

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE HUANTA
FACULTAD DE INGENIERÍA Y GESTIÓN
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL



TESIS

“Estado de salud de los bofedales de Razuhuilca (Huanta - Ayacucho), durante el periodo 2017 - 2023 mediante técnicas de teledetección”

PARA OPTAR AL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO AMBIENTAL

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN

Ecología

TESISTA:

Ayala Sosa, Gimena Zarahit

ASESORES:

Dr. PhD. Walter Victor Castro Aponte
Dr. Tulio Celestino Paytan Montañez)

HUANTA - PERÚ
2026

Reporte de similitud

NOMBRE DEL TRABAJO

TESIS FINAL.docx

AUTOR

Gimena Zarahit Ayala Sosa

RECuento DE PALABRAS

18160 Words

RECuento DE CARACTERES

108751 Characters

RECuento DE PÁGINAS

120 Pages

TAMAÑO DEL ARCHIVO

61.8MB

FECHA DE ENTREGA

Aug 12, 2026 3:44 PM GMT-5

FECHA DEL INFORME

Aug 12, 2026 3:47 PM GMT-5

● 4% de similitud general

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

- 3% Base de datos de Internet
- 0% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de Crossref
- Base de datos de contenido publicado de Crossref
- 2% Base de datos de trabajos entregados

● Excluir del Reporte de Similitud

- Material bibliográfico
- Material citado
- Material citado
- Coincidencia baja (menos de 15 palabras)



MSc PhD Wilmer Victor Castro Aponte
DOCENTE - INVESTIGADOR



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE HUANTA

Creada por Ley N° 29658

FACULTAD DE INGENIERÍA Y GESTIÓN

"Año la Esperanza y el Fortalecimiento de la Democracia"

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERA AMBIENTAL

En la ciudad de Huanta, en el auditorio de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental del campus universitario de la Universidad Nacional Autónoma de Huanta, ubicado en la autopista Carlos Ch. Hiraoka, desvío a Ccollana, a los 6 días del mes de julio de 2026, siendo las 17:00 horas, se dio inicio al acto académico de sustentación de tesis con la presencia de los miembros del jurado calificador:

Mtro. Yomer Cisneros Aguirre
Mtro. Fernando Gari Huayhua Levano
Ph. D. Walter Victor Castro Aponte

Miembro (Accesitario)
Miembro titular 2
Miembro titular 3

Acto seguido se procedió a dar lectura a la Resolución de Vicepresidencia Académica N° 109-2026-CO-UNAH, en la que señala fecha, hora y designación de jurado evaluador para la sustentación de tesis de la **Bach. Gimena Zarahit Ayala Sosa**, con la tesis titulada: **"Estado de salud de los bofedales de Razuhuilca (Huanta – Ayacucho), durante el periodo 2017 – 2023 mediante técnicas de teledetección"**; asesorado por el Ph.D. Walter Victor Castro Aponte y Coasesor el Dr. Tulio Celestino Paytan Montañez, para optar el Título profesional de: Ingeniería Ambiental.

Observaciones:

.....
.....
.....

Terminada la sustentación se procedió a la formulación de preguntas por los miembros del jurado evaluadores, los mismos que fueron defendidos y absueltos por la tesista. Acto seguido se procedió a calificar con el resultado siguiente:

Aprobado Regular	(✓)
Aprobado Bueno	()
Aprobado Muy Bueno	()
Aprobado Excelente	()

Con la calificación de TRECE (13)

Siendo las 17:56 se da por finalizada el acto académico de sustentación de tesis pasando a firmar los miembros del jurado evaluador.


Mtro. Yomer Cisneros Aguirre
Miembro (Accesitario)


Mtro. Fernando Gari Huayhua Levano
Miembro Titular 2


PhD. Walter Victor Castro Aponte
Miembro Titular 3

**“ESTADO DE SALUD DE LOS BOFEDALES DE RAZUHUILLCA (HUANTA –
AYACUCHO), DURANTE EL PERIODO 2017 – 2023 MEDIANTE TÉCNICAS DE
TELEDETECCIÓN”**

TESISTA

Bach. Gimena Zarahit Ayala Sosa

ASESOR

Dr. PhD. Walter Victor Castro Aponte

CO – ASESOR

Dr. Tulio Celestino Paytan Montañez

Dedicatoria

Este trabajo va dedicado en primer lugar a Dios, por ser mi guía y fortaleza en cada paso de este camino, por darme la sabiduría y perseverancia necesaria para no rendirme ante las dificultades.

A mis padres, Raquel Sosa Méndez y Rooney Ayala Huayanay, por su amor infinito, apoyo incondicional y sacrificio constante, por ser el pilar fundamental de este logro. A quien confió en mí desde el inicio, dándome los ánimos para vencer cada obstáculo y llegar a la meta; sabes que este logro también te pertenece. Asimismo, dedico este logro a mi familia y a todas las personas que me alentaron y acompañaron en este proceso, contribuyendo con hacer realidad este objetivo profesional.

Agradecimientos

A mis padres, Raquel y Rooney, por su sacrificio y apoyo incondicional. Gracias por creer en mí y ser el motor de este logro.

A la Universidad Nacional Autónoma de Huanta y a la Escuela Profesional de Ingeniería y Gestión Ambiental, por el respaldo institucional y la oportunidad de realizar una pasantía académica en la Universidad de Cambridge en Reino Unido, experiencia que amplió mi visión académica y científica para llevar a cabo esta investigación.

Agradezco a mis abuelos, Justina y Alicia cuya memoria y valores guían mi camino desde el cielo; y a José y Constantino, por su amor incondicional y apoyo constante, pilares fundamentales en la consecución de este logro profesional.

Asimismo, agradezco sincera y profundamente al Dr. Walter Victor Castro Aponte y el Dr. Tulio Celestino Paytan Montañez, asesor y coasesor de tesis, por su rigurosidad científica y acompañamiento permanente y valiosa orientación metodológica, factores determinantes en la solidez y calidad de esta investigación.

Finalmente, al equipo científico de la Universidad de Cambridge, integrado por los doctores Eustace Barnes, Hugo Lepage, John Forrest y Luis de los Santos Valladares, por el su asesoría especializadas y aportes técnicos de alto nivel científico, los cuales fueron esenciales para robustecer el enfoque, la solidez y el rigor académico y la proyección de este trabajo, influyendo de manera significativa no sólo en los resultados obtenidos, sino también en el fortalecimiento de mi formación investigativa y proyección profesional.

Resumen

Los bofedales altoandinos constituyen ecosistemas estratégicos para la regulación hídrica, la conservación de la biodiversidad y la mitigación del cambio climático. A pesar de su importancia, en la microcuenca Razuhuillca (Ayacucho, Perú) su monitoreo es limitado, lo que restringe una gestión sostenible y oportuna. El presente estudio tuvo como objetivo evaluar el estado de salud de los bofedales durante el periodo 2017–2023 mediante técnicas de teledetección basadas en los índices NDVI y NDWI, complementadas con validaciones directas de campo. Se analizaron imágenes Sentinel-2 y se seleccionaron ocho puntos de muestreo distribuidos en las provincias de Huanta y La Mar. Los resultados mostraron que los bofedales mantienen una cobertura vegetal vigorosa, con valores de NDVI entre 0.38 y 0.74, y una adecuada capacidad de retención hídrica ($NDWI > 0.04$). Estas condiciones reflejan un ecosistema bien conservado, aunque con fluctuaciones estacionales asociadas a la variabilidad climática. Las verificaciones en campo confirmaron la presencia de especies nativas, cuerpos de agua superficiales y una presión ganadera moderada que, aunque no compromete de inmediato la estabilidad ecológica, representa un riesgo a mediano plazo. En conclusión, el estado ecológico de los bofedales de Razuhuillca es favorable, pero vulnerable a presiones antrópicas, evidenciando la utilidad de integrar teledetección y validación directa en campo para su monitoreo y gestión sostenible.

Palabras clave: *Bofedales, NDVI, NDWI, Teledetección, Cobertura vegetal.*

Abstract

The high Andean wetlands constitute strategic ecosystems for water regulation, biodiversity conservation and climate change mitigation. Despite their importance, in the Razuhuillca micro-watershed (Ayacucho, Peru) is limited, which restricts sustainable and timely management. This study aimed to evaluate the health status of these wetlands during the 2017–2023 period using remote sensing techniques based on the NDVI and NDWI indices, complemented by direct field validations. Sentinel-2 images were analyzed and eight sampling points distributed across the provinces of Huanta and La Mar were selected. The results showed that the wetlands maintain a vigorous vegetation cover, with NDVI values between 0.38 and 0.74, and an adequate water retention capacity ($\text{NDWI} > 0.04$). These conditions reflect a well-preserved ecosystem, albeit with seasonal fluctuations associated with climate variability. Field verifications confirmed the presence of native species, surface water bodies, and moderate livestock pressure that, while not not immediately compromising ecological stability, represents a medium-term risk. In conclusion, the ecological status of the Razuhuillca wetlands is favorable, but vulnerable to anthropogenic pressures, demonstrating the utility of integrating remote sensing and direct field validation for their monitoring and sustainable management.

Keywords: Wetlands, NDVI, NDWI, Remote sensing, Vegetation cover.

Índice General

Resumen.....	ix
Abstract	x
Introducción	15
Planteamiento del Problema	16
Descripción del Problema	16
Formulación del Problema.....	18
Problema General.....	18
Problemas Específicos	19
Objetivos de la Investigación.....	19
Objetivo General	19
Objetivos Específicos.....	19
Justificación	20
Hipótesis	22
Hipótesis General.....	22
Hipótesis Específicas	23
Variable.....	24
Marco Teórico.....	25
Antecedentes del Problema.....	25
Antecedentes Internacionales.....	25

Antecedentes Nacionales	31
Antecedentes Locales.....	38
Bases Teóricas	40
Estado de Salud de Ecosistemas	40
Bofedales.....	41
Teledetección	41
Definiciones Conceptuales y Operacionales.....	41
Imágenes Satelitales.....	41
Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI).....	42
Índice de Agua de Diferencia Normalizada (NDWI)	42
Sistema Sensor	42
Sensores Pasivos	42
Imágenes Sentinel-2.....	43
Metodología	43
Tipo y Nivel de Investigación.....	43
Diseño de la Investigación	44
Ámbito Temporal y Espacial	44
Ámbito Temporal.....	44
Ámbito Espacial.....	44
Población y Muestra	46

Materiales y Recursos	57
Materiales y Equipos de campo	57
Materiales y Equipos para trabajo en gabinete	57
Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos	58
Técnicas	58
Instrumentos.....	58
Procedimiento	61
Fase Pre-Campo	61
Fase de Campo	62
Análisis de Datos	63
Procesamiento de imágenes satelitales	63
Análisis de observaciones de campo.....	64
Integración y validación cruzada	64
Resultados y Discusión	66
Resultados	66
Análisis Satelital	66
Observaciones en Campo.....	72
Integración y validación cruzada	84
Discusión.....	88
Conclusiones	92

Recomendaciones	93
Referencias Bibliográficas	96
Anexos	109
Anexo 1. Matriz de Consistencia	109
Anexo 2. Fichas de observación	110
Ficha de observación BR33	110
Ficha de observación BR30	111
Ficha de observación BR93	112
Ficha de observación BR90	113
Ficha de observación BR97	114
Ficha de observación BR80	115
Ficha de observación BT7	116
Ficha de observación BT59	117
Anexo 3. Panel Fotográfico del trabajo en campo	118

Introducción

Los bofedales altoandinos son humedales de vital importancia ecológica y social, al proveer servicios ambientales fundamentales como la regulación hídrica, el almacenamiento de carbono, la provisión de pastos para la ganadería altoandina y el hábitat de especies nativas.

Flores et al. (2014) destacan que estos ecosistemas no solo cumplen un rol crucial en la conservación de la biodiversidad, sino también en el sustento de las comunidades altoandinas, que dependen directamente de ellos. Sin embargo, actualmente enfrentan crecientes amenazas derivadas del cambio climático, la variabilidad estacional de las lluvias y la presión antrópica, especialmente el sobrepastoreo, lo que compromete su estabilidad ecológica y la provisión de servicios ecosistémicos.

En este escenario, la microcuenca Razuhuilca, ubicada entre las provincias de Huanta y La Mar en la región Ayacucho, representa un espacio estratégico de estudio, ya que alberga bofedales que regulan la disponibilidad de agua y mantienen el equilibrio hídrico local. No obstante, la ausencia de evaluaciones técnicas continuas limita la capacidad de diseñar estrategias efectivas de conservación y manejo. Según García & Llellish (2012), las imágenes satelitales constituyen una herramienta valiosa para la gestión y conservación de bofedales, al permitir un análisis espacial y temporal de su estado de conservación.

La teledetección, definida por Chuvieco (1995) como la obtención de información a través de sensores remotos instalados en plataformas espaciales, constituye una alternativa eficiente para el monitoreo ecológico. Mediante índices espectrales como el NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) y el NDWI (Normalized Difference Water Index), es posible

estimar de manera indirecta la cobertura vegetal y la humedad superficial, indicadores clave de la salud ecológica de los bofedales (Cabello, Alcaraz Segura, Reyes Díez, & Lourenco, 2016).

En este marco, la presente investigación propone un enfoque integral que combina el análisis multitemporal de imágenes Sentinel-2 con la validación directa en campo, con el propósito de evaluar el estado de salud de los bofedales de Razuhuilca durante el periodo 2017–2023. Este trabajo busca aportar una base técnica y científica que contribuya al diseño de políticas de conservación, al uso sostenible de los recursos y a la gestión integrada del agua en ecosistemas altoandinos, reforzando su resiliencia frente a las presiones ambientales climáticas y antrópicas.

Planteamiento del Problema

Descripción del Problema

Según la Sociedad Nacional de Minería, Petróleo y Energía (2023) los bofedales son considerados ecosistemas sensibles, por lo que es necesario diseñar diversas estrategias para minimizar los diversos impactos ambientales que hoy en día vienen siendo generados por acciones antropogénicas, además de desarrollar actividades de restauración para lograr recuperar áreas de bofedales. Según Flores et al. (2014), actualmente los bofedales tienen gran importancia económica y cultural por ser fuente de suministro de agua, ya que en estos últimos años se está perdiendo su rentabilidad debido al cambio climático y el pastoreo descontrolado, afectando de manera considerada la provisión de servicios ecosistémicos. Es por ello, que el Estado tiene que implementar ciertas políticas y estrategias para reducir este tipo de amenazas. Debido a que se necesita mayor conservación en zonas degradadas por el sobrepastoreo.

Según Chuvieco (1995), la teledetección permite obtener imágenes satelitales desde sensores instalados que se encuentran en plataformas espaciales. Esta técnica ha demostrado ser de gran importancia para el análisis de diferentes coberturas, ya sea vegetación, agua y suelo, entre otros. Debido a que brinda mecanismos para caracterizar y observar el funcionamiento de los ecosistemas. Asimismo, otorga índices que muestran los intercambios entre materia y energía que tienen lugar en la superficie terrestre (Cabello, Alcaraz Segura, Reyes Díez, & Lourenco, 2016). Podemos sintetizar diciendo que las imágenes satelitales proveen una valiosa información no sólo para la gestión, sino también para la conservación de bofedales (García & Lleellish, 2012).

Por otro lado, caracterizar la biodiversidad permite valorar la salud de los ecosistemas mediante los servicios que proporcionan, tales como la formación del suelo, la degradación de residuos orgánicos, la nitrificación, el control biológico de plagas, la regulación del clima, entre otros factores (Núñez, González Gaudiano, & Barahona, 2003). Bajo esta premisa, en los bofedales, la biodiversidad es un indicador crítico de salud ecológica, ya que su riqueza y composición botánica determinan funciones vitales como la regulación del ciclo hídrico y el secuestro de carbono (Squeo et al., 2006). También, el monitoreo de las comunidades vegetales en estos ecosistemas permite detectar signos tempranos de degradación frente a presiones como el sobrepastoreo y el cambio climático, factores que amenazan directamente su integridad biótica y su capacidad para sostener la vida en las zonas altoandinas (Maldonado Fonkén, 2014).

Asimismo, el Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña (INAIGEM) (2023), demostró que los bofedales en el departamento de Ayacucho poseen una extensión aproximada de 102,597.3 ha, encontrándose en el cuarto puesto a nivel nacional por tener mayor presencia de bofedales con altitudes que van desde los 3750 hasta los 5250 m.s.n.m.

