(6)		BOF-01(7)		BOF-01
		Vs	Ps	Vs	Ps	Vs	Ps	Vs	Ps	Vs	Ps	Vs	Ps	Vs	Ps	Prom
Condición del agua	Napa freática en época seca (cm)	6	20,5	183	0	104	0	15	20,5	27	10,3	22,5	10,3	4,3	30,8	10.30
	Conductividad eléctrica (µS/cm)	31	8,8	222	0	175	2,9	33,3	8,8	36	8,8	47,6	8,8	5,9	8,8	8.80
	Profundidad de turba (cm)	72,5	3,1	145	6,1	120	6,1	160	6,1	130	6,1	160	6,1	190	6,1	6.10
Condición del suelo	Materia orgánica (%)	9,4	0	26,2	0	62,61	5,9	71,47	5,9	45,68	3	65,29	5,9	7,79	0	3.00
	Densidad aparente (g/cm3)	0,13	3,5	0,14	3,5	0,15	3,5	0,13	3,5	0,45	1,2	0,11	3,5	0,32	1,2	2.30
	Signos de erosión (cualitativo)	A	2,9	C	1	C	1	B	1,9	A	2,9	A	2,9	A	2,9	2.90
Condición de la biota	Especies nativas (%)	94	8,7	82	8,7	100	8,7	94	8,7	94	8,7	88	8,7	92	8,7	8.70

Alteraciones en el paisaje	Riqueza de especies	17	3,1	17	3,1	16	3,1	16	3,1	18	3,1	18	3,1	14	3,1	3.10
	(especies/área)															
	Cobertura vegetal viva (%)	98	2	68,33	0	85	1	96,67	2	90	2	90,5	2	85,8	1	1.00
	Biomasa aérea (kg MS/ha)	5933,89	5,1	2135,98	5,1	4222,11	5,1	8532,03	5,1	5885,33	5,1	13719,89	5,1	5418,67	5,1	5.10
	Presencia de factores de degradación	B	5,3	B	5,3	B	5,3	B	5,3	B	5,3	B	5,3	A	8	5.30
	Conectividad hidrológica del bofedal	B	5,3	B	5,3	B	5,3	B	5,3	B	5,3	A	8	A	8	8.00
	Sumatoria	68,3		38,1		47,9		76,2		61,8		69,7		83,7		64.6
	Escala 1-10	6,83		3,81		4,79		7,62		6,18		6,97		8,37		6.46
	Estado del Ecosistema (Valor ecológico)	Bueno Pobre Regular Bueno Bueno Bueno Muy Bueno Bueno														

Atributos	Indicadores	BOF-02(1)		BOF-02(2)		BOF-02(3)		BOF-02(4)		BOF-02(5)		BOF-02(6)		BOF-02
		Vs	Ps	Vs	Ps	Vs	Ps	Vs	Ps	Vs	Ps	Vs	Ps	Prom
Condición del agua	Napa freática en época seca (cm)	10	20,5	16	20,5	19	20,5	180,5	0	47	10,3	34	10,3	10.3
	Conductividad eléctrica (µS/cm)	42	8,8	30	8,8	23,6	8,8	58,5	5,9	34,5	8,8	46	8,8	8.8
	Profundidad de turba (cm)	200	6,1	200	6,1	120	6,1	67	3,1	170	6,1	150	6,1	6.1
Condición del suelo	Materia orgánica (%)	71,2	5,9	66,1	5,9	67,71	5,9	48,1	3	28,62	0	70,67	5,9	5.9
	Densidad aparente (g/cm3)	0,14	3,5	0,15	3,5	0,12	3,5	0,19	3,5	0,24	2,3	0,11	3,5	3.5
	Signos de erosión (cualitativo)	A	2,9	A	2,9	B	1,9	B	1,9	B	1,9	B	1,9	2.9
Condición de la biota	Especies nativas (%)	94	8,7	95	8,7	94	8,7	92	8,7	100	8,7	100	8,7	8.7

Alteraciones en el paisaje	Riqueza de especies (especies/área)	16	3,1	13	3,1	17	3,1	19	3,1	17	3,1	13	3,1	3.1	
	Cobertura vegetal viva (%)	80	1	76,67	1	88,33	1	85	1	71,67	1	78,33	1	1	
	Biomasa aérea (kg MS/ha)	6970,31	5,1	3418,67	5,1	12519,76	5,1	3086,34	5,1	10138,67	5,1	5876,98	5,1	5.1	
	Presencia de factores de degradación	B	5,3	B	5,3	B	5,3	B	5,3	B	5,3	B	5,3	5.3	
	Conectividad hidrológica del bofedal	A	8	A	8	A	8	A	8	A	8	B	5,3	8	
	Sumatoria	78,9		78,9		77,9		48,6		60,6		65,0		68.7	
	Escala 1-10	7,89		7,89		7,79		4,86		6,06		6,5		6.87	
	Estado del Ecosistema (Valor ecológico)	Bueno			Bueno			Bueno		Regular		Bueno		Bueno	

Anexo N° 4. Fichas de caracterización de unidades muestrales

Tipo de Ecosistema (Bofedal o laguna)	BOFEDAL	Código:	BOF-01 (1)
Localización (Departamento, provincia, distrito)	C.C. Chocñihuaqui, distrito de Cayarani, provincia de Condesuyos, Arequipa		
Coordenadas (UTM WGS 84 - Zona 18)	E: 794053.00	N: 8354106.00	Altitud: 4713 m.s.n.m.
Relieve (colina, cerros, cuenca, quebrada, etc.)	 Unidad muestral ubicada en una zona llana con pendiente que va desde 0 a 5° aproximadamente. Correspondiente a superficies planas a suavemente inclinadas. Presencia de pozas naturales que favorecen la retención del agua.		
Calidad de agua (Parámetros fisicoquímicos)	pH : 3.89 CE (μS/cm) : 31 Temp (°C) : 7.9 OD (mg/l) : 2.5		
Condición del suelo y biota	Materia orgánica (%): 9.40 Densidad aparente (g/cm³): 0.13 Cobertura vegetal viva (%): 98		
Especies representativas (Indicadores, clave, predominantes, entre otros) *Consultado en POWO-2025	Flora: Las especies más dominantes fueron <i>Distichia muscoides</i>, <i>Alchemilla diplophylla</i>* y <i>Rockhausenia pygmaea</i>*, las cuales son especies representativas de bofedal según las referencias bibliográficas revisadas. Fauna: Se observó la presencia de <i>Oressochen melanopterus</i> “Huallatas”. Además, se registraron fecas de camélidos altoandinos.		
Cobertura vegetal (Mayores a 60%, 60-20%, menores al 20%)	Se encontró una cobertura vegetal viva del 98%. La cobertura vegetal fue uniforme, algunas áreas presentaron surcos de agua lo que permite el desarrollo óptimo de la vegetación.		
Conectividad hidrológica (alta, media, baja, sin conectividad)	Ponderación “A”. Alta conectividad ya que no se identificó alteraciones en las fuentes de agua que alimentan de forma directa al bofedal.		
Signos de erosión	Ponderación “A”. Se observa signos de erosión menores al 10% de la unidad muestral.		