Dentro de ellos, existen 10 distritos de la provincia de Huanta (Ayahuanco, Huanta, Chaca, Pucacolpa, Uchuraccay, Santillana, Huamanguilla, Iguain y Luricocha) que cuentan con bofedales, los cuales poseen una extensión aproximada de 1478.2 ha en total.

Este estudio se centra en evaluar la salud de los bofedales de Razuhuillca utilizando índices de vegetación (NDVI) e índices de agua (NDWI) mediante teledetección. Estos índices permiten analizar la variación en la cobertura vegetal y la humedad del suelo, así como identificar fenómenos como el cambio climático, la desglaciación, la expansión de la deforestación y la desertificación. Además, se pueden observar variaciones o evoluciones de ciertos fenómenos espaciales y temporales, además de establecer correlaciones entre estas características (Marcatoma Tumbalobos, 2023).

El estudio analiza las características de estos bofedales y sus cambios a lo largo de un periodo de siete años (2017-2023). Esta investigación proporciona datos para mejorar la gestión y el manejo adecuado de los recursos de este ecosistema. Además, utiliza una metodología innovadora que combina teledetección y biodiversidad para generar conocimientos y explorar soluciones potenciales para la conservación de los bofedales en futuras investigaciones.

Formulación del Problema

Problema General

- ❖ ¿Cómo ha evolucionado el estado de salud de los bofedales de Razuhuillca entre 2017 y 2023, utilizando técnicas de teledetección basadas en los índices NDVI y NDWI, complementadas con la validación directa en campo?

Problemas Específicos

- ❖ ¿Cuál es la disponibilidad y distribución espacial de la biodiversidad y el recurso hídrico en los bofedales de Razuhuillca mediante la validación directa en campo?
- ❖ ¿Cuáles han sido los cambios temporales en la disponibilidad hídrica y la cobertura vegetal de los bofedales de Razuhuillca durante el periodo 2017 y 2023, reflejados en los índices NDVI y NDWI?
- ❖ ¿Cómo contribuyen los índices NDVI y NDWI a la evaluación del estado de salud de los bofedales de Razuhuillca entre 2017 y 2023, y cuál es su nivel de precisión respecto a la validación directa en campo?

Objetivos de la Investigación

Objetivo General

- ❖ Evaluar la evolución del estado de salud de los bofedales de Razuhuillca durante el periodo 2017-2023, mediante técnicas de teledetección basadas en los índices NDVI y NDWI, complementadas con la validación directa en campo.

Objetivos Específicos

- ❖ Identificar la disponibilidad y distribución espacial de la biodiversidad vegetal y el recurso hídrico mediante la validación directa en campo en los bofedales de Razuhuillca.
- ❖ Comparar los cambios temporales en la disponibilidad hídrica y la cobertura vegetal de los bofedales de Razuhuillca durante el periodo 2017-2023, analizados mediante los índices NDVI y NDWI.

- ❖ Determinar la precisión y contribución de los índices NDVI y NDWI para la evaluación del estado de salud de los bofedales de Razuhuillca durante el periodo 2017-2023 en contraste con la validación directa en campo.

Justificación

La conservación de los bofedales es crucial debido a su significativa importancia económica y ambiental (Flores, Tacuna, & Calvo, 2014). Estos ecosistemas no solo exhiben características distintivas en términos de suelos y vegetación, sino que también desempeñan un papel vital al almacenar carbono y agua, recursos esenciales frente al cambio climático. Además, los bofedales proporcionan un valioso forraje para el ganado altoandino. Sin embargo, según el Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña (2023), la mala gestión representa una amenaza considerable para la conservación de estos ecosistemas, destacando la necesidad urgente de diseñar estrategias para mitigar los impactos ambientales provocados por actividades humanas. Según la Sociedad Nacional de Minería, Petróleo y Energía (2023), es imperativo implementar actividades de restauración para recuperar los bofedales.

Los humedales RAMSAR, incluidos los bofedales altoandinos, forman parte de un convenio internacional (1971) para conservar y usar racionalmente estos ecosistemas de alto valor ecológico, esenciales para el ciclo hidrológico, el carbono, la biodiversidad y las comunidades locales. En el Perú, varios bofedales figuran en la Lista RAMSAR por su importancia y vulnerabilidad al cambio climático. Este proyecto se alinea con dichos objetivos al evaluar, monitorear y conservar los bofedales de Razuhuillca mediante herramientas tecnológicas que fortalecen su gestión sostenible.

Esta investigación se alinea con el Eje Temático N° 3 de la Agenda de investigación Ambiental al 2030 del MINAM, el cual prioriza el monitoreo de ecosistemas mediante herramientas geoespaciales. Al integrar teledetección y validación de campo, el estudio aporta evidencia científica para mitigar la degradación de los bofedales, alineándose con las metas nacionales de conservación (MINAM, 2023).

Este proyecto de investigación está asociado al esfuerzo conjunto entre la Universidad Nacional Autónoma de Huanta y la Universidad de Cambridge, bajo el nombre “Environmental Impact, Analysis Methods And Technologies: Development, Environment And Impact Mitigation In The Huanta Region”, el cual tiene como propósito crear nuevos métodos y tecnologías para evaluar el cambio ambiental en la provincia de Huanta. Asimismo, la Universidad Nacional Autónoma de Huanta participa en el proyecto “Gestión multisectorial de los recursos hídricos en la cuenca del río Mantaro – ProGIRH”, llevado a cabo por la Autoridad Nacional del Agua (ANA) y la Cooperación Alemana para el Desarrollo. Este proyecto utilizará teledetección para evaluar la calidad del agua en lagos y lagunas altoandinas dentro de la cuenca interregional del Mantaro (El Peruano, 2024).

El propósito central de esta investigación es evaluar la evolución del estado de salud y la dinámica espacio-temporal de los bofedales de Razuhuillca durante el periodo 2017-2023. Mediante el uso de herramientas de teledetección, se busca generar un diagnóstico preciso que sustente estrategias de manejo sostenible y conservación de este ecosistema altoandino. La relevancia de este enfoque radica en su precisión multiescalar: mientras el análisis satelital permite un monitoreo ininterrumpido de siete años, la validación directa en campo calibra los datos para asegurar su veracidad. Finalmente, el estudio pretende consolidar una base de datos

geoespacial que facilite futuras investigaciones sobre el nexo entre la variabilidad de la precipitación, la fluctuación del manto freático y los cambios en la cobertura vegetal.

La investigación se basa en la Guía de Evaluación del Estado del Ecosistema de Bofedal del MINAM, que detalla el proceso de evaluación utilizando diversos indicadores medidos en campo. Esta guía, dirigida a entidades públicas y privadas, promueve la conservación y restauración de los bofedales y sus servicios ecosistémicos. Además, se empleará el Marco Conceptual y Metodológico desarrollado en el Piloto de Recuperación de Bofedales del 2014, que proporciona un marco para evaluar la salud ecológica de los bofedales.

Esta investigación tiene un valor significativo, ya que realiza un monitoreo de siete años (2017 - 2023), lo cual permite predecir cambios a largo plazo en la salud de los bofedales. Esto es crucial dado que los ecosistemas como los bofedales pueden experimentar variaciones importantes a lo largo del tiempo, debido a factores ambientales y antrópicos. Por otro lado, este proyecto es pionero en la provincia de Huanta y uno de los pocos en la región de Ayacucho, por su aplicación de técnicas de teledetección en el estudio de bofedales en la Microcuenca de Razuhuillca, lo que constituye un enfoque innovador y eficaz.

El método utilizado en este estudio permite obtener de manera rápida información detallada y actualizada sobre la cobertura vegetal y los niveles de agua, complementando así las evaluaciones tradicionales en campo. Gracias a esta técnica, es posible analizar con precisión las variaciones espacio-temporales de los bofedales durante un período de siete años (2017-2023).

Hipótesis

Hipótesis General

- ❖ La evolución del estado de salud de los bofedales en la Microcuenca Razuhuillca

entre 2017 y 2023 refleja una condición predominantemente óptima, caracterizada por una cobertura vegetal densa y una regulación hídrica estable, cuya resiliencia ecosistémica es confirmada mediante la integración de índices espectrales (NDVI y NDWI) y la validación directa en campo.

Hipótesis Específicas

- ❖ La disponibilidad y distribución espacial actual de la biodiversidad y el recurso hídrico in situ en los bofedales evaluados evidencia un estado de conservación favorable, con una funcionalidad ecológica e infraestructura de suelos ricos en materia orgánica que varía según su ubicación geográfica.
- ❖ Durante el periodo 2017 – 2023, los bofedales de la Microcuenca de Razuhuilca han experimentado cambios temporales significativos en la disponibilidad de agua y en la vegetación, medidos a través de los índices NDVI y NDWI. A pesar de estas variaciones estacionales y fluctuaciones en la disponibilidad hídrica, los bofedales han mantenido un estado de salud óptimo, lo que sugiere que han demostrado una notable capacidad de adaptación y resiliencia frente a los factores climáticos y ambientales, así como a las perturbaciones externas.
- ❖ Los índices NDVI y NDWI constituyen herramientas con un alto nivel de precisión y contribución para evaluar el estado de salud de los bofedales de Razuhuilca durante el periodo 2017 – 2023, logrando capturar de manera exacta las variaciones en la cobertura vegetal y la disponibilidad hídrica a lo largo del tiempo, facilitando un análisis exhaustivo del ecosistema que complementa rigurosamente la información recabada a través de la validación directa en campo.

Variable

Tabla 1.

Operacionalización de variables

VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	UNIDAD
ESTADO DE SALUD DE LOS BOFEDALES	El estado de salud de los bofedales, según (Flores, Tacuna, & Calvo, 2014), está directamente relacionado con la estructura y función del ecosistema, los cuales se evalúan a través de tres aspectos clave: integridad biótica, función hidrológica y estabilidad. Para evaluar estos aspectos, es fundamental utilizar índices como NDVI y NDWI, los cuales permiten determinar la cobertura vegetal, el desarrollo de las plantas, la producción de biomasa y la carga hídrica. Estos índices se calculan a partir del análisis de las bandas de imágenes satelitales, las cuales captan específicamente la reflectancia de la vegetación (García, Guerrero, Willems, & Espinoza, 2021).	Según (García, Guerrero, Willems, & Espinoza, 2021), el estado de salud de los bofedales se evaluará utilizando bandas de imágenes satelitales, las cuales captan las características de reflejo de la vegetación mediante variaciones de color desde el rojo intenso hasta el verde intenso. Estas variaciones permiten determinar diversos parámetros relacionados con el crecimiento vegetal, utilizando índices con escalas entre -1 y 1. Un valor de -1 indica “no vegetación”, mientras que un valor de 1 representa una “completa cobertura vegetal y vigorosa” (Ramírez Vargas, 2020).	ESPECTRO DE IMÁGENES	Imágenes Satelitales	Píxeles
			RECURSO HÍDRICO Y DE VEGETACIÓN	NDVI	%
				NDWI	
			INSPECCIÓN DEL TRABAJO “IN SITU”	Ficha de Observación	Niveles

Marco Teórico

Antecedentes del Problema

Antecedentes Internacionales

La investigación de Oyola Lepe (2009) desarrolló una metodología para detectar humedales altoandinos con características de salar usando técnicas de percepción remota e imágenes satelitales Landsat. La elección de Landsat se basó en su disponibilidad gratuita, resolución espacial media (30 metros) y cobertura nacional. Se analizó un área piloto donde se identificaron agua y vegetación, y se contrastaron los resultados con una imagen de alta resolución de Quickbird (2.4 metros), clasificada mediante fotointerpretación y datos de campo. La concordancia entre ambas fuentes fue evaluada mediante el índice Kappa, lo que permitió cuantificar el grado de correspondencia entre las clases de cobertura obtenidas. Esta metodología, diseñada para ser replicable en otras zonas con características similares, busca sentar las bases para un catastro nacional de humedales altoandinos, con el fin de facilitar su monitoreo sistemático y la implementación de estrategias de conservación adecuadas frente a los riesgos que amenazan estos ecosistemas frágiles.

Hilari Esteban (2010) analizó imágenes multiespectrales Landsat 5TM de 1985, 1986, 1997 y 2009 para evaluar la evolución de cuatro bofedales en la región de La Paz, valorados tanto por su importancia ecológica como socioeconómica. El estudio comenzó con la delimitación de la superficie de los bofedales mediante puntos de monitoreo GPS, los cuales fueron georreferenciados en un sistema de información geográfica (SIG) para identificar estos ecosistemas tanto en el terreno como desde el espacio satelital. Se procedió con el análisis de la cobertura vegetal utilizando índices

como NDVI y LAI, los cuales indicaron el estado de la vegetación en cada zona. Donde, el análisis de imágenes multitemporales reveló que el bofedal de Ucha Ucha experimentó una reducción en su tamaño en 1997, pero para 2009 había recuperado casi completamente su extensión, alcanzando una cobertura saludable del 95%. El bofedal de San Calixto-Suriquiña también mostró una disminución en su área, pero comenzó a recuperarse hacia 2009. El bofedal Chojñapata tenía una cobertura vegetal baja en 1985, pero experimentó un aumento significativo hasta 1997, a pesar de ser el más pequeño y estar rodeado de montañas. Finalmente, el bofedal Tuni pampa mostró una tendencia ascendente en la cobertura vegetal, atribuible al deshielo que proporciona agua constante a la represa cercana, manteniendo el bofedal húmedo durante todo el año.

El artículo de Díaz Moyota et al. (2016), estuvo basado en el uso de imágenes de satélite Landsat 7 ETM+ para clasificar bofedales en la RPFC. Donde dos de siete humedales altoandinos georreferenciados en el lugar, pertenecen al altiplano. También, se emplearon imágenes satelitales Landsat de los años 2001 (EarthSat) y 2004 (USGS), las ortofotografías georreferenciadas del 2013 y 2014, servirá para captar la variabilidad espacial y temporal de los bofedales, y así poder definir la caracterización de estos ecosistemas. Para cada imagen se aplicó métodos de clasificación supervisada, por ser más eficiente al representar las cuatro clases representativas en la Reserva: la nieve, roca, pajonal y bofedal. Asimismo, se aplicó el NDVI, para distinguir los cuerpos de agua de otras coberturas y poder conocer la extensión de los bofedales presentes en la Reserva, con el fin de colegir mejor en la distribución de vicuñas.

El estudio de Kaplan & Avdan (2017), se desarrolló en el manantial Sakarbaşı, ubicado en la provincia de Eskisehir (Turquía), con el objetivo de evaluar la eficacia del

Sentinel-2 en tareas de monitoreo y cartografía de humedales. Se aplicaron tres métodos de clasificación de imágenes satelitales: por píxeles, por objetos y mediante índices espectrales, con el objetivo de mejorar la precisión en la detección de humedales. La clasificación por objetos permitió delimitar los bordes del humedal, mientras que los índices NDVI y NDWI ayudaron a identificar sus componentes internos con mayor detalle. Los resultados evidenciaron una clasificación de gran precisión, con un coeficiente kappa de 0.95, reflejando una concordancia muy alta con los datos de referencia.

La investigación de Yan Gao et al. (2018), propuso cuantificar los cambios en su cobertura mediante un método de detección basado en la fusión de imágenes y comparación directa entre escenas, donde se consideró la distorsión espectral como indicador de cambio, y se utilizaron índices como NDVI y NDWI para reforzar la identificación de vegetación y cuerpos de agua. Además, se aplicó una versión modificada del algoritmo IR-MAD, obteniendo buenos resultados en la detección de alteraciones, incluso en zonas complejas como bosques y áreas agrícolas. El método alcanzó una precisión del 96,67 % para datos interanuales y del 93,06 % para datos estacionales, demostrando su potencial como herramienta efectiva para el seguimiento y conservación de humedales.

El estudio realizado por Jara et al. (2019) tuvo como objetivo comparar las imágenes Landsat-8 y Sentinel-2 para evaluar la extensión, distribución y estado de conservación de los bofedales en la Reserva de Producción de Fauna Chimborazo (RPFCH) en la región andina de Ecuador. Se llevaron a cabo trabajos de campo en 16 bofedales con diversos grados de conservación. Las imágenes Landsat-8 y Sentinel-2

fueron procesadas mediante calibración radiométrica y corrección atmosférica para calcular varios índices espectrales de vegetación como NDVI, SAVI, EVI2, NDWI, WDRI y el modelo Red Edge disponible solo en Sentinel-2. Además, se realizó una clasificación de los bofedales utilizando el algoritmo Random Forest. Según los índices evaluados, se identificaron dos categorías: bofedales moderadamente conservados y conservados, este último incluyendo áreas no correspondientes a bofedales. El estudio determinó que los bofedales cubren el 41.21% (21,708.54 ha) del área total con Landsat-8 y el 38.95% con Sentinel-2 de las 52,560 ha de la Reserva. Concluyeron que Sentinel-2 proporcionó mejores resultados para la clasificación de imágenes en comparación con Landsat-8.

El estudio realizado por Antes et al. (2019) en la Reserva Natural de la Defensa Campo Mar Chiquita - Dragones de Malvinas, ubicada en Buenos Aires, tuvo como meta principal desarrollar una cartografía temática y monitorear tanto la reserva como las áreas circundantes. El propósito era obtener datos precisos y fiables sobre el estado actual de conservación de los recursos naturales y los fenómenos relacionados, para mejorar su manejo y gestión. Para lograr esto, se emplearon imágenes satelitales de Landsat-5, Landsat-8, SPOT 6 y Sentinel-2, junto con técnicas de teledetección, para crear mapas de uso y cobertura del suelo, los cuales fueron integrados en un sistema de información geográfica (SIG).

La investigación de Ashok et al. (2021) realizado en el humedal Renuka, en el distrito de Sirmaur (Uttarakhand, India), empleó herramientas de teledetección y análisis geoespacial para suplir la falta de información actualizada sobre los cambios espaciales y temporales de este ecosistema Ramsar, afectado por el cambio climático y

fenómenos hidrometeorológicos. Utilizando imágenes Landsat 7 y 8 procesadas en Google Earth Engine (GEE), junto con índices NDVI y NDWI ajustados mediante series armónicas, y una clasificación supervisada Random Forest, se logró una precisión del 90 % y un coeficiente kappa de 0.8. El análisis permitió identificar variaciones significativas en la estacionalidad y persistencia del agua entre 1984 y 2019, lo que demuestra el valor de estas tecnologías para el monitoreo eficiente y sostenible de humedales.

El estudio de Imbaquingo Castelo (2021) examinó los cambios en los bofedales de la Subcuenca del Río Chambo entre 2013 y 2020 usando imágenes satelitales de Landsat-8 y el software ArcGis. Se midió la extensión y el grado de transición de estos ecosistemas, calculando su cobertura anual con índices NDVI, NDWI y NDII. Los resultados indicaron variaciones notables en la cobertura de bofedales en el 2020. La clasificación del ecosistema mostró que el Herbazal del Páramo predominó, con un promedio anual de 13,86% de aumento, 11% de disminución y 6,16% de estabilidad. Se observó una tendencia general a la pérdida de bofedales durante el periodo, atribuida a la acción humana y al cambio climático. Se sugirió llevar a cabo proyectos de conservación y restauración para proteger estos ecosistemas esenciales para la recarga hídrica y la sostenibilidad ambiental.

El proyecto de tesis de Jara Santillán (2022) se centró en un estudio exhaustivo de bofedales, utilizando una amplia base de datos recolectada en campo en 2016. Se emplearon datos de teledetección óptica y variables topográficas, ambientales y climáticas mediante sistemas de información geográfica (SIG). El objetivo fue analizar métodos óptimos para el mapeo de turberas en la Reserva De Producción De Fauna

Chimborazo, así como estimar el carbono bajo el suelo y en la vegetación. Se compararon los sensores Sentinel-2 y Landsat-8 para determinar el método más eficaz en el cartografiado, utilizando el algoritmo Random Forest junto con índices de vegetación específicos del Sentinel-2, destacando SAVI y RED EDGE como los más relevantes para esta tarea. Además, se evaluó la disminución acumulada de carbono en el ecosistema entre 2017 y 2020, utilizando las bandas del Sentinel-2, encontrando que el carbono total en la vegetación pasó de 71,975 Mg en 2017 a 59,362 Mg en 2020. Por último, se elaboró un mapa de carbono orgánico del bofedal, estimando la cantidad total de carbono presente en la capa de suelo, subrayando la importancia de los bofedales como reservorios de carbono.

La investigación de Huaraca et al. (2025) tiene como objetivo demostrar que la combinación de imágenes radar Sentinel-1 y multiespectrales Sentinel-2, procesadas de forma multitemporal en humedales de los Andes Ecuatorianos, es significativamente más eficaz que el uso exclusivo de imágenes ópticas para mapear y monitorear humedales altoandinos, debido a la nubosidad persistente y la complejidad del relieve. Mediante clasificación Random Forest, índices espectrales e información topográfica, los autores identifican mayor extensión real de humedales respecto a los mapas tradicionales, así como variaciones estacionales e interanuales asociadas a la dinámica hídrica. Además, integran el modelo Water Cloud Model para estimar humedad del suelo con buena precisión en zonas específicas, permitiendo detectar áreas saturadas incluso bajo vegetación. En conjunto, el estudio aporta una metodología robusta y replicable, útil para la gestión, conservación y cartografía de bofedales andinos,

constituyendo un antecedente relevante para investigaciones que empleen teledetección para evaluar la dinámica y estado ecológico de humedales de alta montaña.

El artículo científico de Navarro et al. (2025) presenta un mapa probabilístico de distribución de humedales para Argentina, generado a partir de 20 años de imágenes satelitales combinadas con técnicas de teledetección, aprendizaje automático y computación en la nube, incluyendo una amplia variedad de índices biofísicos que permiten identificar agua superficial permanente o temporal, fenología de vegetación adaptada a humedad y morfologías favorables a la acumulación de agua. El modelo clasificó aproximadamente el 9,5 % del territorio argentino como humedales —con alta precisión ($\approx 89,3$ %)—, revelando también “zonas elásticas” que evidencian cambios temporales en la presencia de agua o humedad, lo que permite captar la dinámica espacial y temporal de los humedales. Los resultados muestran la heterogeneidad regional en la distribución de humedales, subrayando la necesidad de métodos adaptados a las particularidades ecológicas y geomorfológicas de cada región. Este enfoque metodológico —multitemporal, probabilístico, con machine learning y cloud computing— se perfila como una herramienta robusta y escalable para monitoreo, conservación y manejo sostenible de humedales, lo que lo convierte en un antecedente valioso para estudios de bofedales o humedales andinos mediante teledetección.

Antecedentes Nacionales

El trabajo de García & Llellish (2012) presenta una metodología basada en imágenes de satélite Landsat para cartografiar los bofedales en la cuenca altoandina del río Acarí (Arequipa), dichas imágenes sirvieron para captar la variabilidad espacial y temporal de estos ecosistemas y definir la mejor época para su cartografiado. Como

metodología, se utilizó el Análisis Lineal de Mezclas Espectrales (ALME), la interpretación de manera visual e incluyendo el modelo digital de elevación SRTM, los cuales ayudaron a conocer el área de bofedales calculados para el año 2000.

El proyecto de tesis de Calvo Gómez (2016), titulado "Marco conceptual y metodológico para estimar el estado de salud de bofedales de alta montaña", se propuso desarrollar un enfoque conceptual y metodológico para evaluar la salud de los bofedales. Este enfoque se fundamentó en tres atributos principales: integridad biótica, función hidrológica y estabilidad del sistema, cada uno con indicadores específicos para medir la estructura y función del ecosistema. El proyecto también incluyó la creación de un sistema de calificación para clasificar los estados de salud en categorías de saludable, saludable con problemas de manejo y no saludable, así como un esquema basado en los valores de indicadores relacionados con vegetación, suelo y agua. Finalmente, el sistema de calificación fue validado en campo utilizando ecosistemas de referencia con diferentes niveles de conservación.

El estudio de Giraldo Araujo (2016) tuvo como objetivo inventariar, caracterizar y evaluar la salud de los bofedales en las microcuencas de San Luis y San Nicolás en la comunidad de Caninaco, como parte del proyecto "Asegurando el Agua y los Medios de Vida en las Montañas" en colaboración con USAID y el Instituto de Montaña. Se llevó a cabo en un área piloto de 264.99 ha mediante observaciones, fichas de campo, muestras, fotografías, entrevistas y encuestas. Se encontraron 34.31 ha de bofedales, repartidos en 22 unidades, con 112 manantiales, 290 zonas de filtración y 180 micro reservorios. Se identificaron 8 comunidades vegetales, 16 familias y 36 especies, siendo las principales: *Oreobolus obtusangulus* y *Distichia muscoides*. La investigación

también reveló variaciones en la profundidad de la turba y en la densidad aparente, que osciló entre 0.113 g/cm³ y 0.871 g/cm³, reflejando problemas de compactación y sobrepastoreo. El estado de los bofedales mostró niveles variados de degradación, desde manejo leve hasta alta afectación.

La investigación de Sinsaya Calsina (2020) realizada en el Cusco, tuvo como objetivo principal evaluar la variación espacial en el periodo 2015-2019 y el estado de conservación de humedales altoandinos en la Comunidad de Ananiso. Este estudio de enfoque mixto, no experimental y longitudinal, empleó imágenes satelitales Landsat 8 tanto en época seca como húmeda para analizar el NDVI. Además, se hizo referencia a la Guía de Evaluación del Estado del Ecosistema de Bofedal. Los resultados obtenidos indicaron que el NDVI varió entre 0.04 y 0.89 durante el período estudiado. Se observó una reducción de 46.53 hectáreas en la extensión de los humedales altoandinos durante la época seca, mientras que se determinó que el estado general del humedal estaba clasificado como bueno (60-80%). En conclusión, se subraya la importancia de conservar estos ecosistemas debido a su función como fuente de agua y proveedores de pastos para la ganadería.

El objetivo general de la investigación de Machuca Peña & Uzquiano Céspedes (2021) fue determinar el estado de salud de los bofedales de la microcuenca de Acocancha-Lima, mediante teledetección para poder evaluar el estado de salud de bofedales mediante índices espectrales NDVI y NDWI, las características de agua, las características de suelo, las características de biota y las características de paisaje. Asimismo, se planteó como hipótesis que la teledetección permite determinar el estado de salud de los bofedales en la microcuenca de Acocancha-Lima. Concluyendo que

mediante el análisis de teledetección el estado de salud de los bofedales se encuentra en un estado regular, la calidad del agua sufre una leve variación respecto a su pH, ya que se encuentra ligeramente ácido en las zonas evaluadas, mientras que en el análisis del suelo se encontró un pH neutro y existe una alta cantidad de materia orgánica.

En el estudio desarrollado por Chambe Bahamontes et al. (2021), se analizó la variación temporal del espejo de agua de la laguna Suches y del índice de vegetación NDVI en el bofedal de Huaytire durante el periodo comprendido entre 1975 y 2020. Para ello, se utilizaron imágenes satelitales proporcionadas por el Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS), específicamente de los satélites Landsat 2, 5, 7 y 8. A través del procesamiento de estas imágenes, se calcularon el Índice Normalizado de Vegetación (NDVI) y el Índice Normalizado de Diferencia de Agua (NDWI). Los hallazgos revelan una reducción significativa tanto en el área de la laguna como en el vigor de la vegetación del bofedal, lo que sugiere una pérdida de cobertura vegetal. Aunque no se identificó una relación causal directa, la revisión de literatura indica que factores como el cambio climático, la extracción y desvío de aguas superficiales y subterráneas, así como el pastoreo de camélidos, podrían estar influyendo en estos cambios observados.

La investigación de García J. et al. (2021) tuvo como objetivo desarrollar un Índice de Bofedal (IB) que permita identificar y zonificar bofedales altoandinos mediante teledetección en la cuenca alta del río Chillón, empleando imágenes de los sensores Landsat TM, ETM+ y OLI. Para ello, se aplicó una metodología basada en mezcla espectral lineal (LSU) con tres endmembers (bofedal, suelo y roca), complementada con índices biofísicos como NDVI, NDWI y NDII, buscando

correlaciones que permitieran derivar un índice específico. Los resultados mostraron que la fracción espectral correspondiente al endmember bofedal se relacionaba fuertemente con los índices de humedad y que la combinación $IB = (NDWI - NDII) / (NDWI + NDII)$ presentaba la mayor capacidad discriminatoria para diferenciar bofedales de otras coberturas. La validación con imágenes de alta resolución de Google Earth evidenció una precisión del 98,36 %, confirmando que el IB es un método robusto, simple y replicable para mapear bofedales en cabeceras de cuenca. En conclusión, los autores sostienen que este índice puede facilitar el monitoreo continuo y la gestión de humedales andinos, mejorando la identificación espacial y apoyando acciones de conservación.

Esteban Escobar & Moran Huaccachi (2022) analizaron las variaciones espaciales y el estado de conservación de los humedales altoandinos en el distrito de Ascensión, Huancavelica, entre 2016 y 2020. Se usaron imágenes satelitales de Landsat 8, seleccionadas de la plataforma USGS con baja nubosidad ($\leq 20\%$), para las estaciones húmedas y secas. Los datos fueron procesados con ENVI 5.3 para corregir imágenes y calcular el índice NDVI, y con ArcGis 10.5 para medir áreas. La Guía de evaluación del Ministerio del Ambiente ayudó a evaluar el estado de conservación. Los valores del NDVI variaron entre 0.001 y 0.932. Durante el período, el área de los humedales disminuyó en 190.554 ha durante la época seca, y su estado de conservación fue calificado como "regular", con un 57,69% en el rango de 40 a 60%.

El objetivo que tuvo el trabajo de investigación de Pamo Sedano & Oscoco (2022) fue observar mediante técnicas de teledetección, el cambio que tuvo el área del humedal altoandino de Ancomarca desde el 1990 al 2021. Además, usaron imágenes

satelitales conseguidas de la plataforma USGS, el software ArcGis 10.2 y Erdas Imagine 2014, con el fin de procesar las imágenes. Para luego señalar el estado actual del bofedal, calculando el NDVI y estableciendo categorías sobre su vegetación. Asimismo, se precisó la tasa anual de cambio de cobertura empleando diversos cálculos. Teniendo como resultados la pérdida de área del bofedal durante este tiempo; y esto podría ser a causa del cambio climático, la sobreexplotación de aguas subterráneas e incluso por el sobrepastoreo.

La investigación de Toribio Quispe (2023) fue desarrollada en el Área de Conservación Regional de Huaytapallana, teniendo como objetivo, estudiar el impacto espacial y temporal del glaciar del nevado Huaytapallana sobre los bofedales del Área de Conservación Regional, abarcando el período desde 1990 hasta 2020. La investigación se basó en el método científico y adoptó un enfoque descriptivo-correlacional para su análisis. Se empleó la teledetección y SIG para delimitar el área del bofedal mediante el NDVI y su cobertura glaciar, también se hizo una correlación lineal entre la superficie y la cubierta glaciar de este ecosistema. Como resultado respecto a la superficie glaciar se observó que hubo una reducción del 56.65 % de superficie glaciar durante el tiempo de evaluación. Finalmente, se estimó el área del bofedal, obteniendo una superficie de 0.89 km² en 1990, mientras que en el 2020 se obtuvo 6.53 km². Por lo que, se concluye que la disminución del glaciar del nevado Huaytapallana altera significativamente la superficie de los bofedales del ACR Huaytapallana.

El estudio de Paucar Rojas & Soto Ccora (2023) evaluó la distribución futura del ecosistema bofedal en la microcuenca Astobamba y Cachimayo, Huancavelica,

proyectando su estado para el año 2030 considerando el estado de salud de los bofedales y factores climáticos como temperatura, precipitación y evapotranspiración potencial. La investigación se llevó a cabo en tres fases: pre campo, campo y post campo, utilizando un enfoque descriptivo y un diseño longitudinal no experimental. La muestra se centró en los bofedales de esta microcuenca, aplicando técnicas de observación y análisis de datos con fichas e imágenes satelitales. Los resultados indicaron que el estado ecológico predominante es regular, con una disminución notable del área de bofedales saludables entre 1995 y 2022, y un aumento en áreas con problemas de manejo y en estado no saludable. Para 2030, se proyecta una reducción del 84.24% en el área potencial de bofedales, aunque aún existen áreas prioritarias que podrían sostener el ecosistema.

La investigación de Gózar Blas (2024) fue realizada en la cabecera de cuenca Cochas-Pachacayo (Jauja), con el objetivo de analizar la variabilidad espacio-temporal del 2002 al 2023 haciendo uso de imágenes satelitales Landsat, donde se pudo observar una disminución en la extensión del bofedal, pasando de 14.2086 ha en 2002 a 12.2108 ha en 2023 (en época seca). Además, con la metodología empleada se pudo evaluar el estado de la vegetación y determinar las áreas de cambio de cobertura mediante el análisis de índices de vegetación y firmas espectrales. Lo que ayudó a concluir que, la vegetación pasó de ser densa a marchita y el área afectada por cambio de cobertura fue de 1.98 ha, transformándose en morrenas con parches de pajonal. Las comunidades locales, mediante sus "mapas parlantes", fueron clave en la validación de los datos.