Factores de degradación	Ponderación “B”. Se observan dos factores de degradación en baja abundancia e intensidad, dichos factores son
Servicios ecosistémicos: Los principales servicios brindados son: (1) Servicios de soporte por la formación de turba y de refugios potenciales para la fauna silvestre; (2) Provisión, ya que brindan forraje para el ganado y agua para alimentar lagunas que se ubican en partes bajas de las cuencas receptoras, animales y los pobladores; y (3) Regulación, porque purifican, almacenan y regulan el flujo hídrico.	
Estado de conservación (Muy bueno, Bueno, Regular, Pobre, Muy pobre)	BUENO
Registro fotográfico - Temporada seca	
	
Fotografía 1: Ubicación de la unidad muestral BOF-01 (1) (Transecto de 50 m)	



Fotografía 2: Presencia de *Oressochen melanopterus* “Huallata”

Tipo de Ecosistema (Bofedal o laguna)	BOFEDAL	Código:	BOF-01 (2)
Localización (Departamento, provincia, distrito)	C.C. Chocñihuaqui, distrito de Cayarani, provincia de Condesuyos, Arequipa		
Coordenadas (UTM WGS 84 - Zona 18)	E: 793922.00	N: 8354276.00	Altitud: 4712 m.s.n.m.
Relieve (colina, cerros, cuenca, quebrada, etc.)	 Unidad muestral ubicada en una zona llana de pendiente que va desde 0 a 5° correspondiente a superficies planas a suavemente inclinadas. Se observa zonas con parches de suelo desnudo, ausencia de empozamientos u canales naturales de agua.		

Calidad de agua (Parámetros físicoquímicos)	pH : 6.06 Temp (°C) : 7.4 CE (µS/cm) : 222 OD (mg/l) : 5.2
Condición del suelo y biota	Materia orgánica (%): 26.2 Densidad aparente (g/cm³): 0.14 Cobertura vegetal viva (%): 68.33
Especies representativas (Indicadores, clave, predominantes, entre otros) *Consultado en POWO-2025	Flora: Las especies más dominantes fueron <i>Rockhausenia pygmaea diplophylla</i>*, <i>Alchemilla diplophylla</i>* y <i>Poa aequigluma</i>. Además, se reportó la presencia de <i>Cinnagrostis vicunarum</i> lo cual refleja sectores del bofedal con poco o nulo acceso a zonas con abundancia hídrica. Fauna: Se registraron fecas de camélidos altoandinos en las zonas circundantes.
Cobertura vegetal (Mayores a 60%, 60-20%, menores al 20%)	Se encontró una cobertura vegetal del 68.33%. La cobertura vegetal era escasa, además se identificó vegetación seca en algunos parches de la unidad muestral, así mismo se registró la presencia de parches de suelo desnudo.
Conectividad (alta, media, baja, sin conectividad)	Ponderación “B” . Conectividad media, debido a que se identifica infraestructura circundante que modificó la permeabilidad de ingreso de agua hacia el bofedal.
Signos de erosión	Ponderación “C” . Se identificaron signos de erosión laminar profunda, cojines de vegetación fraccionados y abundancia de vegetación seca.
Factores de degradación	Ponderación “B” . Se Identificaron dos signos de alteración: Alteraciones hidrológicas y ganadería en el bofedal ambas en baja intensidad y abundancia.
Servicios ecosistémicos: Los principales servicios brindados son: (1) Servicios de soporte por la formación de turba y de refugios potenciales para la fauna silvestre; (2) Provisión, ya que brindan forraje para el ganado y agua para alimentar lagunas que se ubican en partes bajas de las cuencas receptoras, animales y los pobladores; y (3) Regulación, porque purifican, almacenan y regulan el flujo hídrico.	
Estado de conservación (Muy bueno, Bueno, Regular, Pobre, Muy pobre)	POBRE
Registro fotográfico - Temporada seca	
	



Fotografía 1: Ubicación de la Unidad Muestral BOF-01 (2) (Transecto de 50 m)



Fotografía 2: Identificación de zonas erosionadas y con vegetación seca.