Antecedentes Locales

La investigación de Moncada Sosa & Pereda Medina (2019), tuvo como objetivo caracterizar las firmas espectrales de la vegetación, suelo y agua de bofedales en la cabecera de cuenca Cachi-Apacheta (Ayacucho), utilizando mediciones de campo con el espectroradiómetro FieldSpec4 y clasificarlas en imágenes satelitales Sentinel-2; la metodología consistió en recolectar firmas espectrales de las diferentes especies vegetales, suelo y agua, luego aplicar corrección atmosférica a las imágenes Sentinel-2 con Sen2Cor (software SNAP) y usar estas firmas para clasificar los píxeles según su reflectancia en las 12 bandas disponibles. Los resultados mostraron que la cobertura de bofedal identificada como vegetación predominante —especialmente asociaciones de especies como *Stipa* sp., *Alchemilla pinnata*, *Plantago sericea*, *Luzula peruviana*— ocupaba unas 3 679,92 ha ($\approx 25,65$ % del área de estudio), junto con 2 547,12 ha de suelo seco, 1 413,72 ha de suelo arenoso, y sólo 31,48 ha de cuerpos de agua. Como conclusión, los autores indican que este enfoque espectral —combinando firmas de campo y teledetección— permite mapear eficazmente la vegetación de bofedales en áreas altas, lo que lo convierte en una herramienta valiosa, replicable y relativamente precisa para estudios de cobertura, monitoreo y conservación de bofedales altoandinos.

La investigación de Javier Silva et al. (2021) se llevó a cabo en el humedal Altoandino de Ayacucho, Minas Corral, con el objetivo de explorar la relación entre la precipitación, el análisis de la napa freática y la variabilidad en la cobertura vegetal utilizando el NDVI y sensores remotos. Estos métodos facilitaron la recolección de datos durante un período específico. Los datos de precipitación se obtuvieron de la estación meteorológica Apacheta, ubicada a 4,150 metros sobre el nivel del mar en

Paras, provincia de Cangallo, y se validaron mensualmente. Para analizar la napa freática, se tomaron 31 muestras en puntos aleatorios, y se utilizaron imágenes del satélite Landsat 8 para observar la variación mensual en la cobertura vegetal. Los resultados revelaron una correlación inversa del 97% entre el área de vegetación y la napa freática, y una correlación directa del 49% entre el área de vegetación y la precipitación.

La investigación de Marcatoma Tumbalobos (2023), realizada en la Microcuenca-Apacheta, cuenca alta del río Cachi (Ayacucho), tuvo como finalidad evaluar la relación entre la humedad del suelo y los índices espectrales de vegetación (NDVI) y agua (NDWI) en cinco bofedales altoandinos. La investigación utilizó el método gravimétrico para medir la humedad del suelo a 20 cm de profundidad, y recurrió a imágenes multiespectrales del satélite LANDSAT 8 para calcular los índices NDVI y NDWI. Los resultados mostraron diferencias significativas en la humedad del suelo entre la temporada húmeda (84,45%) y la seca (63,86%), aunque no se hallaron diferencias significativas entre los bofedales estudiados. Se identificó una correlación lineal positiva entre la humedad y los índices NDVI y NDWI, siendo moderada en la época húmeda y alta en la seca. Los bofedales Apacheta 1, Guitarrachayocc y Apacheta 2 presentaron los valores más altos de estos índices, mientras que Pichccawasi y Pamtiumpampa registraron los más bajos. Además, se identificaron diferencias morfológicas entre los bofedales. El estudio concluye que estos ecosistemas cumplen una función clave en la regulación hídrica y son vulnerables a los efectos del cambio climático y las actividades humanas.

Lozano Rodriguez (2024) realizó su investigación en la provincia de Huanta, región Ayacucho, donde estudió la variabilidad espacio-temporal de la cobertura vegetal utilizando imágenes satelitales MODIS y el índice de vegetación NDVI, durante el periodo 2017–2021. Para ello, se analizó 115 imágenes satelitales bajo un enfoque de investigación básica, con un nivel relacional y un diseño metodológico no experimental de tipo transversal. Los valores más altos de NDVI se registraron en fechas específicas de cada año, destacando el año 2020 con un valor máximo de 0,6802, seguido por los años 2019 (0,6688) y 2017 (0,6375). También se pudo conocer la variación del NDVI en función del tipo de suelo, su relación con la temperatura ambiental y las estaciones del año. El análisis inferencial arrojó un coeficiente de Pearson promedio de 0,673, indicando una correlación positiva alta entre el NDVI y la cobertura vegetal. Asimismo, se observaron correlaciones negativas moderadas y bajas con la temperatura (-0,452 y -0,283), y una correlación positiva baja con las estaciones del año (0,257). Estos hallazgos ratifican que el uso del NDVI a través de teledetección es una herramienta eficaz para evaluar los cambios en la vegetación, contribuyendo a una mejor gestión ambiental del área estudiada.

Bases Teóricas

Estado de Salud de Ecosistemas

Flores et al. (2014) define al estado de salud de los ecosistemas se refiere al nivel de conservación de su estructura y función, y se evalúa mediante tres atributos clave: integridad biótica, función hidrológica y estabilidad. Según Costanza et al. (1997) el estado de salud de un ecosistema se define como la capacidad del ecosistema para mantener su estructura, función y procesos ecológicos, así como su capacidad para

proporcionar servicios ecosistémicos a lo largo del tiempo, esto abarca tanto la estabilidad de las especies presentes como la funcionalidad del ecosistema en su totalidad.

Bofedales

Son considerados ecosistemas sensibles de gran importancia económica y cultural, ya que son fuente de suministro de agua (Flores, Tacuna, & Calvo, 2014). Presentan una gran diversidad de flora y fauna aportando un alto valor biológico e hidrológico, tienen como función principal la alimentación de ríos y riachuelos en épocas de sequía mediante el almacenamiento paulatino de agua en invierno, actuando como reguladores hídricos (Flachier, Chichero, Lima, & Villarroel, 2009)

Teledetección

Como técnica, permite obtener imágenes satelitales desde sensores instalados que se encuentran en plataformas espaciales (Chuvienco, 1995). Esta técnica es importante para el análisis de diferentes coberturas, ya sea de vegetación, agua y/o suelo, entre otros. Debido a que ofrece herramientas para caracterizar y observar el funcionamiento de los ecosistemas, además de proporcionar índices que informan de los intercambios entre materia y energía que tienen lugar en la superficie terrestre (Cabello, Alcaraz Segura, Reyes Díez, & Lourenco, 2016).

Definiciones Conceptuales y Operacionales

Imágenes Satelitales

Las imágenes satelitales se han convertido en una herramienta importante ya que, al combinar la información acerca de los requerimientos de hábitat de las especies con los mapas de cobertura de la tierra derivada de datos de teledetección, es posible

estimar de manera precisa la distribución potencial de las especies y los patrones de riqueza de estas (Turner, et al., 2003).

Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI)

El NDVI se encarga de medir la relación entre la energía absorbida y emitida por objetos terrestres, aplicado directamente a las comunidades de plantas; el índice arroja valores de intensidad del verdor de la zona y determina la cantidad de vegetación presente en una superficie, además de su estado de salud o vigor vegetativo (Chuvieco, 2010).

Índice de Agua de Diferencia Normalizada (NDWI)

Según Almeida de Sousa et al. (2022) El NDWI es un índice de agua propuesto por Mc Feeters (1996) para distinguir la tierra de las aguas abiertas y destacar sus características a través de las imágenes satelitales. Se calcula como una diferencia entre las longitudes de onda del infrarrojo cercano (NIR) y del verde (Xu, 2006).

Sistema Sensor

El sistema sensor está integrado principalmente por un sensor y una plataforma instalada, que le permite captar la radiación electromagnética procedente de la superficie terrestre, la codifica y la envía directamente a un sistema receptor (Chuvieco, 2010).

Sensores Pasivos

Son utilizadas como herramienta para la toma de decisiones en la conservación de la biodiversidad, ya que, por medio del análisis, se puede monitorear y vigilar las áreas que reciben apoyos para la conservación del medio ambiente (Sánchez Díaz,

2018). Este tipo de teledetección pasiva ofrece la posibilidad de dar un seguimiento espacial y temporal de los fenómenos que pueden delimitarse en unidades ecológicas sobre las que se apliquen distintas medidas para estudiar su estructura espacial: fragmentación, forma, abundancia, especificidad, entre otras (Benedetti, Campo, & Geraldi, 2010).

Imágenes Sentinel-2

Las imágenes del satélite Sentinel-2 se componen de trece bandas espectrales con resoluciones de 10, 20 y 60 metros. (Agencia Espacial Europea - ESA, 2026). El espectro visible se captura en las bandas B2, B3 Y B4 (10m), mientras que el infrarrojo cercano (NIR) se obtiene principalmente en la B8 (10m) y B8A (20m) (Copernicus Data Space Ecosystem - CDSE, 2026). Este sistema permite un monitoreo terrestre preciso con un tiempo de revisita de 5 días, gracias a la constelación de dos satélites (Agencia Espacial Europea - ESA, 2026).

Metodología

Tipo y Nivel de Investigación

El tipo de investigación es básico, ya que según Esteban Nieto (2018) este tipo de investigación, nace por la intención de descubrir nuevos conocimientos que permitan valorar la salud de los bofedales altoandinos y tiene por objetivo aplicar técnicas de teledetección en campo para conocer el estado de salud de los bofedales que se encuentran en la Microcuenca Razuhuillca.

Además, como nivel de investigación es considerada como descriptiva porque recopilaremos datos e información a través de las imágenes satelitales para corroborar si es cierta o no la hipótesis que nos planteamos o responder a las preguntas que tenemos

referentes al tema de estudio (Gay, Mills, & Airasian, 2012). Debido a que no se conoce investigaciones anteriores en Razuhuillca referentes a los bofedales, es por ello que, a través de las técnicas de teledetección se identificará e interpretará las imágenes satelitales obtenidas para definir y determinar el estado de salud de los bofedales en estudio.

Diseño de la Investigación

El diseño que tiene esta investigación es no experimental, con un enfoque cuantitativo en los aspectos de teledetección y enfoque cualitativo, respecto al trabajo de campo “In-situ”, ya que se realizará la recolección de datos pertinentes con objetividad (Monje Álvarez, 2011).

Ámbito Temporal y Espacial

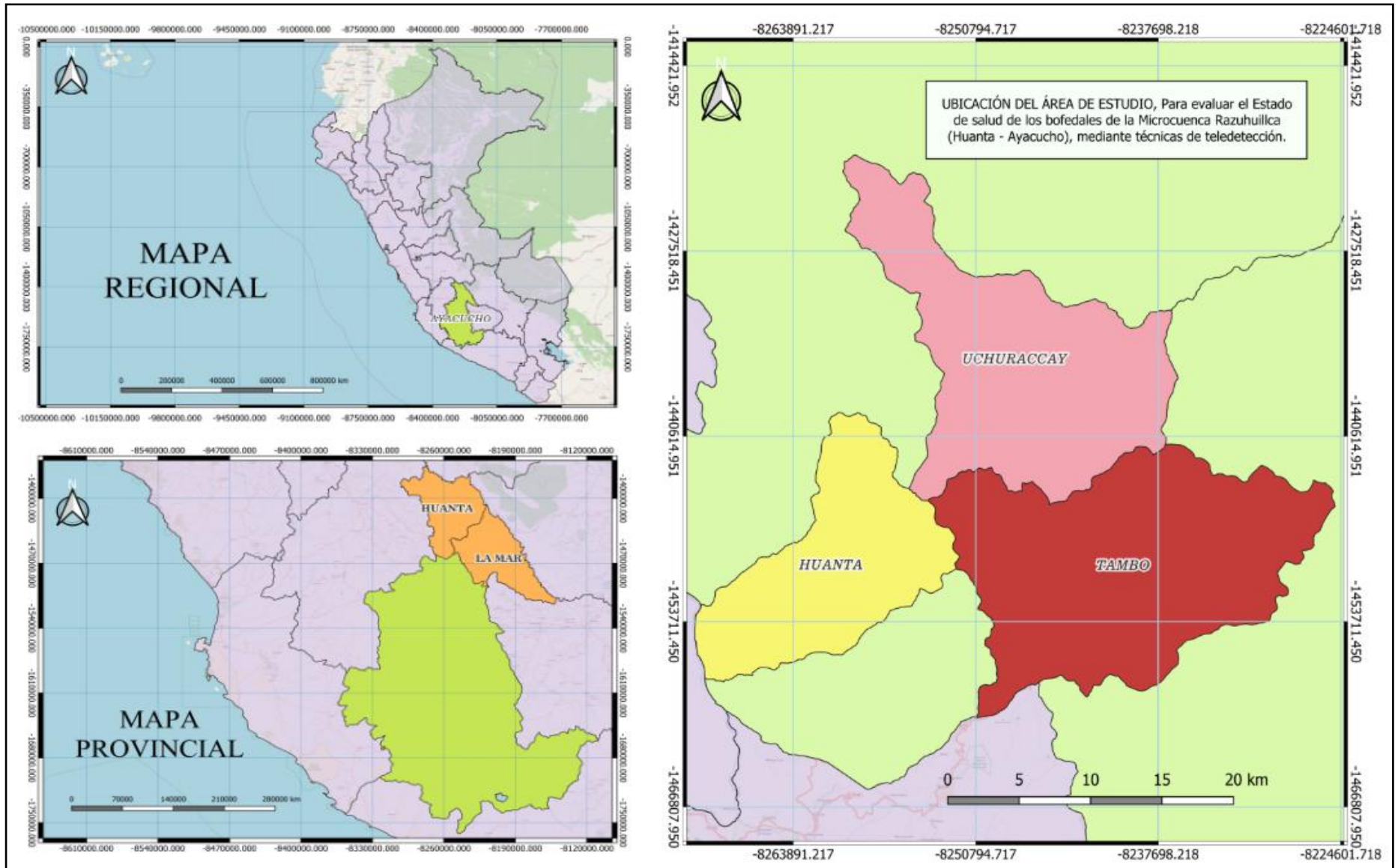
Ámbito Temporal

El ámbito temporal de esta investigación abarca un periodo de 10 meses calendarios, en el que se ejecutaron todas las acciones investigativas en función al cronograma establecido en el proyecto de tesis. Sin embargo, se realizaron algunas acciones previas al tiempo oficial establecido.

Ámbito Espacial

La investigación se centra en la Microcuenca Razuhuillca, ubicada a 4200 m.s.n.m. en la región Ayacucho, abarcando áreas en las provincias de Huanta (distrito de Huanta) y La Mar (distrito de Tambo).

Figura 1. Área de estudio, donde se identificaron bofedales.