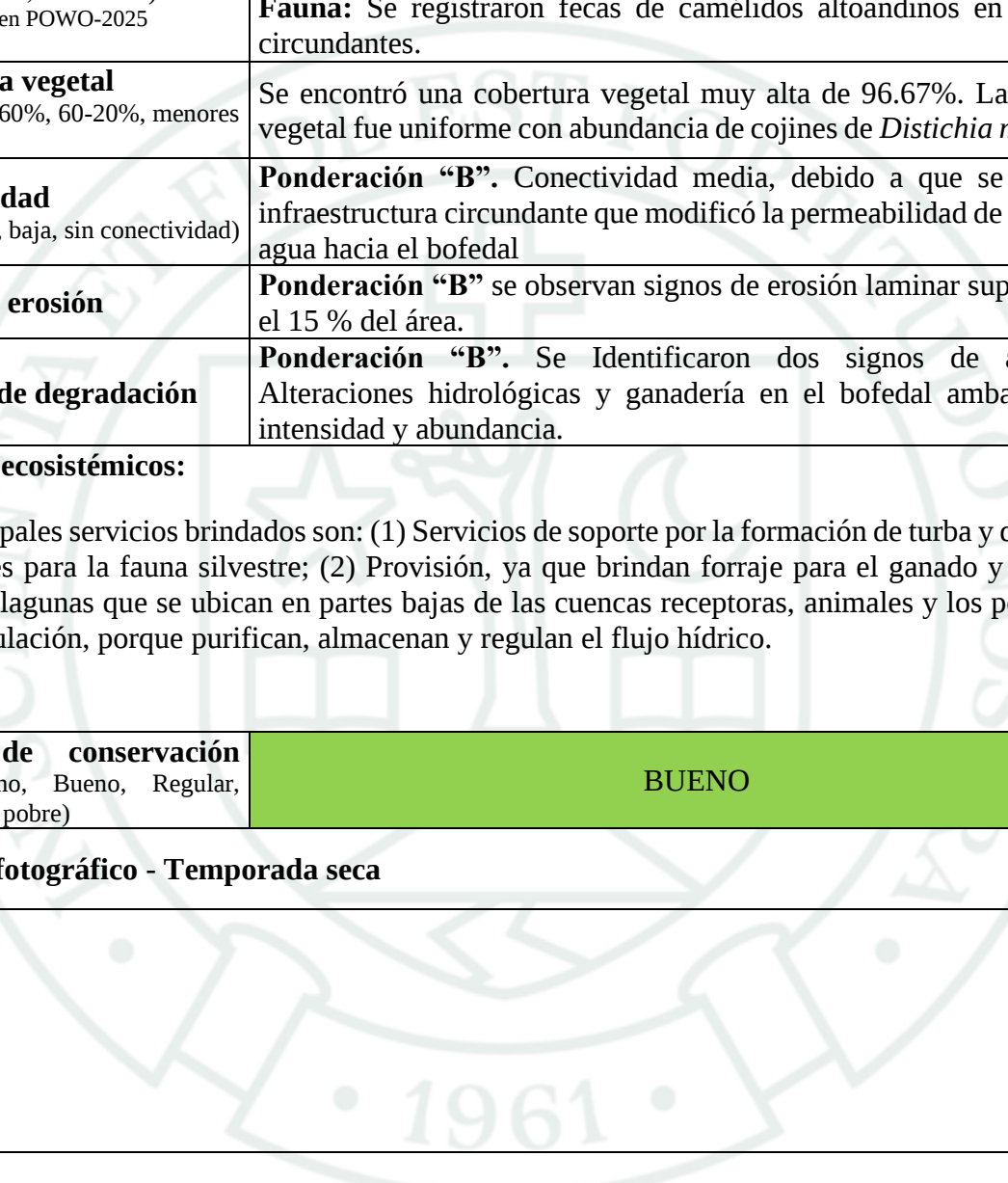
Tipo de Ecosistema (Bofedal o laguna)	BOFEDAL	Código:	BOF-01 (3)
Localización (Departamento, provincia, distrito)	C.C. Chocñihuaqui, distrito de Cayarani, provincia de Condesuyos, Arequipa		
Coordenadas (UTM WGS 84 - Zona 18)	E: 793550.00	N: 8354244.00	Altitud: 4711 m.s.n.m.
Relieve (colina, cerros, cuenca, quebrada, etc.)	 Unidad muestral ubicada en una zona llana de pendiente que va desde 0 a 5° aproximadamente. Correspondiente a superficies planas a suavemente inclinadas. Presencia de surcos que favorecen la retención del agua.		
Calidad de agua (Parámetros fisicoquímicos)	pH : 6.26 CE (μS/cm) : 175 Temp (°C) : 7 OD (mg/l) : 1.8		
Condición del suelo y biota	Materia orgánica (%): 62.61 Densidad aparente (g/cm³): 0.15 Cobertura vegetal viva (%): 85		
Especies representativas (Indicadores, clave, predominantes, entre otros) *Consultado en POWO-2025	Flora: Las especies más dominantes fueron <i>Distichia muscoides</i> , <i>Rockhausenia pygmaea</i> *, <i>Plantago tubulosa</i> . Las cuales son especies representativas de bofedal según las referencias bibliográficas revisadas.		
	Fauna: Se registraron fecas de camélidos altoandinos en las zonas circundantes.		
Cobertura vegetal (Mayores a 60%, 60-20%, menores al 20%)	Se encontró una cobertura vegetal viva del 85%. La cobertura vegetal fue uniforme compuesta en gran mayoría por cojines de <i>Distichia muscoides</i> , algunas áreas presentaron surcos de agua medianamente profundos.		
Conectividad (alta, media, baja, sin conectividad)	Ponderación “B”. Conectividad media, debido a que se identifica infraestructura circundante que modificó la permeabilidad de ingreso de agua hacia el bofedal		
Signos de erosión	Ponderación “C”. Se identificaron signos de erosión laminar profunda, cojines de vegetación fraccionados y presencia de vegetación seca.		

Factores de degradación	Ponderación “B”. Se Identificaron dos signos de alteración: Alteraciones hidrológicas y ganadería en el bofedal ambas en baja intensidad y abundancia.
Servicios ecosistémicos: Los principales servicios brindados son: (1) Servicios de soporte por la formación de turba y de refugios potenciales para la fauna silvestre; (2) Provisión, ya que brindan forraje para el ganado y agua para alimentar lagunas que se ubican en partes bajas de las cuencas receptoras, animales y los pobladores; y (3) Regulación, porque purifican, almacenan y regulan el flujo hídrico.	
Estado de conservación (Muy bueno, Bueno, Regular, Pobre, Muy pobre)	REGULAR
Registro fotográfico - Temporada seca	
	
Fotografía 1: Ubicación de la Unidad Muestral BOF-01 (3) (Transecto de 50 m)	



Fotografía 2: Identificación de fecas en la unidad muestral, lo que determina la presencia de ganadería en la zona y torres de tensión como infraestructura circundante.

Tipo de Ecosistema (Bofedal o laguna)	BOFEDAL	Código:	BOF-01 (4)
Localización (Departamento, provincia, distrito)	C.C. Chocñihuaqui, distrito de Cayarani, provincia de Condesuyos, Arequipa		
Coordenadas (UTM WGS 84 - Zona 18)	E: 793142.00	N: 8354208.00	Altitud: 4723 m.s.n.m.
Relieve (colina, cerros, cuenca, quebrada, etc.)	 Unidad muestral ubicada en una zona llana de pendiente que va desde 0 a 5° correspondiente a superficies planas a suavemente inclinadas. Presencia de surcos de agua de profundidades moderadas.		
Calidad de agua (Parámetros fisicoquímicos)	pH : 5.5 CE (µS/cm) : 33.3 Temp (°C) : 7.5 OD (mg/l) : 3.1		

Condición del suelo y biota	Materia orgánica (%): 71.47 Densidad aparente (g/cm³): 0.13 Cobertura vegetal viva (%): 96.67
Especies representativas (Indicadores, clave, predominantes, entre otros) *Consultado en POWO-2025	Flora: Las especies dominantes fueron <i>Distichia muscoides</i> , <i>Rockhausenia microphylla</i> *, <i>Lobelia oligophylla</i> y <i>Rockhausenia pygmaea</i> .* Fauna: Se registraron fecas de camélidos altoandinos en las zonas circundantes.
Cobertura vegetal (Mayores a 60%, 60-20%, menores al 20%)	Se encontró una cobertura vegetal muy alta de 96.67%. La cobertura vegetal fue uniforme con abundancia de cojines de <i>Distichia muscoides</i> .
Conectividad (alta, media, baja, sin conectividad)	Ponderación "B". Conectividad media, debido a que se identifica infraestructura circundante que modificó la permeabilidad de ingreso de agua hacia el bofedal
Signos de erosión	Ponderación "B" se observan signos de erosión laminar superficial en el 15 % del área.
Factores de degradación	Ponderación "B". Se Identificaron dos signos de alteración: Alteraciones hidrológicas y ganadería en el bofedal ambas en baja intensidad y abundancia.
Servicios ecosistémicos: Los principales servicios brindados son: (1) Servicios de soporte por la formación de turba y de refugios potenciales para la fauna silvestre; (2) Provisión, ya que brindan forraje para el ganado y agua para alimentar lagunas que se ubican en partes bajas de las cuencas receptoras, animales y los pobladores; y (3) Regulación, porque purifican, almacenan y regulan el flujo hídrico.	
Estado de conservación (Muy bueno, Bueno, Regular, Pobre, Muy pobre)	BUENO
Registro fotográfico - Temporada seca	
	



Fotografía 1: Ubicación de la Unidad Muestral BOF-01 (4) (Transecto de 50 m)



Fotografía 2: Identificación de zonas con presencia de signos de erosión moderados.

Servicios ecosistémicos:

Los principales servicios brindados son: (1) Servicios de soporte por la formación de turba y de refugios potenciales para la fauna silvestre; (2) Provisión, ya que brindan forraje para el ganado y agua para alimentar lagunas que se ubican en partes bajas de las cuencas receptoras, animales y los pobladores; y (3) Regulación, porque purifican, almacenan y regulan el flujo hídrico.

Estado de conservación

(Muy bueno, Bueno, Regular, Pobre, Muy pobre)

BUENO

Registro fotográfico - Temporada seca

Fotografía 1: Ubicación de la Unidad Muestral BOF-01 (5) (Transecto de 50 m)



Fotografía 2: Identificación de surcos y empozamientos de agua en la unidad muestral.

Tipo de Ecosistema (Bofedal o laguna)	BOFEDAL	Código:	BOF-01 (6)
Localización (Departamento, provincia, distrito)	C.C. Chocñihuaqui, distrito de Cayarani, provincia de Condesuyos, Arequipa		
Coordenadas (UTM WGS 84 - Zona 18)	E: 792762.00	N: 8354117.00	Altitud: 4740 m.s.n.m.
Relieve (colina, cerros, cuenca, quebrada, etc.)			

	Unidad muestral ubicada en una zona llana de pendiente que va desde 0 a 5° correspondiente a superficies planas a suavemente inclinadas.	
Calidad de agua (Parámetros fisicoquímicos)	pH : 5.5 Temp (°C) : 6.6	CE (µS/cm) : 47.6 OD (mg/l) : 2.7
Condición del suelo y biota	Materia orgánica (%) : 65.29 Densidad aparente (g/cm³) : 0.11 Cobertura vegetal viva (%) : 90,5	
Especies representativas (Indicadores, clave, predominantes, entre otros) *Consultado en POWO-2025	Flora: Las especies más dominantes fueron <i>Distichia muscoides</i> , <i>Rockhausenia pygmaea</i> , <i>Phylloscirpus acaulis</i> , <i>Lilaeopsis occidentalis</i> y <i>Cinnagrostis rigescens</i> Las cuales son especies representativas de bofedal según las referencias bibliográficas revisadas.	
	Fauna: Se registraron fecas de camélidos altoandinos en las zonas circundantes.	
Cobertura vegetal (Mayores a 60%, 60-20%, menores al 20%)	Se encontró una cobertura vegetal viva del 90.5%. La cobertura vegetal fue uniforme en la que predominaron las almohadillas de <i>Distichia muscoides</i> .	
Conectividad (alta, media, baja, sin conectividad)	Ponderación “A” debido a que no se encontraron alteraciones en las fuentes de agua que alimentan directamente al bofedal en esta unidad muestral.	
Signos de erosión	Ponderación “A” . Se observan signos de erosión menores al 5% en esta unidad muestral.	
Factores de degradación	Ponderación “B” . Se Identificaron dos signos de alteración: Alteraciones hidrológicas y ganadería en el bofedal ambas en baja intensidad y abundancia.	
Servicios ecosistémicos: Los principales servicios brindados son: (1) Servicios de soporte por la formación de turba y de refugios potenciales para la fauna silvestre; (2) Provisión, ya que brindan forraje para el ganado y agua para alimentar lagunas que se ubican en partes bajas de las cuencas receptoras, animales y los pobladores; y (3) Regulación, porque purifican, almacenan y regulan el flujo hídrico.		
Estado de conservación (Muy bueno, Bueno, Regular, Pobre, Muy pobre)	BUENO	
Registro fotográfico - Temporada seca		



Fotografía 1: Ubicación de la Unidad Muestral BOF-01 (6) (Transecto de 50 m)



Fotografía 2: Identificación de surcos y canales de agua, lo que favorece la conectividad hidrológica en esta unidad muestral.

Tipo de Ecosistema (Bofedal o laguna)	BOFEDAL	Código:	BOF-01 (7)
Localización (Departamento, provincia, distrito)	C.C. Chocñihuaqui, distrito de Cayarani, provincia de Condesuyos, Arequipa		
Coordenadas (UTM WGS 84 - Zona 18)	E: 792295.00	N: 8353918.00	Altitud: 4761 m.s.n.m.
Relieve (colina, cerros, cuenca, quebrada, etc.)	 Unidad muestral ubicada en una zona llana de pendiente que va desde 0 a 5° correspondiente a superficies planas a suavemente inclinadas. Se observan canales y empozamientos de agua con profundidades moderadas.		
Calidad de agua (Parámetros fisicoquímicos)	pH : 5.8 CE (μS/cm) : 5.9 Temp (°C) : 7.3 OD (mg/l) : 3.5		
Condición del suelo y biota	Materia orgánica (%): 7.79 Densidad aparente (g/cm³): 0.32 Cobertura vegetal viva (%): 85.8		
Especies representativas (Indicadores, clave, predominantes, entre otros) *Consultado en POWO-2025	Flora: Las especies más dominantes fueron <i>Oxychloe andina</i>, <i>Rockhausenia pygmaea</i> y <i>Phylloscirus acaulis</i>. Su presencia determina zonas con excelentes condiciones hídricas además son especies características de bofedal según la bibliografía revisada		
	Fauna: Se registraron fecas de camélidos altoandinos en las zonas circundantes.		
Cobertura vegetal (Mayores a 60%, 60-20%, menores al 20%)	Se encontró una cobertura vegetal viva del 85.8%. El resto de las áreas corresponde a empozamientos de agua y surcos naturales de profundidad moderada.		
Conectividad (alta, media, baja, sin conectividad)	Ponderación “A” debido a que no se encontraron alteraciones en las fuentes de agua que alimentan directamente al bofedal en esta unidad muestral.		
Signos de erosión	Ponderación “A”. Se observan signos de erosión menores al 5% en esta unidad muestral.		