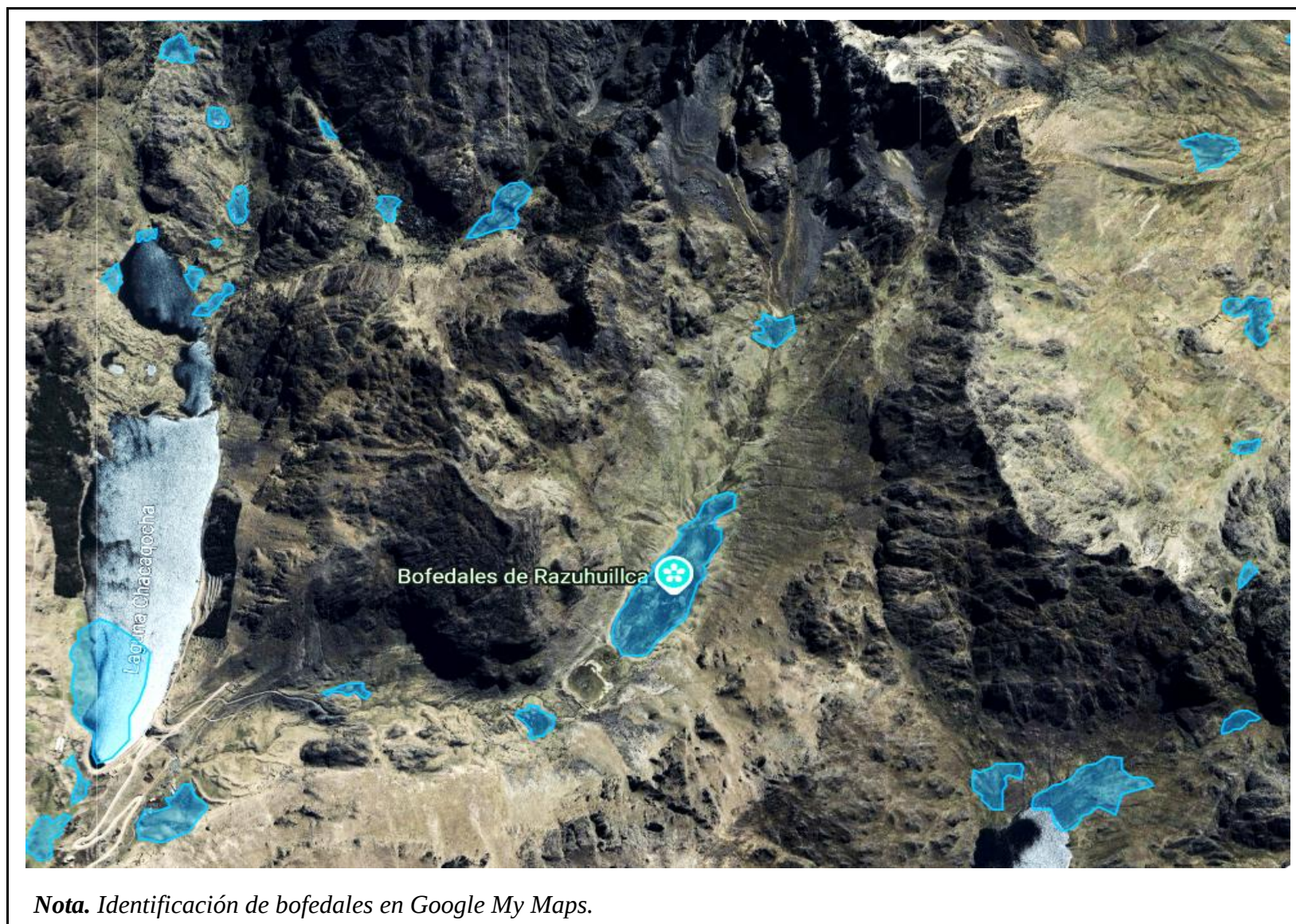


Población y Muestra

La investigación se centra en la Microcuenca Razuhuilca, ubicada a 4200 m.s.n.m. en la región Ayacucho, abarcando áreas en las provincias de Huanta (distrito de Huanta) y La Mar (distrito de Tambo). El mapa base de la microcuenca identificó una población total superior a los mil bofedales, funcionando este inventario global como la base espacial del proyecto. De este total, se extrajo un grupo selecto de ocho bofedales piloto para la verificación presencial mediante un muestreo por conveniencia.

Dicha selección responde a variables distintivas identificadas por sensores remotos e imágenes satelitales (área, cobertura vegetal y fluctuaciones de agua), condicionadas por factores de seguridad, vías de acceso y logística para el trabajo de campo. Asimismo, se consideraron criterios de representatividad ecológica, disponibilidad de información histórica, conectividad hidrológica y nivel de intervención antrópica. Esta estrategia de muestreo permitió la validación directa en campo de la salud de los bofedales mediante inspección visual y la caracterización de la biodiversidad de plantas, garantizando que el proceso digital sea totalmente replicable por otros investigadores.

Figura 2. Bofedales en la Provincia de Huanta (Distrito de Huanta).



Nota. Identificación de bofedales en Google My Maps.

Figura 3. Bofedales en la Provincia de La Mar (Distrito de Tambo).

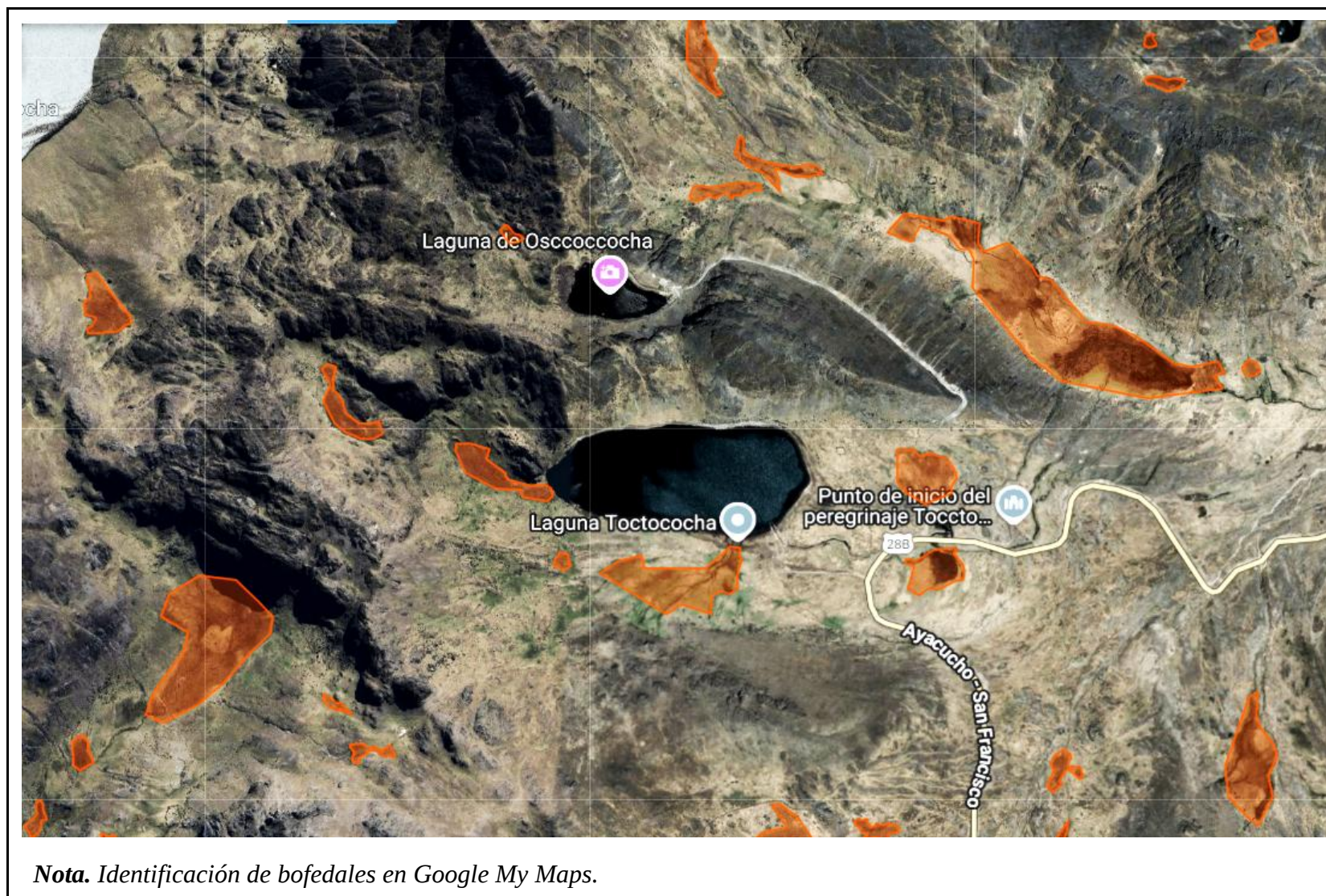


Figura 4. Mapa de los bofedales seleccionados como muestra.

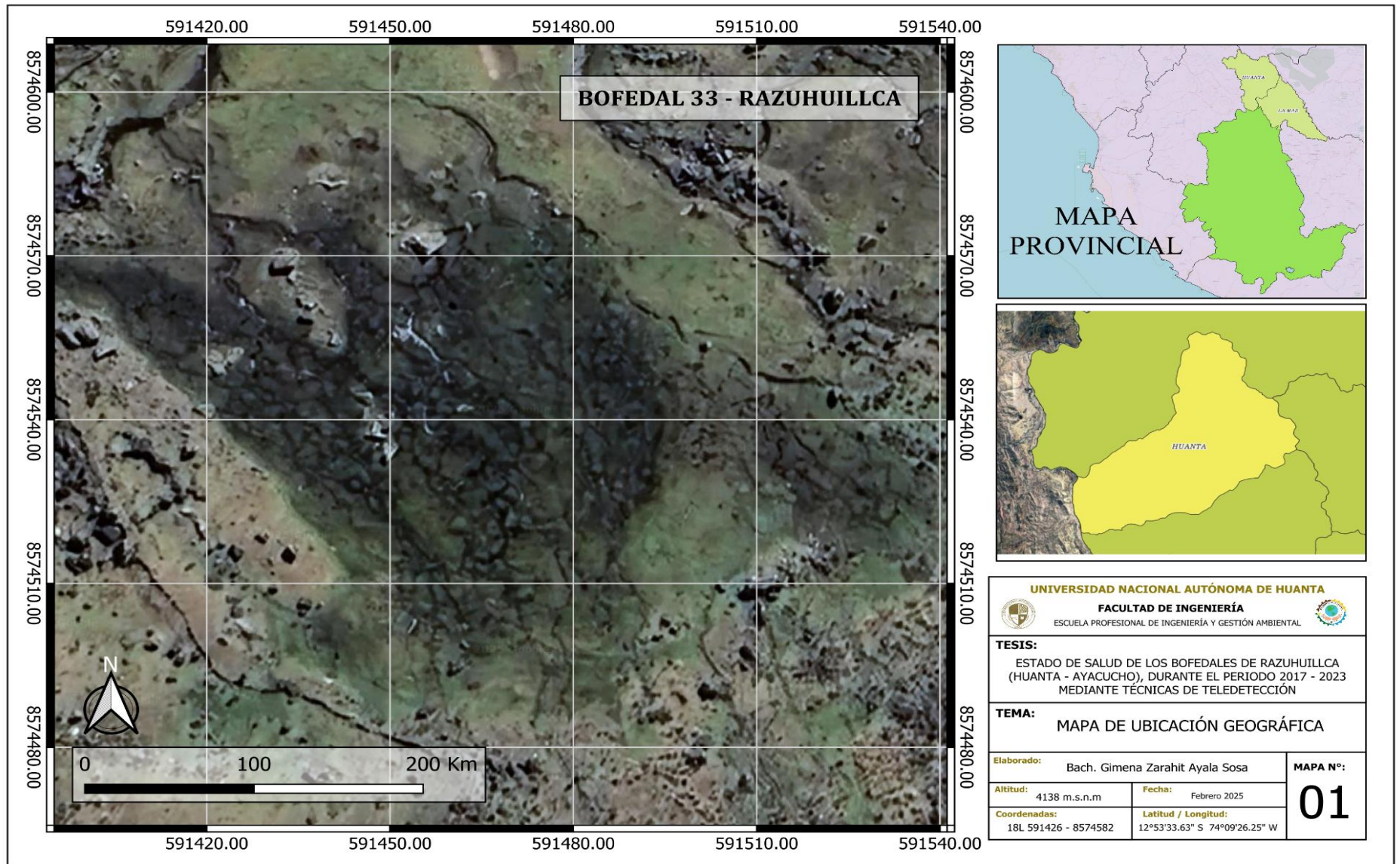


Figura 5. Mapa de los bofedales seleccionados como muestra.

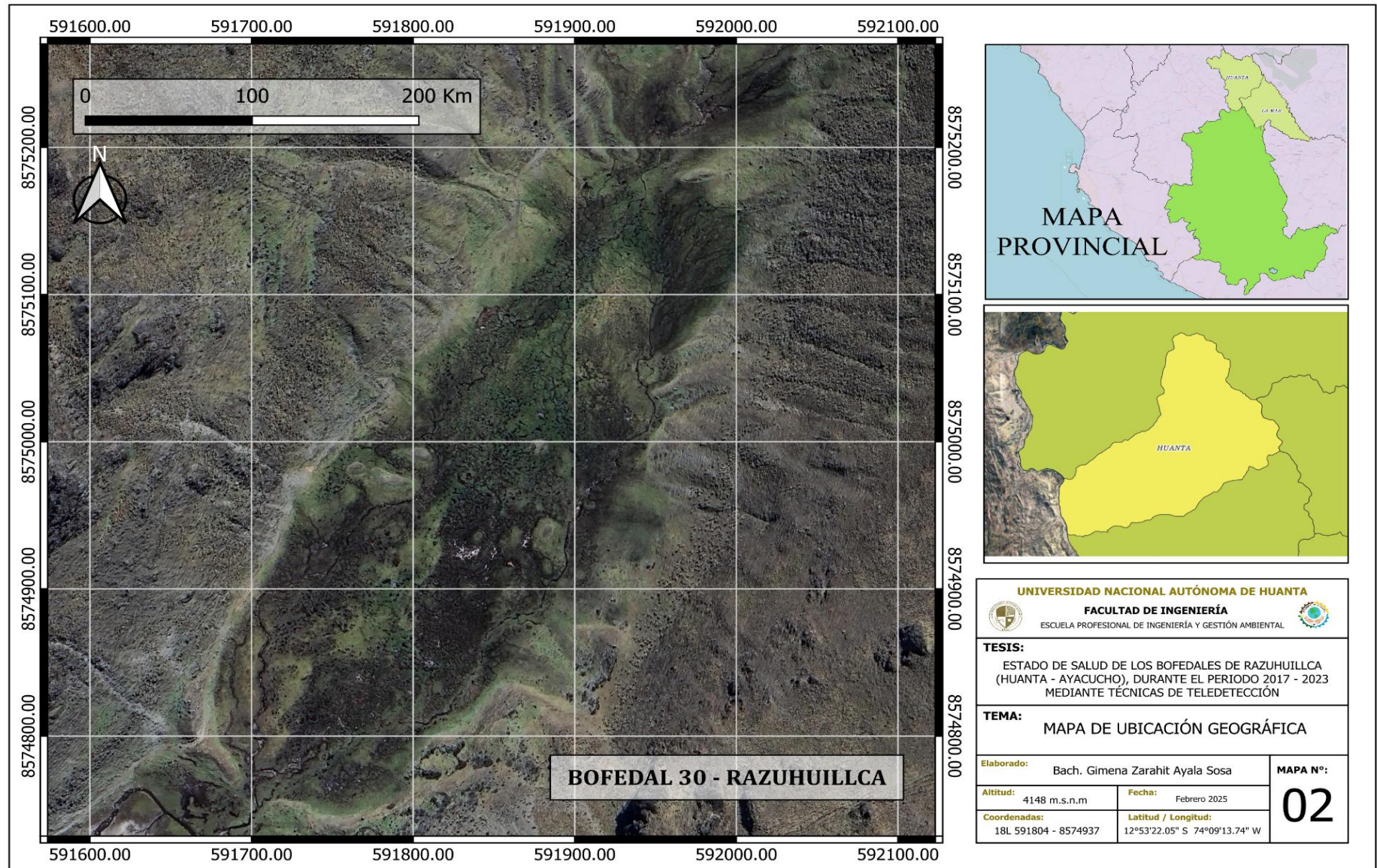


Figura 6. Mapa de los bofedales seleccionados como muestra.

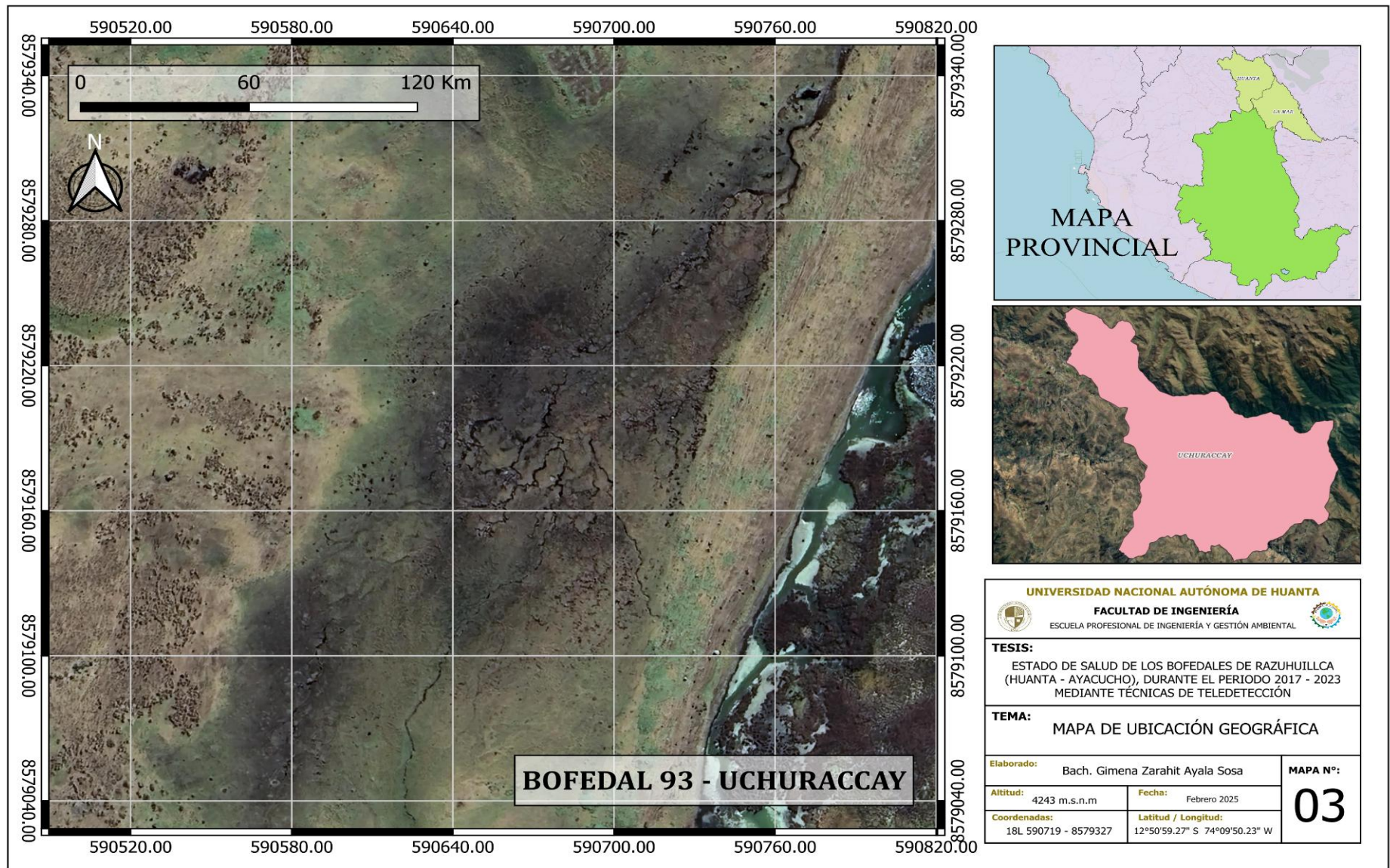


Figura 7. Mapa de los bofedales seleccionados como muestra.

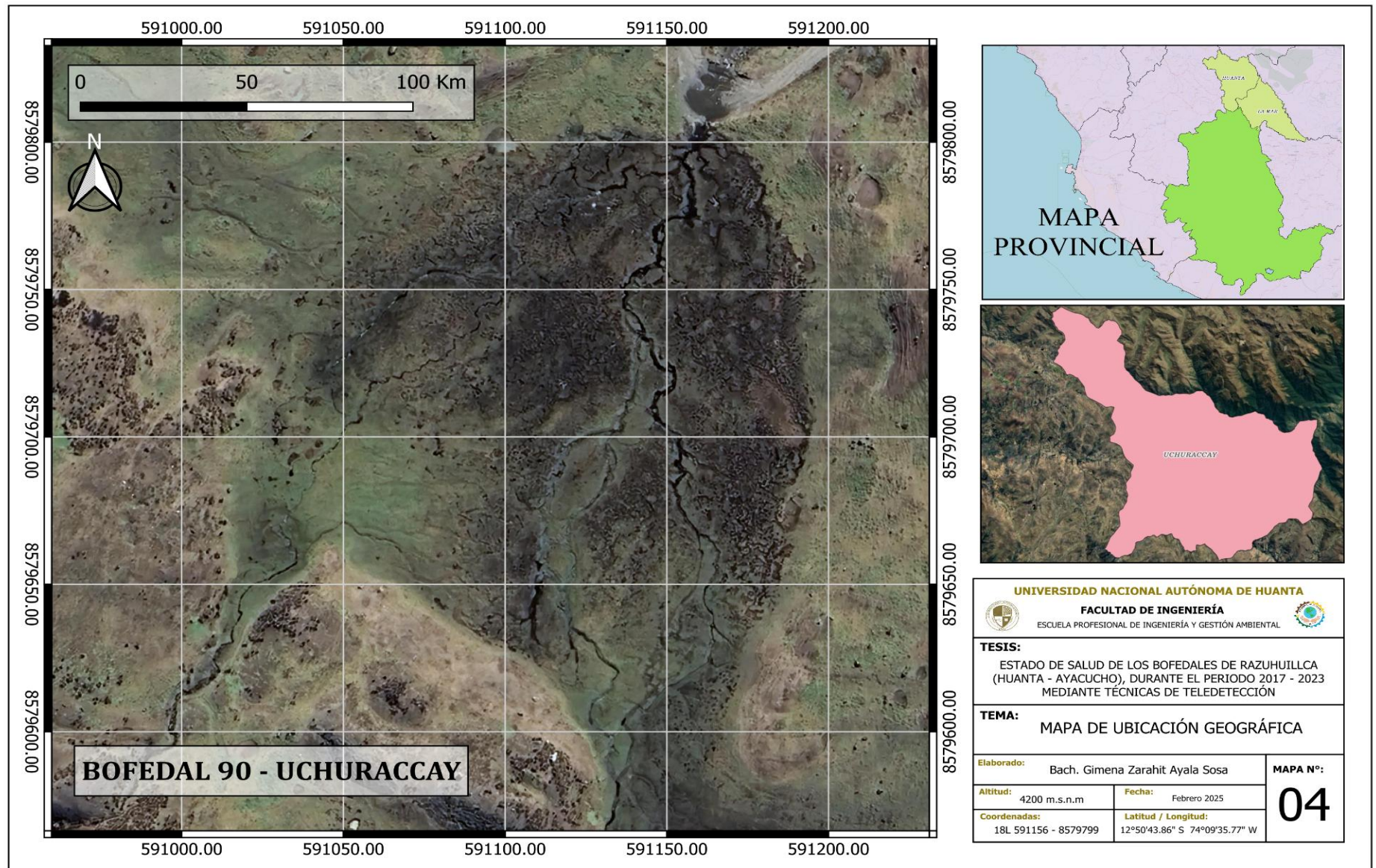


Figura 8. Mapa de los bofedales seleccionados como muestra.

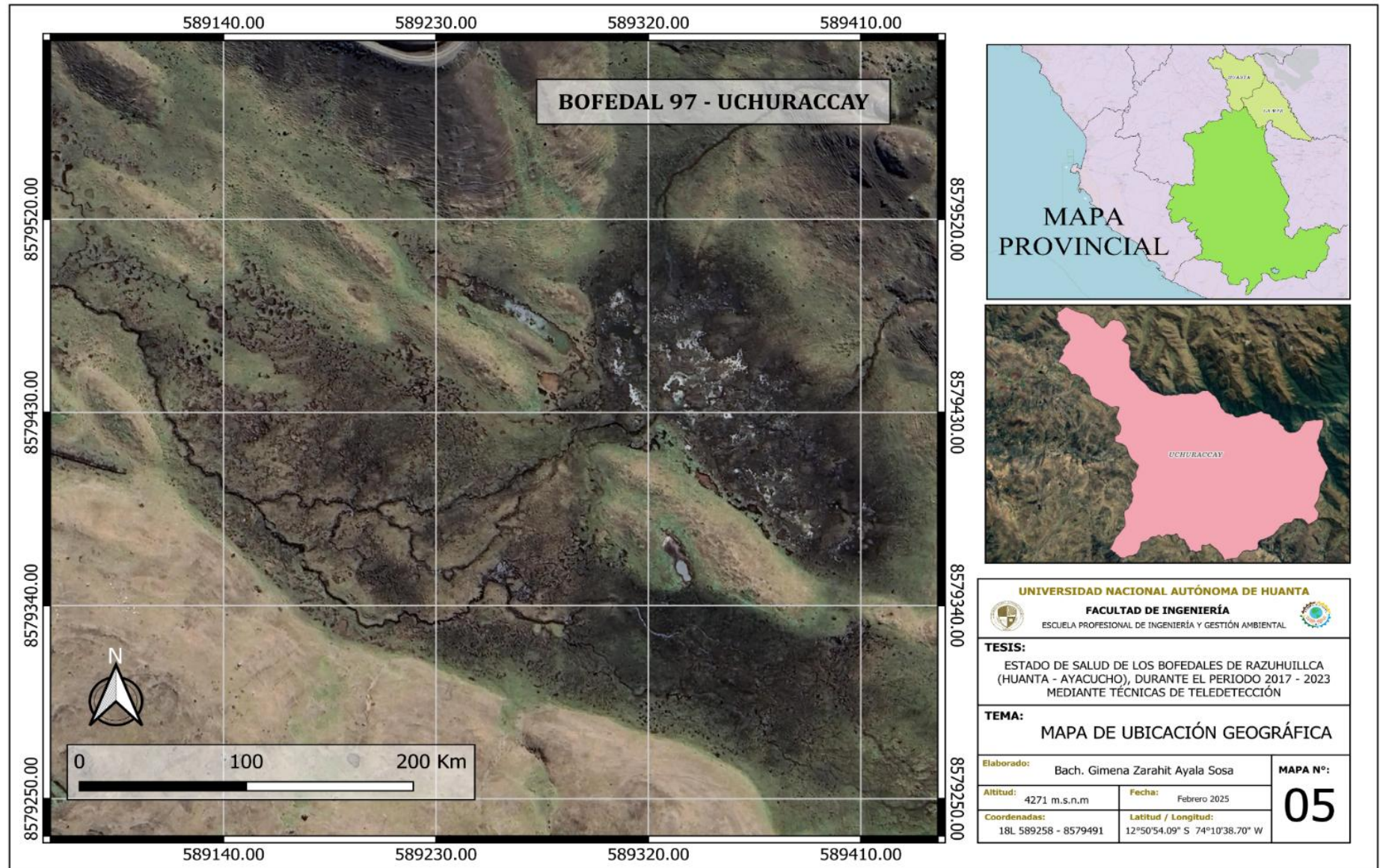


Figura 9. Mapa de los bofedales seleccionados como muestra.

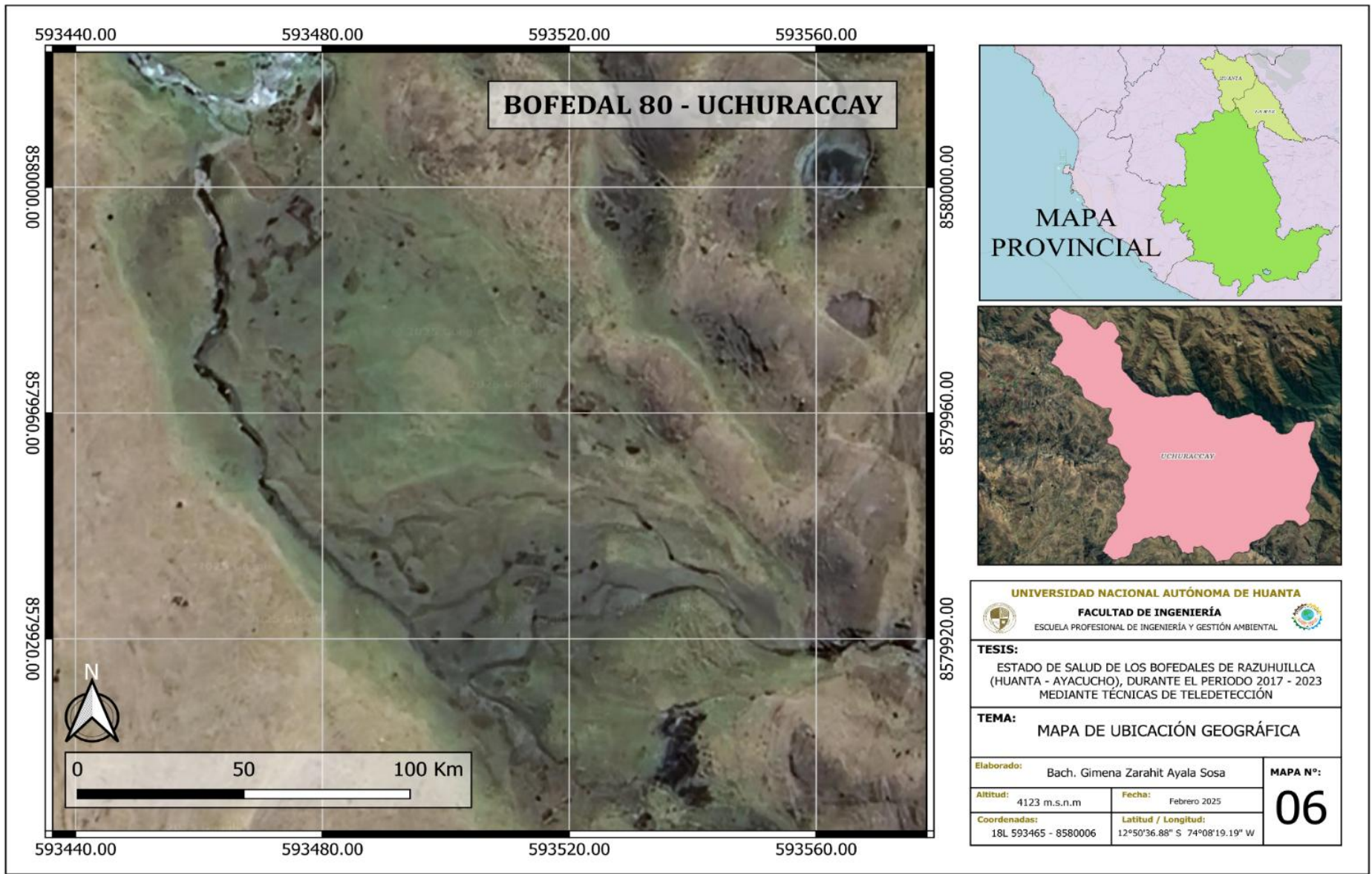


Figura 10. Mapa de los bofedales seleccionados como muestra.