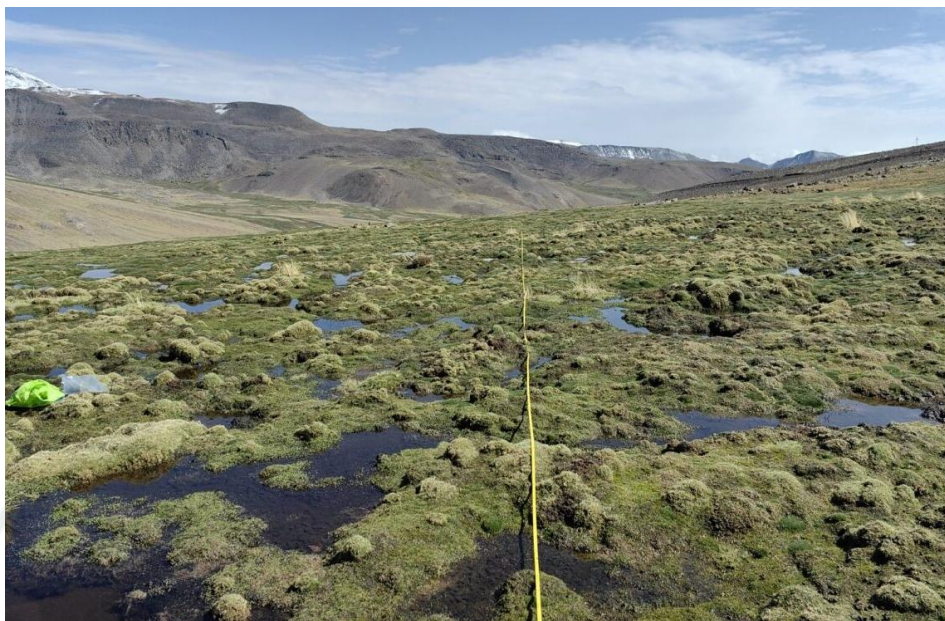
Factores de degradación	Ponderación “A”. Se presenta solo un factor de degradación (ganadería) en esta unidad muestral en baja intensidad y abundancia
Servicios ecosistémicos: Los principales servicios brindados son: (1) Servicios de soporte por la formación de turba y de refugios potenciales para la fauna silvestre; (2) Provisión, ya que brindan forraje para el ganado y agua para alimentar lagunas que se ubican en partes bajas de las cuencas receptoras, animales y los pobladores; y (3) Regulación, porque purifican, almacenan y regulan el flujo hídrico.	
Estado de conservación (Muy bueno, Bueno, Regular, Pobre, Muy pobre)	MUY BUENO
Registro fotográfico - Temporada seca	
	
Fotografía 1: Ubicación de la Unidad Muestral BOF-01 (7) (Transecto de 50 m)	



Fotografía 2: Identificación de zonas de empozamiento de agua, además no se observan factores de degradación considerables en la UM.

Tipo de Ecosistema (Bofedal o laguna)	BOFEDAL	Código:	BOF-02 (1)
Localización (Departamento, provincia, distrito)	C.C. Chocñihuaqui, distrito de Cayarani, provincia de Condesuyos, Arequipa		
Coordenadas (UTM WGS 84 - Zona 18)	E: 792288.00	N: 8351933.00	Altitud: 4873 m.s.n.m.
Relieve (colina, cerros, cuenca, quebrada, etc.)			

	Unidad muestral ubicada en una zona llana de pendiente que va desde 0 a 5° (relieve plano o suavemente inclinado). Presenta algunos surcos con agua de poca profundidad en la extensión del área de estudio.	
Calidad de agua (Parámetros fisicoquímicos)	pH : 6.2 Temp (°C) : 8	CE (µS/cm) : 42 OD (mg/l) : 2.5
Condición del suelo y biota	Materia orgánica (%): 71.2 Densidad aparente (g/cm³): 0.14 Cobertura vegetal viva (%): 80	
Especies representativas (Indicadores, clave, predominantes, entre otros) *Consultado en POWO-2025	Flora: Las especies más dominantes fueron <i>Distichia muscoides</i> , <i>Alchemilla diplophylla</i> , <i>Lobelia oligophylla</i> y <i>Phylloscirpus acaulis</i> .	
	Fauna: Se registraron fecas de camélidos altoandinos en las zonas circundantes.	
Cobertura vegetal (Mayores a 60%, 60-20%, menores al 20%)	Se encontró una cobertura vegetal viva del 80%. La cobertura vegetal fue uniforme en su mayoría, algunas áreas presentaron surcos de agua y leves signos de erosión.	
Conectividad (alta, media, baja, sin conectividad)	Ponderación “A” debido a que no se encontraron alteraciones en las fuentes de agua que alimentan directamente al bofedal en esta unidad muestral.	
Signos de erosión	Ponderación “A”. Se observan signos de erosión menores al 10% en esta unidad muestral.	
Factores de degradación	Ponderación “B”. Se Identificaron dos signos de alteración: Alteraciones hidrológicas y ganadería en el bofedal ambas en baja intensidad y abundancia.	
Servicios ecosistémicos: Los principales servicios brindados son: (1) Servicios de soporte por la formación de turba y de refugios potenciales para la fauna silvestre; (2) Provisión, ya que brindan forraje para el ganado y agua para alimentar lagunas que se ubican en partes bajas de las cuencas receptoras, animales y los pobladores; y (3) Regulación, porque purifican, almacenan y regulan el flujo hídrico.		
Estado de conservación (Muy bueno, Bueno, Regular, Pobre, Muy pobre)	BUENO	
Registro fotográfico - Temporada seca		



Fotografía 1: Ubicación de la Unidad Muestral BOF-02 (1) (Transecto de 50 m)



Fotografía 2: Identificación de zonas levemente erosionadas (menores al 10%) y surcos de agua en la unidad muestral.

Tipo de Ecosistema (Bofedal o laguna)	BOFEDAL	Código:	BOF-02 (2)
Localización (Departamento, provincia, distrito)	C.C. Chocñihuaqui, distrito de Cayarani, provincia de Condesuyos, Arequipa		
Coordenadas (UTM WGS 84 - Zona 18)	E: 792075.00	N: 8352135.00	Altitud: 4828 m.s.n.m.
Relieve (colina, cerros, cuenca, quebrada, etc.)	 Unidad muestral ubicada en una zona con pendiente levemente inclinada que va desde 5° a 10°. Esta unidad presenta un buen estado debido a la distribución de los surcos de agua identificados en la unidad muestral lo cual favorece el crecimiento de cojines de <i>Distichia muscoides</i>.		
Calidad de agua (Parámetros fisicoquímicos)	pH : 5.5 Temp (°C) : 6.2 CE (µS/cm) : 30 OD (mg/l) : 2.9		
Condición del suelo y biota	Materia orgánica (%): 66.1 Densidad aparente (g/cm³): 0.15 Cobertura vegetal viva (%): 76.67		
Especies representativas (Indicadores, clave, predominantes, entre otros) *Consultado en POWO-2025	Flora: Las especies más dominantes fueron <i>Distichia muscoides</i>, <i>Cinnagrostis rigescens</i> y <i>Cinnagrostis jamesonii</i> Fauna: Se registró gran cantidad de camélidos altoandinos en las zonas circundantes.		
Cobertura vegetal (Mayores a 60%, 60-20%, menores al 20%)	Se encontró una cobertura vegetal viva del 76.67%. La cobertura vegetal fue uniforme en su mayoría, sin embargo, se evidenció algunos signos de desplazamiento de las especies propias del bofedal.		
Conectividad (alta, media, baja, sin conectividad)	Ponderación “A” debido a que no se encontraron alteraciones en las fuentes de agua que alimentan directamente al bofedal en esta unidad muestral.		
Signos de erosión	Ponderación “A” . Se observan signos de erosión menores al 10% en esta unidad muestral.		

Factores de degradación	Ponderación “B”. Se Identificó un signo de alteración: Ganadería en alta abundancia y baja intensidad.
Servicios ecosistémicos: Los principales servicios brindados son: (1) Servicios de soporte por la formación de turba y de refugios potenciales para la fauna silvestre; (2) Provisión, ya que brindan forraje para el ganado y agua para alimentar lagunas que se ubican en partes bajas de las cuencas receptoras, animales y los pobladores; y (3) Regulación, porque purifican, almacenan y regulan el flujo hídrico.	
Estado de conservación (Muy bueno, Bueno, Regular, Pobre, Muy pobre)	BUENO
Registro fotográfico - Temporada seca	
	
Fotografía 1: Ubicación de la Unidad Muestral BOF-02 (2) (Transecto de 50 m)	



Fotografía 2: Presencia de gran cantidad de camélidos altoandinos en las zonas circundantes a la unidad muestral.

Tipo de Ecosistema (Bofedal o laguna)	BOFEDAL	Código:	BOF-02 (3)
Localización (Departamento, provincia, distrito)	C.C. Chocñihuaqui, distrito de Cayarani, provincia de Condesuyos, Arequipa		
Coordenadas (UTM WGS 84 - Zona 18)	E: 791702.00	N: 8352479.00	Altitud: 4788 m.s.n.m.
Relieve (colina, cerros, cuenca, quebrada, etc.)			

	Unidad muestral ubicada en una zona llana de pendiente que va desde 0 a 5°. Esta unidad presenta una distribución uniforme de surcos de agua de profundidad moderada lo cual favorece el crecimiento de la vegetación.	
Calidad de agua (Parámetros fisicoquímicos)	pH : 5.18 Temp (°C) : 6.7	CE (µS/cm) : 23.6 OD (mg/l) : 1.3
Condición del suelo y biota	Materia orgánica (%): 67.71 Densidad aparente (g/cm³): 0.12 Cobertura vegetal viva (%): 88.33	
Especies representativas (Indicadores, clave, predominantes, entre otros) *Consultado en POWO-2025	Flora: Las especies más dominantes fueron <i>Alchemilla diplophylla</i> , <i>Ourisia muscosa</i> y <i>Rockhausenia pygmaea</i>	
	Fauna: Se registró gran cantidad de camélidos altoandinos en la zona.	
Cobertura vegetal (Mayores a 60%, 60-20%, menores al 20%)	Se encontró una cobertura vegetal viva del 88.33%. La cobertura vegetal fue uniforme en su mayoría, algunas áreas presentaron surcos de agua y signos de erosión.	
Conectividad (alta, media, baja, sin conectividad)	Ponderación “A” debido a que no se encontraron alteraciones en las fuentes de agua que alimentan directamente al bofedal en esta unidad muestral.	
Signos de erosión	Ponderación “B” se observan signos de erosión laminar superficial en el 20 % del área.	
Factores de degradación	Ponderación “B”. Se identificaron un signo de alteración: Ganadería en el bofedal, ambas en baja abundancia y alta intensidad.	
Servicios ecosistémicos: Los principales servicios brindados son: (1) Servicios de soporte por la formación de turba y de refugios potenciales para la fauna silvestre; (2) Provisión, ya que brindan forraje para el ganado y agua para alimentar lagunas que se ubican en partes bajas de las cuencas receptoras, animales y los pobladores; y (3) Regulación, porque purifican, almacenan y regulan el flujo hídrico.		
Estado de conservación (Muy bueno, Bueno, Regular, Pobre, Muy pobre)	BUENO	
Registro fotográfico - Temporada seca		



Fotografía 1: Ubicación de la Unidad Muestral BOF-02 (3) (Transecto de 50 m)



Fotografía 2: Presencia de camélidos altoandinos en el área de estudio.

Tipo de Ecosistema (Bofedal o laguna)	BOFEDAL	Código:	BOF-02 (4)
---	---------	----------------	------------

Localización (Departamento, provincia, distrito)	C.C. Chocñihuaqui, distrito de Cayarani, provincia de Condesuyos, Arequipa		
Coordenadas (UTM WGS 84 - Zona 18)	E: 791984.00	N: 8352785.00	Altitud: 4758 m.s.n.m.
Relieve (colina, cerros, cuenca, quebrada, etc.)	 Unidad muestral ubicada en una zona llana de pendiente que va desde 0 a 5°. Esta unidad presenta algunos surcos de agua de profundidad moderada, además se ubica en la parte baja de una ladera adyacente.		
Calidad de agua (Parámetros fisicoquímicos)	pH : 6.37 CE (μS/cm) : 58.5 Temp (°C) : 7 OD (mg/l) : 3.5		
Condición del suelo y biota	Materia orgánica (%) : 48.1 Densidad aparente (g/cm³) : 0.19 Cobertura vegetal viva (%) : 85.00		
Especies representativas (Indicadores, clave, predominantes, entre otros) *Consultado en POWO-2025	Flora: Las especies más dominantes fueron <i>Distichia muscoides</i> , <i>Rockhausenia pygmaea</i> , <i>Phylloscirpus acaulis</i> y <i>Carex lemanniana</i> Fauna: Se registró gran cantidad de camélidos altoandinos en la zona.		
Cobertura vegetal (Mayores a 60%, 60-20%, menores al 20%)	Se encontró una cobertura vegetal viva del 85.00%. La cobertura vegetal fue uniforme, sin embargo, se observaron zonas con surcos de agua y signos de erosión.		
Conectividad (alta, media, baja, sin conectividad)	Ponderación “A” debido a que no se encontraron alteraciones en las fuentes de agua que alimentan directamente al bofedal en esta unidad muestral.		
Signos de erosión	Ponderación “B” se observan signos de erosión laminar superficial en el 20 % del área.		
Factores de degradación	Ponderación “B”. Se identificaron dos signos de alteración: Alteraciones hidrológicas y ganadería en el bofedal, ambas en baja intensidad y abundancia.		

Servicios ecosistémicos:

Los principales servicios brindados son: (1) Servicios de soporte por la formación de turba y de refugios potenciales para la fauna silvestre; (2) Provisión, ya que brindan forraje para el ganado y agua para alimentar lagunas que se ubican en partes bajas de las cuencas receptoras, animales y los pobladores; y (3) Regulación, porque purifican, almacenan y regulan el flujo hídrico.

Estado de conservación
(Muy bueno, Bueno, Regular, Pobre, Muy pobre)

REGULAR

Registro fotográfico - Temporada seca

Fotografía 1: Ubicación de la Unidad Muestral BOF-02 (4) (Transecto de 50 m)



Fotografía 2: Vista de zona con evidentes signos de erosión ubicada adyacente a la unidad muestral

Tipo de Ecosistema (Bofedal o laguna)	BOFEDAL	Código:	BOF-02 (5)
Localización (Departamento, provincia, distrito)	C.C. Chocñihuaqui, distrito de Cayarani, provincia de Condesuyos, Arequipa		
Coordenadas (UTM WGS 84 - Zona 18)	E: 792131.00	N: 8353106.00	Altitud: 4742 m.s.n.m.
Relieve (colina, cerros, cuenca, quebrada, etc.)			