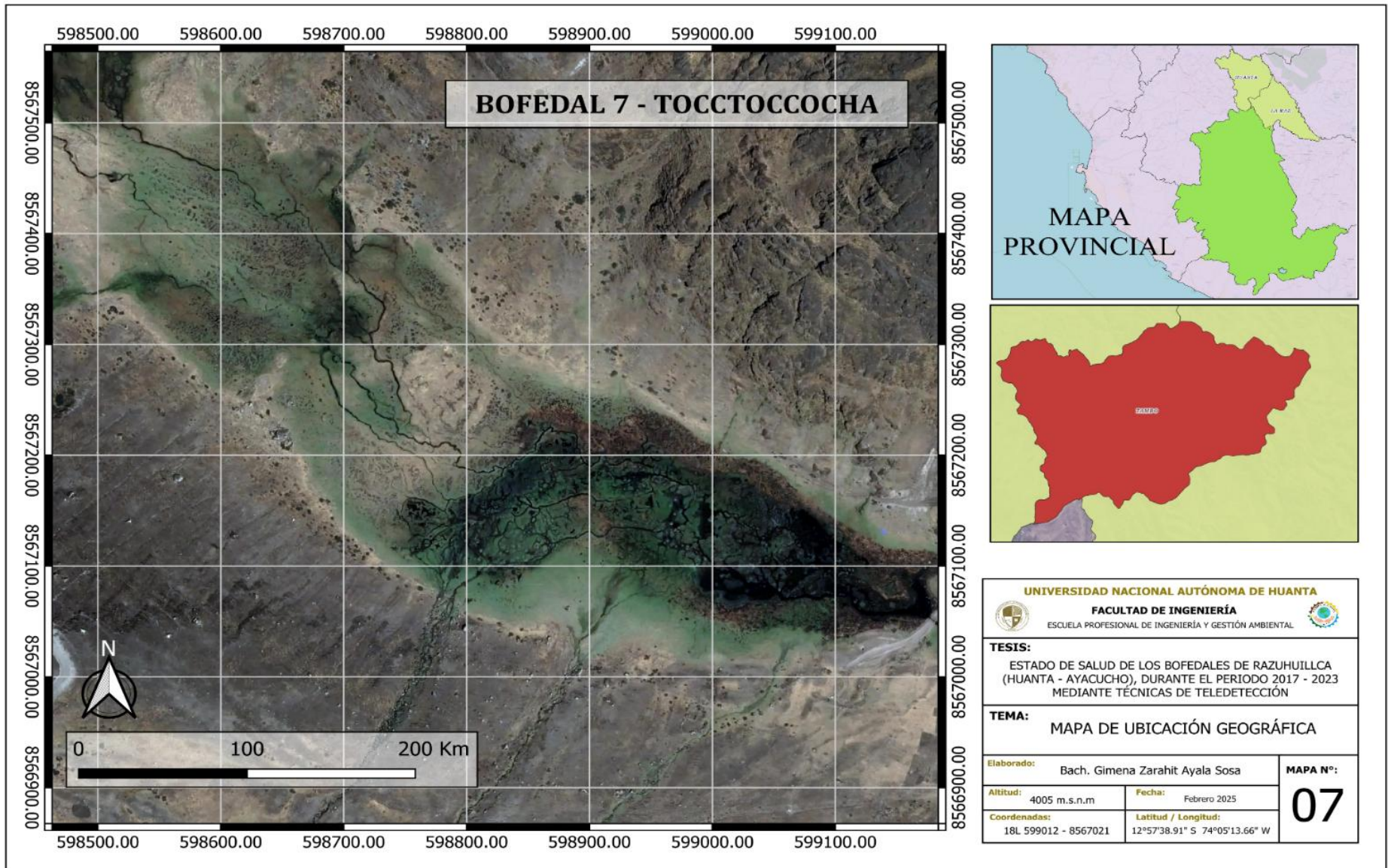
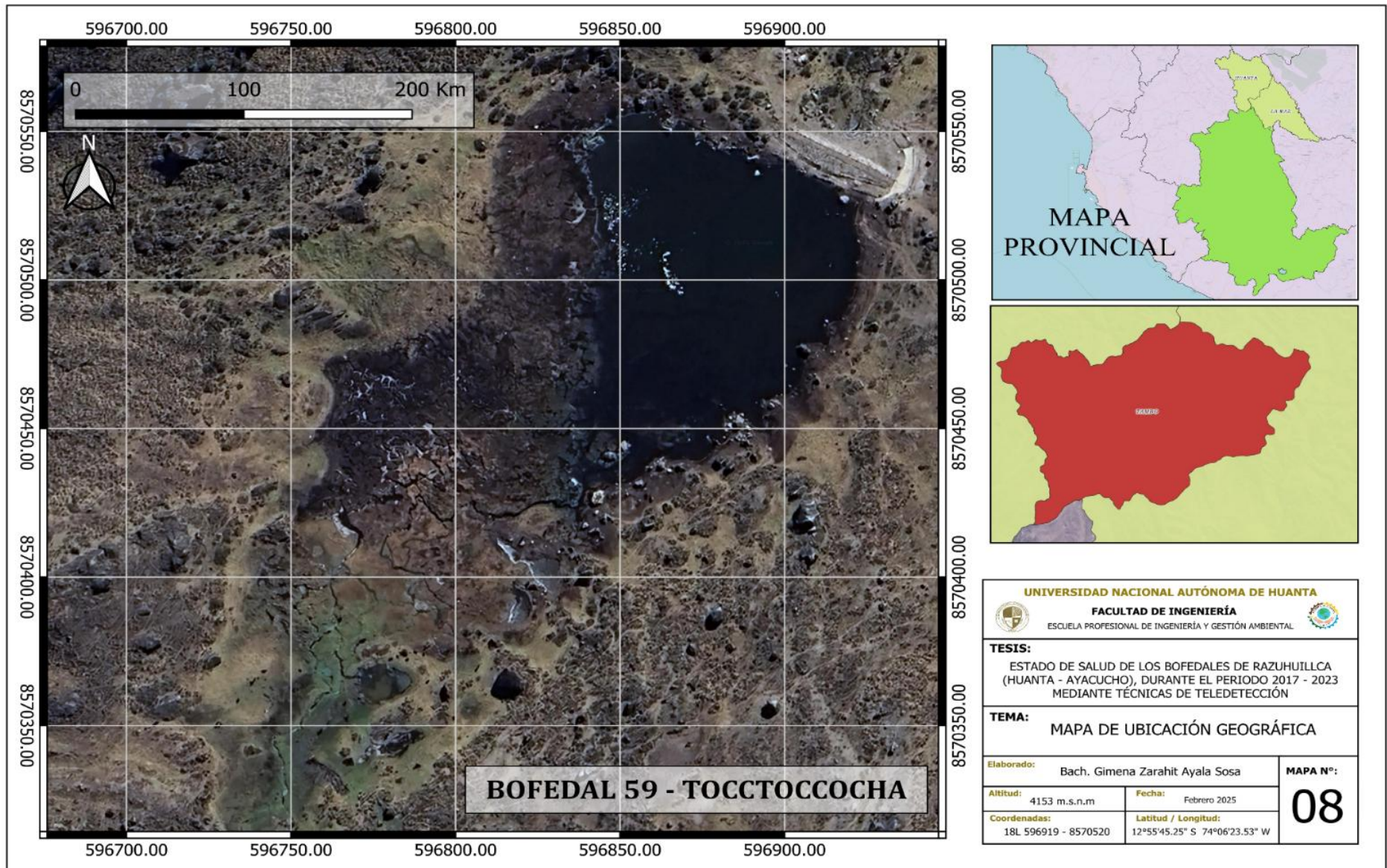


Figura 11. Mapa de los bofedales seleccionados como muestra.



Materiales y Recursos

Los recursos empleados para el desarrollo de la investigación se estructuraron metodológicamente en función de las fases del proyecto. Estos se clasifican en materiales e instrumentos utilizados tanto para las actividades operativas de levantamiento de datos en el trabajo de campo, como para el procesamiento, análisis espacial y redacción técnica en el trabajo de gabinete, los cuales se detallan a continuación:

Materiales y Equipos de campo

- ❖ 1 GPS Navegador Modelo GARMIN Etrex Vista HCx.
- ❖ Sistema aeronave pilotado a distancia (RPAS) con baterías de polímero.
- ❖ Sensor Multiespectral
- ❖ Cámara fotográfica
- ❖ Binoculares
- ❖ Botas de agua
- ❖ Disco duro externo
- ❖ Útiles de escritorio

Materiales y Equipos para trabajo en gabinete

- ❖ Laptop HP Intel(R) Core (TM) i7-6600U CPU @ 2.60GHz 2.81 GHz.
- ❖ Software QGis 3.34.3
- ❖ Google Colab
- ❖ Google My Maps
- ❖ Google Earth Pro
- ❖ Imágenes Sentinel-2 de un periodo de 7 años (2017 - 2023)

Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos

Según Medina et al. (2023) para garantizar que el proceso investigativo sea válido, confiable y que los resultados sean precisos y pertinentes, se han considerado algunas técnicas e instrumentos en una investigación porque estos son fundamentales para la recolección de datos y el análisis e interpretación de los datos.

Técnicas

La técnica principal utilizada en esta investigación fue la observación, la cual es valiosa para la recolección de datos en campo y poder analizar el entorno de nuestra investigación de manera descriptiva para proporcionar información objetiva y detallada sobre el entorno (Medina, y otros, 2023).

Instrumentos

Los instrumentos utilizados en la investigación fueron:

❖ Ficha de Observación

La ficha de observación es una herramienta útil en la investigación, que permite recopilar datos de manera objetiva y sistemática, es decir, realizar la validación directa en campo. Facilita la comparación de información al seguir una estructura predefinida. Además, existen varios tipos de fichas de observación, por lo que en este proyecto se trabajará con la “Ficha de observación del entorno”, el cual se utiliza para registrar y analizar las características del entorno o del contexto en el que ocurre un fenómeno o evento (Medina, y otros, 2023).

Figura 12. Fichas de observación utilizadas en la fase de campo.

FICHA DE OBSERVACIÓN - SALIDAS A CAMPO					
TÍTULO DEL PROYECTO		"ESTADO DE SALUD DE LOS BOFEDALES DE RAZUHUILLCA (HUANTA - AYACUCHO), DURANTE EL PERIODO 2017 - 2023 MEDIANTE TÉCNICAS DE TELEDETECCIÓN"			
LUGAR:		FECHA:			
UBICACIÓN:		COORDENADAS GPS:			
CARACTERÍSTICAS	DESCRIPCIÓN			OBSERVACIONES	
CONDICIONES CLIMÁTICAS	Altitud				
	Latitud				
	T°				
	Pa				
CARACTERÍSTICAS DEL SUELO	Buena retención de agua				
	Alta materia orgánica				
	Capacidad de drenaje				
	Integridad paisajística				
IMPACTOS ANTROPOGÉNICOS	IMPACTO DIRECTO				
	Contaminación				
	Construcción de Infraestructuras				
	Sobrepastoreo				
	Minería				
	Urbanización				
		IMPACTO INDIRECTO			
		Cambio Climático			
		Pérdida de servicios ecosistémicos			
		Especies Invasoras			
CONDICIÓN DE LA BIOTA	FAUNA				
	Aves				
	Camélidos				
	Vacunos				
	Ovinos				
	Otros				
	FLORA				
	Distichia muscoides				
	Azorella diapsenioides				
	Coirón (Festuca spp.)				
	Hypochaeris meyeniana				
	Oritrophium limnophilum				
	Perezia nivalis				
	Oreobolus obtusangulus				
Deficiente					
Regular					
Bueno					
CLASIFICACIÓN DEL ESTADO DE SALUD	Óptimo				

Nota. Ficha elaborada a través de recopilación de bibliografía y especies que son más comunes de encontrar en los bofedales. Según la Guía de Evaluación del Estado del ecosistema del Bofedal (MINAM, 2019).

❖ Tabla de clasificación del estado de salud de los bofedales

La tabla de clasificación del estado de salud de los bofedales permite evaluar de forma objetiva estos ecosistemas mediante rangos como deficiente, regular, bueno y óptimo, basados en criterios del MINAM relacionados con vegetación, agua y degradación. Además, facilita comparar sitios y complementar los resultados de teledetección (MINAM, 2019).

Figura 13. Tabla de clasificación del estado de salud de los bofedales.

CLASIFICACIÓN DEL ESTADO DE SALUD DE LOS BOFEDALES			
NIVEL DE ESTADO		CARACTERÍSTICAS	RANGO
1	ESTADO DEFICIENTE	- Vegetación escasa o muy degradada. - Escasa diversidad de especies. - Agua contaminada con niveles inadecuados de nutrientes. - Grandes fluctuaciones en los niveles de agua. - Capacidad de retención de agua muy baja. - Suelo degradado y alta vulnerabilidad a perturbaciones.	< 0.05
2	ESTADO REGULAR	- Cobertura vegetal insuficiente o con baja diversidad - Reducción significativa en la variedad de especies. - Agua con niveles elevados de nutrientes o contaminantes. - Cambios significativos en los niveles de agua. - Capacidad de retención de agua limitada. - Suelo con deficiencias. - Baja resiliencia.	0.05 – 0.08
3	ESTADO BUENO	- Vegetación densa, pero con menor diversidad. - Presencia de diversas especies con algunas reducciones. - Agua mayormente limpia con niveles de nutrientes ligeramente elevados. - Estabilidad moderada en los niveles de agua, buena retención de agua. - Suelo adecuado, pero con algunas deficiencias. - Resiliencia aceptable.	0.08 – 0.11
4	ESTADO ÓPTIMO	- Cobertura vegetal densa y diversa. - Alta diversidad biológica. - Agua limpia con niveles adecuados de nutrientes. - Estabilidad en los niveles de agua, alta retención de agua. - Suelo rico en materia orgánica. - Resiliencia alta frente a perturbaciones.	> 0.11

Nota. Tabla elaborada a través de recopilación de bibliografía, Se tomó como referencia a la Guía de Evaluación del Estado del ecosistema del Bofedal (MINAM, 2019).

Procedimiento

Fase Pre-Campo

Esta etapa preliminar empleó un muestreo no probabilístico por conveniencia, guiado por criterios intencionales y de viabilidad logística. Comenzó programando un algoritmo en Google Colab con la API de Google Earth Engine para automatizar la identificación, apoyado en la validación visual con Google Earth y Google My Maps bajo el sistema de coordenadas local. De este modo, se cartografió el área de estudio en Huanta y Tambo, registrando un universo masivo superior a mil bofedales en la microcuenca que sirvió como marco geográfico de referencia.

A partir de este inventario, se seleccionó una muestra focalizada de ocho unidades piloto estratégicas para su posterior corroboración directa en el terreno. La elección de estos bofedales específicos se basó en rasgos observados por teledetección, como extensión superficial, densidad vegetal, dinamismo hídrico (inundaciones o sequías), accesibilidad terrestre y seguridad logística. Este enfoque metodológico asegura un código de origen digital cien por ciento reproducible por la comunidad científica.

Finalmente, se diseñaron las herramientas de recolección de datos que se utilizarán durante las visitas de verificación ambiental. Estos instrumentos consisten en fichas de observación estandarizadas y una tabla de clasificación técnica, estructuradas con el propósito de optimizar y facilitar la evaluación del estado de salud integral de cada bofedal seleccionado.

Fase de Campo

Durante esta etapa, se verificaron *in situ* los ocho bofedales seleccionados en la microcuenca de Razuhuilca (Huanta y La Mar). El alcance fue estrictamente descriptivo y se limitó a las condiciones físicas, ecológicas y biológicas observadas de manera directa, sin realizar extrapolaciones estadísticas al universo total. El propósito fue contrastar y validar los datos de teledetección (NDVI y NDWI) con la evidencia real del ecosistema, asegurando la correcta interpretación de los índices remotos y la precisión del diagnóstico ambiental.

Para la recolección de datos, se usaron GPS, cámaras y una ficha de observación estandarizada de autoría propia basada en literatura altoandina. Este instrumento evaluó de forma homogénea cuatro componentes críticos: clima local, características del suelo e hidrología, impactos antropogénicos como sobrepastoreo, y la condición de la biota. La ponderación de estas variables cuantitativas y cualitativas permitió clasificar el estado de salud general de cada bofedal en las categorías de Óptimo, Bueno, Regular o Deficiente.

Finalmente, el registro fotográfico y los datos recolectados se tabularon e ingresaron a Google Colab. Mediante el uso de las librerías de Python (Pandas y NumPy), se calculó de forma automatizada la estadística descriptiva (medias y medianas) y la variabilidad (desviación estándar y coeficiente de variación). Este flujo digital garantizó un procesamiento automatizado, una trazabilidad reproducible y una cadena de custodia de datos completamente libre de manipulación manual.

Análisis de Datos

El análisis de datos se desarrolló en dos niveles complementarios: El procesamiento digital de imágenes satelitales y la interpretación de observaciones de campo. Esta combinación metodológica permitió integrar información cuantitativa y cualitativa, fortaleciendo la evaluación del estado ecológico de los bofedales.

Procesamiento de imágenes satelitales

Se utilizaron imágenes multiespectrales del satélite Sentinel-2 correspondientes al periodo 2017–2023, descargadas desde la plataforma Copernicus Open Access Hub y procesadas en la API de Google Earth Engine y el software QGIS 3.34.3. El procesamiento abarcó la corrección atmosférica y el recorte del área de estudio en la microcuenca. Cabe precisar que, debido a la persistente cobertura de nubes (superior al 30%) y a la presencia de artefactos de sombra que imposibilitaron una corrección atmosférica óptima, se descartaron las imágenes correspondientes a los años 2017 y 2018 por no cumplir con los estándares de calidad requeridos. Por lo tanto, para garantizar la rigurosidad estadística y evitar sesgos en las tendencias estacionales, el procesamiento efectivo se concentró en la serie continua 2019 - 2023.

A partir de la información disponible, se calculó el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) para evaluar la densidad y vigor de la cobertura vegetal, y el Índice de Agua de Diferencia Normalizada (NDWI) para analizar la presencia y retención de humedad superficial. Finalmente, un análisis multitemporal permitió graficar las variaciones anuales de ambos índices para identificar tendencias, fluctuaciones estacionales y patrones de cambio a largo plazo en la cobertura vegetal y la humedad del suelo.