	Unidad muestral ubicada en una zona llana de pendiente que va desde 0 a 5°. Esta unidad se ubica en la parte baja de una ladera, presenta empozamientos de agua y surcos de profundidad moderada.	
Calidad de agua (Parámetros fisicoquímicos)	pH : 5.84 Temp (°C) : 7.2	CE (µS/cm) : 34.5 OD (mg/l) : 1.7
Condición del suelo y biota	Materia orgánica (%): 28.62 Densidad aparente (g/cm³): 0.24 Cobertura vegetal viva (%): 71.67	
Especies representativas (Indicadores, clave, predominantes, entre otros) *Consultado en POWO-2025	Flora: Las especies más dominantes fueron <i>Distichia muscoides</i> , <i>Lobelia oligophylla</i> , <i>Phylloscirpus acaulis</i> y <i>Rockhausenia microphylla</i>	
	Fauna: Se registró gran cantidad de camélidos altoandinos en las zonas circundantes.	
Cobertura vegetal (Mayores a 60%, 60-20%, menores al 20%)	Se encontró una cobertura vegetal viva del 71.67%. La cobertura vegetal fue uniforme en su mayoría, algunas áreas presentaron empozamientos y surcos de agua.	
Conectividad (alta, media, baja, sin conectividad)	Ponderación “A” debido a que no se encontraron alteraciones en las fuentes de agua que alimentan directamente al bofedal en esta unidad muestral.	
Signos de erosión	Ponderación “B” se observan signos de erosión laminar superficial en el 15 % del área.	
Factores de degradación	Ponderación “B”. Se identificaron dos signos de alteración: Alteraciones hidrológicas y ganadería en el bofedal, ambas en baja intensidad y abundancia.	
Servicios ecosistémicos: Los principales servicios brindados son: (1) Servicios de soporte por la formación de turba y de refugios potenciales para la fauna silvestre; (2) Provisión, ya que brindan forraje para el ganado y agua para alimentar lagunas que se ubican en partes bajas de las cuencas receptoras, animales y los pobladores; y (3) Regulación, porque purifican, almacenan y regulan el flujo hídrico.		
Estado de conservación (Muy bueno, Bueno, Regular, Pobre, Muy pobre)	BUENO	
Registro fotográfico - Temporada seca		



Fotografía 1: Ubicación de la Unidad Muestral BOF-02 (5) (Transecto de 50 m)



Fotografía 2: Vista panorámica de la cobertura vegetal de la unidad muestral.

Tipo de Ecosistema (Bofedal o laguna)	BOFEDAL	Código:	BOF-02 (6)
Localización (Departamento, provincia, distrito)	C.C. Chocñihuaqui, distrito de Cayarani, provincia de Condesuyos, Arequipa		
Coordenadas (UTM WGS 84 - Zona 18)	E: 792507.00	N: 8353352.00	Altitud: 4726 m.s.n.m.
Relieve (colina, cerros, cuenca, quebrada, etc.)	 Unidad muestral ubicada en una zona llana de pendiente que va desde 0 a 5°. Esta unidad presenta una amplia distribución de surcos de agua lo cual favorece el crecimiento de cojines de <i>Distichia muscoides</i>,		
Calidad de agua (Parámetros fisicoquímicos)	pH : 5.5 Temp (°C) : 7.9 CE (µS/cm) : 46 OD (mg/l) : 1.6		
Condición del suelo y biota	Materia orgánica (%) : 70.67 Densidad aparente (g/cm³) : 0.11 Cobertura vegetal viva (%) : 78.33		
Especies representativas (Indicadores, clave, predominantes, entre otros) *Consultado en POWO-2025	Flora: Las especies más dominantes fueron <i>Distichia muscoides</i> , <i>Phylloscirpus acaulis</i> , <i>Rockhausenia microphylla</i> y <i>Rockhausenia pygmaea</i>		
	Fauna: Se registraron fecas de camélidos altoandinos en la zona.		
Cobertura vegetal (Mayores a 60%, 60-20%, menores al 20%)	Se encontró una cobertura vegetal viva del 78.33%. La cobertura vegetal fue uniforme, se observó la presencia de una amplia distribución de surcos de agua lo cual favoreció el desarrollo de la vegetación.		
Conectividad (alta, media, baja, sin conectividad)	Ponderación “B” debido a que identificó 02 canales de agua que se dirigían hacia una cabaña local. Sin embargo, la conectividad del ecosistema no se percibía alterada.		

Signos de erosión	Ponderación “B” se observan signos de erosión laminar superficial en el 12 % del área.
Factores de degradación	Ponderación “B”. Se identificaron dos signos de alteración: Alteraciones hidrológicas y ganadería en el bofedal, ambas en baja intensidad y abundancia.
Servicios ecosistémicos: Los principales servicios brindados son: (1) Servicios de soporte por la formación de turba y de refugios potenciales para la fauna silvestre; (2) Provisión, ya que brindan forraje para el ganado y agua para alimentar lagunas que se ubican en partes bajas de las cuencas receptoras, animales y los pobladores; y (3) Regulación, porque purifican, almacenan y regulan el flujo hídrico.	
Estado de conservación (Muy bueno, Bueno, Regular, Pobre, Muy pobre)	BUENO
Registro fotográfico - Temporada seca	
	
Fotografía 2: Ubicación de la Unidad Muestral BOF-02 (6) (Transecto de 50 m)	



Fotografía 2: Identificación de surcos de agua en la unidad muestral.

Anexo N° 5. Imágenes Sentinel 1 y 2A seleccionadas

Granulo ID	Colección
S1A_IW_GRDH_1SDV_20230704T102405_20230704T102430_049272_05ECC8_F89B	Sentinel 1
S1A_IW_GRDH_1SDV_20230705T231703_20230705T231728_049294_05ED71_A77C	
S1A_IW_GRDH_1SDV_20230716T102406_20230716T102431_049447_05F233_8789	
S1A_IW_GRDH_1SDV_20230717T231704_20230717T231729_049469_05F2D4_B1CF	
S1A_IW_GRDH_1SDV_20230728T102407_20230728T102432_049622_05F792_1602	
S1A_IW_GRDH_1SDV_20230729T231705_20230729T231730_049644_05F840_12E7	
S1A_IW_GRDH_1SDV_20230809T102407_20230809T102432_049797_05FD1A_4F5A	
S1A_IW_GRDH_1SDV_20230810T231705_20230810T231730_049819_05FDCD_260C	
S1A_IW_GRDH_1SDV_20230821T102408_20230821T102433_049972_060314_91B4	
S1A_IW_GRDH_1SDV_20230822T231706_20230822T231731_049994_0603C9_5CBC	
S1A_IW_GRDH_1SDV_20230902T102409_20230902T102434_050147_060919_9A39	
S1A_IW_GRDH_1SDV_20230903T231707_20230903T231732_050169_0609C9_B868	
S1A_IW_GRDH_1SDV_20230914T102409_20230914T102434_050322_060F04_6B6C	
S1A_IW_GRDH_1SDV_20230915T231707_20230915T231732_050344_060FB5_D177	
S1A_IW_GRDH_1SDV_20230926T102409_20230926T102434_050497_061503_F7C7	
S1A_IW_GRDH_1SDV_20230927T231708_20230927T231733_050519_0615B3_8298	
S1A_IW_GRDH_1SDV_20231008T102409_20231008T102434_050672_061B04_D6DD	
S1A_IW_GRDH_1SDV_20231009T231708_20231009T231733_050694_061BB5_B103	
S1A_IW_GRDH_1SDV_20231020T102410_20231020T102435_050847_0620FA_0DE5	
S1A_IW_GRDH_1SDV_20231021T231708_20231021T231733_050869_0621A8_ED08	
L2A_T18LYJ_A041935_20230703T150449	Sentinel 2A
L2A_T18LZJ_A041935_20230703T150449	
L2A_T18LYJ_A033098_20230708T145812	
L2A_T18LZJ_A033098_20230708T145812	
L2A_T18LYJ_A042078_20230713T150026	
L2A_T18LZJ_A042078_20230713T150026	
L2A_T18LYJ_A033241_20230718T145802	
L2A_T18LZJ_A033241_20230718T145802	
L2A_T18LYJ_A042221_20230723T150420	
L2A_T18LZJ_A042221_20230723T150420	
L2A_T18LYJ_A033384_20230728T145748	
L2A_T18LZJ_A033384_20230728T145748	
L2A_T18LYJ_A042364_20230802T150413	
L2A_T18LZJ_A042364_20230802T150413	
L2A_T18LZJ_A033527_20230807T145729	
L2A_T18LYJ_A042650_20230822T150012	
L2A_T18LZJ_A042650_20230822T150012	
L2A_T18LYJ_A033813_20230827T145938	

L2A_T18LZJ_A033813_20230827T145938
L2A_T18LYJ_A042936_20230911T150044
L2A_T18LZJ_A042936_20230911T150044
L2A_T18LYJ_A034099_20230916T150009
L2A_T18LZJ_A034099_20230916T150009
L2A_T18LYJ_A043079_20230921T150602
L2A_T18LZJ_A043079_20230921T150602
L2A_T18LYJ_A034242_20230926T150056
L2A_T18LZJ_A034242_20230926T150056
L2A_T18LYJ_A034385_20231006T145724
L2A_T18LZJ_A034385_20231006T145724
L2A_T18LYJ_A043365_20231011T150312
L2A_T18LZJ_A043365_20231011T150312
L2A_T18LYJ_A034528_20231016T150642
L2A_T18LYJ_A034671_20231026T145729
L2A_T18LZJ_A034671_20231026T145729
L2A_T18LYJ_A043651_20231031T145723
L2A_T18LZJ_A043651_20231031T145723
L2A_T18LYJ_A043937_20231120T150011
L2A_T18LZJ_A043937_20231120T150011
L2A_T18LYJ_A035243_20231205T150647
L2A_T18LZJ_A035243_20231205T150647
L2A_T18LYJ_A044366_20231220T150654
L2A_T18LYJ_A035529_20231225T145725
L2A_T18LYJ_A044652_20240109T150653
L2A_T18LZJ_A044652_20240109T150653
L2A_T18LYJ_A036816_20240324T150021
L2A_T18LZJ_A036816_20240324T150021
L2A_T18LYJ_A037102_20240413T150546
L2A_T18LYJ_A046082_20240418T150436
L2A_T18LZJ_A046082_20240418T150436
L2A_T18LYJ_A046225_20240428T150444
L2A_T18LZJ_A046225_20240428T150444
L2A_T18LYJ_A046368_20240508T145726
L2A_T18LZJ_A046368_20240508T145726
L2A_T18LYJ_A037531_20240513T150335
L2A_T18LZJ_A037531_20240513T150335
L2A_T18LYJ_A046511_20240518T145954
L2A_T18LZJ_A046511_20240518T145954
L2A_T18LYJ_A037674_20240523T150545
L2A_T18LZJ_A037674_20240523T150545
L2A_T18LYJ_A046654_20240528T150533
L2A_T18LZJ_A046654_20240528T150533
L2A_T18LYJ_A037817_20240602T150543

L2A_T18LZJ_A037817_20240602T150543
L2A_T18LYJ_A046797_20240607T150237
L2A_T18LZJ_A046797_20240607T150237
L2A_T18LYJ_A037960_20240612T145727
L2A_T18LZJ_A037960_20240612T145727
L2A_T18LYJ_A046940_20240617T145730
L2A_T18LZJ_A046940_20240617T145730
L2A_T18LYJ_A038103_20240622T150548
L2A_T18LZJ_A038103_20240622T150548
L2A_T18LYJ_A047083_20240627T145727
L2A_T18LZJ_A047083_20240627T145727
L2A_T18LYJ_A038246_20240702T150014
L2A_T18LZJ_A038246_20240702T150014
L2A_T18LYJ_A047226_20240707T150311
L2A_T18LZJ_A047226_20240707T150311
L2A_T18LYJ_A038389_20240712T150547
L2A_T18LZJ_A038389_20240712T150547
L2A_T18LYJ_A047369_20240717T150257
L2A_T18LZJ_A047369_20240717T150257
L2A_T18LZJ_A038532_20240722T150147
L2A_T18LYJ_A047512_20240727T150027
L2A_T18LZJ_A047512_20240727T150027
L2A_T18LYJ_A038675_20240801T150321
L2A_T18LZJ_A038675_20240801T150321
L2A_T18LYJ_A047655_20240806T150052
L2A_T18LZJ_A047655_20240806T150052
L2A_T18LYJ_A038818_20240811T150542
L2A_T18LZJ_A038818_20240811T150542
L2A_T18LYJ_A047798_20240816T150300
L2A_T18LZJ_A047798_20240816T150300
L2A_T18LYJ_A038961_20240821T150140
L2A_T18LZJ_A038961_20240821T150140
L2A_T18LZJ_A047941_20240826T150008
L2A_T18LYJ_A039104_20240831T150212
L2A_T18LZJ_A039104_20240831T150212
L2A_T18LYJ_A048084_20240905T150028
L2A_T18LZJ_A048084_20240905T150028
L2A_T18LYJ_A039247_20240910T145835
L2A_T18LZJ_A039247_20240910T145835
L2A_T18LYJ_A048227_20240915T145723
L2A_T18LZJ_A048227_20240915T145723
L2A_T18LYJ_A039390_20240920T145901
L2A_T18LZJ_A039390_20240920T145901
L2A_T18LZJ_A048370_20240925T145726

L2A_T18LYJ_A039676_20241010T150521	
L2A_T18LZJ_A039676_20241010T150521	
L2A_T18LYJ_A039819_20241020T150543	
L2A_T18LZJ_A039819_20241020T150543	