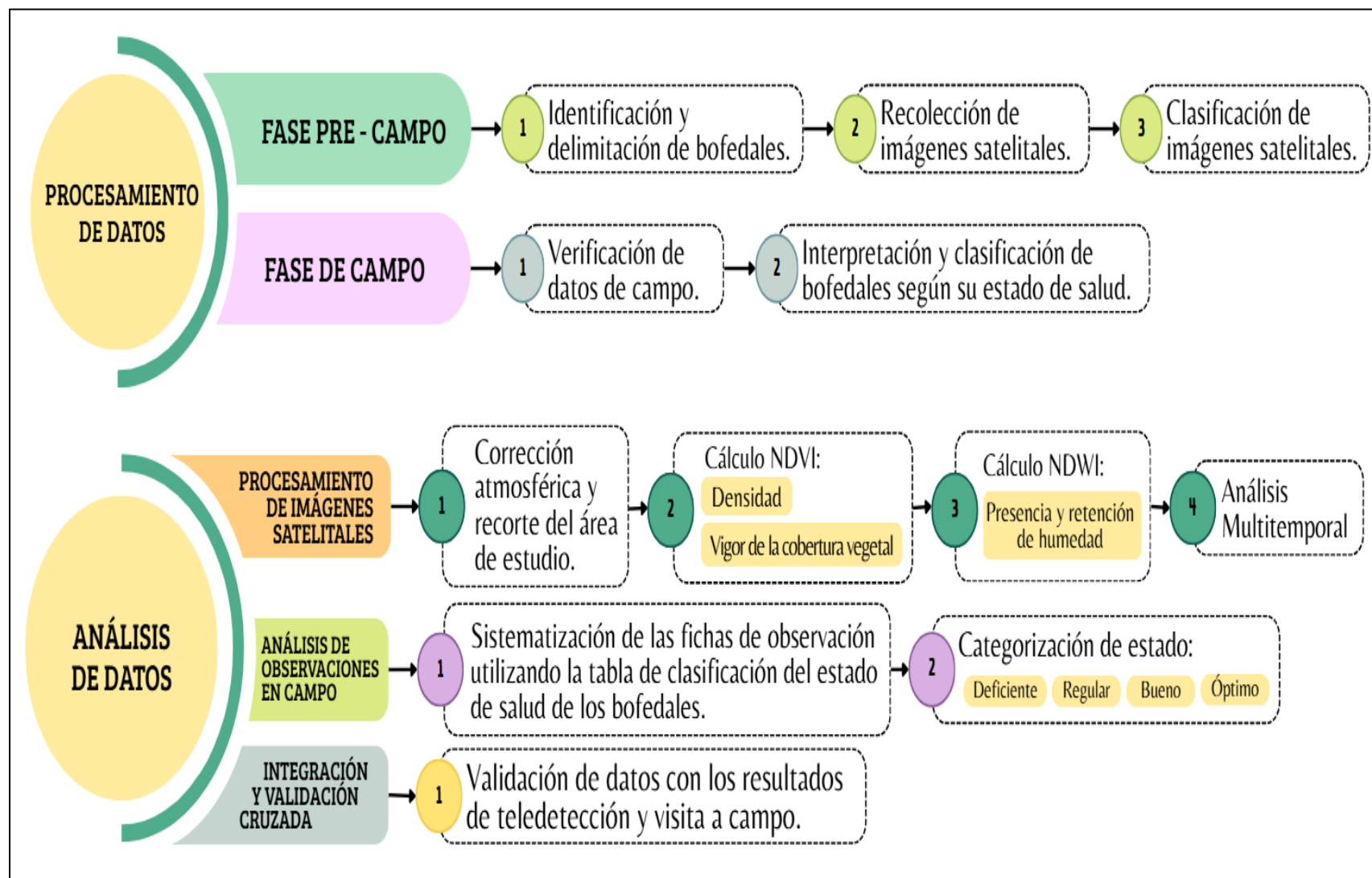
Análisis de observaciones de campo

La información recolectada de forma homogénea en las fichas de observación de autoría propia fue sistematizada en un entorno de Google Colab. La evaluación técnica se alineó con los lineamientos de la Guía de Evaluación del estado del ecosistema de bofedal Ministerio del Ambiente (MINAM, 2019) para entornos altoandinos, examinando detalladamente la diversidad y abundancia de la biota, la presencia de cuerpos de agua superficial, las condiciones climáticas del entorno y las evidencias de degradación antrópica como el sobrepastoreo, la erosión y la compactación. Mediante la ponderación de estas variables cualitativas y cuantitativas, cada unidad piloto fue categorizada en los niveles de deficiente, regular, bueno y óptimo. Esta escala se aplicó a través de una matriz de valoración de elaboración propia, estructurada y adaptada a partir de los criterios técnicos de la Guía mencionada. Finalmente, dicha ponderación se contrastó de manera directa con los resultados obtenidos mediante los índices espectrales.

Integración y validación cruzada

Finalmente, para validar los sensores remotos y la interpretación de las firmas espectrales, se realizó una triangulación de datos entre los resultados de teledetección y los hallazgos de campo. Mediante librerías especializadas de Python (Pandas y NumPy), se calcularon de forma automática estadísticas descriptivas y de variabilidad (medias aritméticas y medianas, desviación estándar y coeficiente de variación). Este análisis permitió contrastar los rangos de salud clasificados con los valores numéricos de los índices NDVI y NDWI, logrando una visión integral y confiable de la condición ecológica de los ecosistemas estudiados bajo un flujo digital libre de manipulación manual.

Figura 14. Flujograma de procesamiento y análisis de datos.



Resultados y Discusión

Resultados

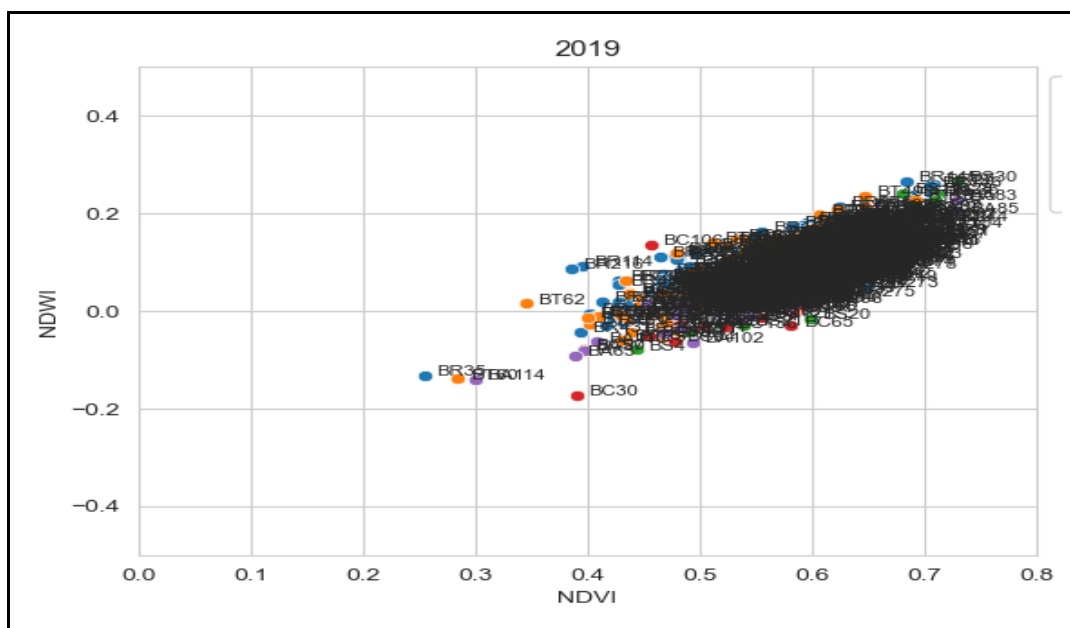
Los resultados obtenidos mediante el análisis satelital (NDVI y NDWI) y el trabajo de campo permitieron responder directamente a los objetivos y preguntas de la investigación. El análisis multitemporal del periodo 2019-2023 evidenció una tendencia positiva en ambos índices, indicando una condición ecológica estable y funcional en la mayoría de los bofedales evaluados. La clasificación de su estado se realizó mediante una tabla diseñada a partir de información bibliográfica especializada, lo que permitió determinar si los bofedales se encontraban en estado deficiente, regular, bueno u óptimo.

Análisis Satelital

Para responder al primer objetivo específico, enfocado en identificar la disponibilidad y distribución espacial de la biodiversidad vegetal y el recurso hídrico, este subcapítulo expone el análisis multitemporal mediante los índices NDVI y NDWI. Estos datos satelitales permitieron examinar las tendencias ecológicas de los bofedales de Razuhuillca y categorizar su estado de salud en rangos que van desde deficiente hasta óptimo.

En el análisis satelital, los datos se procesaron en Google Colab mediante scripts que generaron gráficos de dispersión entre los índices NDVI y NDWI, los cuales fueron clave para identificar bofedales con posibles deficiencias ecológicas, ya sea por baja cobertura vegetal o por menor humedad superficial. La posición de cada punto en el plano NDVI–NDWI identificó bofedales atípicos con condiciones distintas y menor semejanza ecológica al alejarse del patrón general. Esta interpretación determinó la selección de las áreas de muestreo para analizar en campo las causas de su divergencia.

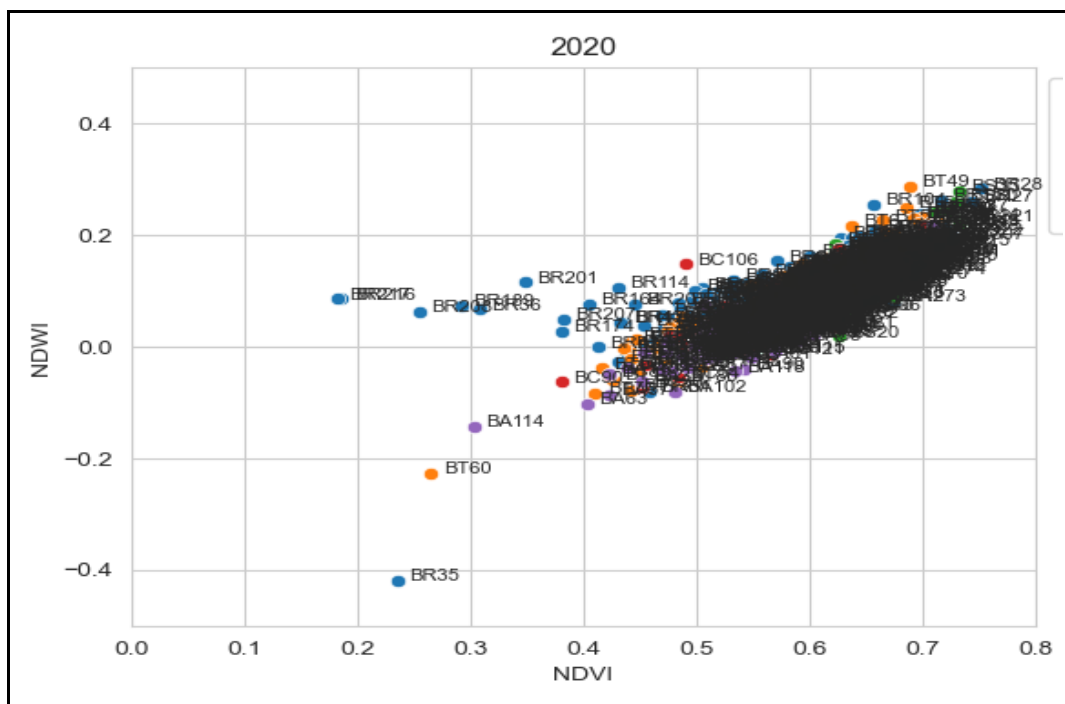
Figura 15. Diagrama de dispersión de los datos del 2019.



Año 2020: El diagrama de dispersión correspondiente al año 2020 (Figura 16) muestra una relación positiva y más definida entre el NDVI y el NDWI, confirmando una correspondencia directa entre el vigor vegetal y la humedad. La mayoría de los bofedales se concentran establemente entre valores de NDVI de 0.5 a 0.7 y NDWI de 0.05 a 0.20, lo que refleja condiciones vegetales saludables y una óptima retención hídrica en la mayor parte de la microcuenca.

Por el contrario, se identificó un grupo de unidades que se segregan de la tendencia central debido a condiciones de estrés hídrico. El bofedal BR35 se consolida como el caso más crítico con un NDWI inferior a -0.40, seguido por BT60, BA114 y BC30, cuyos valores caen por debajo de 0.0. Asimismo, puntos como BC106 se dispersan fuera del núcleo principal, evidenciando sectores con menor humedad o en procesos activos de degradación dentro del universo evaluado.

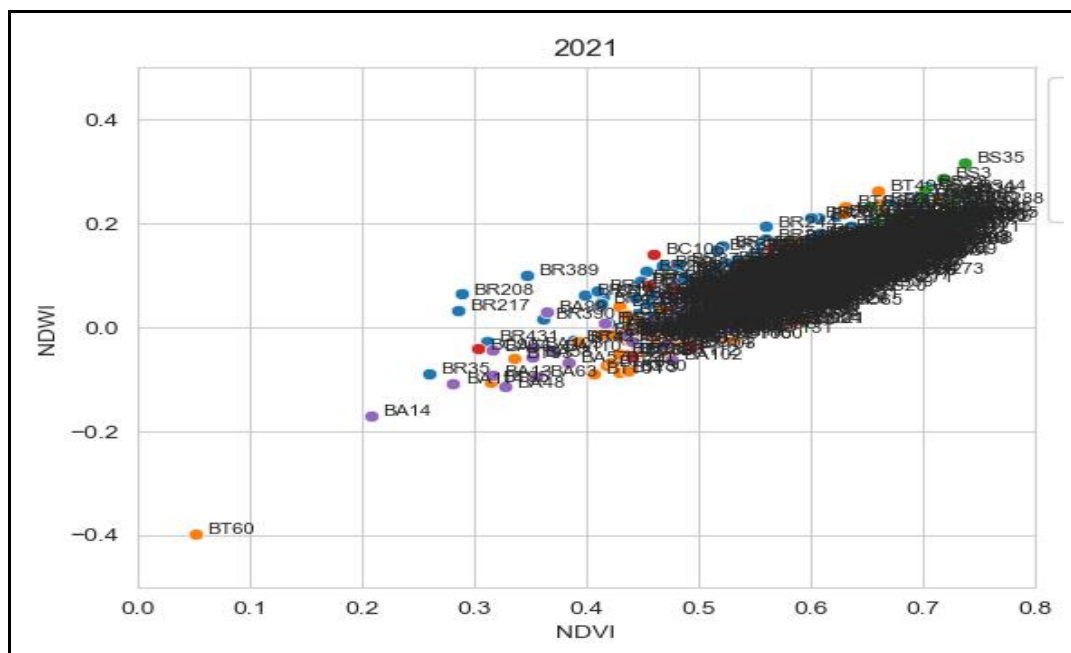
Figura 16. Diagrama de dispersión de los datos del 2020.



Año 2021: El diagrama de dispersión correspondiente al año 2021 (Figura 17) muestra una relación entre el NDVI y el NDWI aún más compacta, confirmando una mayor estabilidad y homogeneidad en el comportamiento de los bofedales. El núcleo principal de la población mantiene su concentración entre valores de NDVI de 0.5 a 0.7 y NDWI de 0.05 a 0.20, lo que refleja la persistencia de una buena cobertura vegetal y una adecuada disponibilidad de recursos hídricos en la mayor parte de la microcuenca.

Por otra parte, el análisis espacial de este periodo identificó una reducción de las zonas secas, quedando solo algunos sectores aislados en la periferia debido al estrés hídrico. El bofedal BT60 se posiciona como el punto más crítico con un NDWI extremo de -0.4 y un NDVI inferior a 0.1, seguido de forma dispersa por unidades como BA14 y BR35 con valores negativos por debajo de 0.0. Estos puntos específicos constituyen anomalías que evidencian procesos locales de degradación o desecación frente a la tendencia de recuperación global que experimenta el universo evaluado.

Figura 17. Diagrama de dispersión de los datos del 2021.



Año 2022: El diagrama de dispersión correspondiente al año 2022 (Figura 18), muestra una tendencia positiva bien definida, confirmando la correspondencia directa entre el vigor vegetal y la humedad. La mayoría de los bofedales se agrupan de manera estable entre valores de NDVI de 0.4 a 0.7 y NDWI de 0.0 a 0.2, lo que refleja condiciones vegetales y de retención hídrica estables en la mayor parte de la microcuenca.

No obstante, se observan valores dispersos asociados a estrés hídrico temporal o baja retención. El bofedal BT60 permanece aislado con un NDVI crítico inferior a 0.1, mientras que unidades como BT59, BA114 y BA14 registran NDWI negativos. En contraste, BR210 actúa como un atípico inverso con alta humedad a pesar de su bajo índice de vegetación, evidenciando respuestas locales heterogéneas dentro del universo evaluado.

Figura 18. Diagrama de dispersión de los datos del 2022.

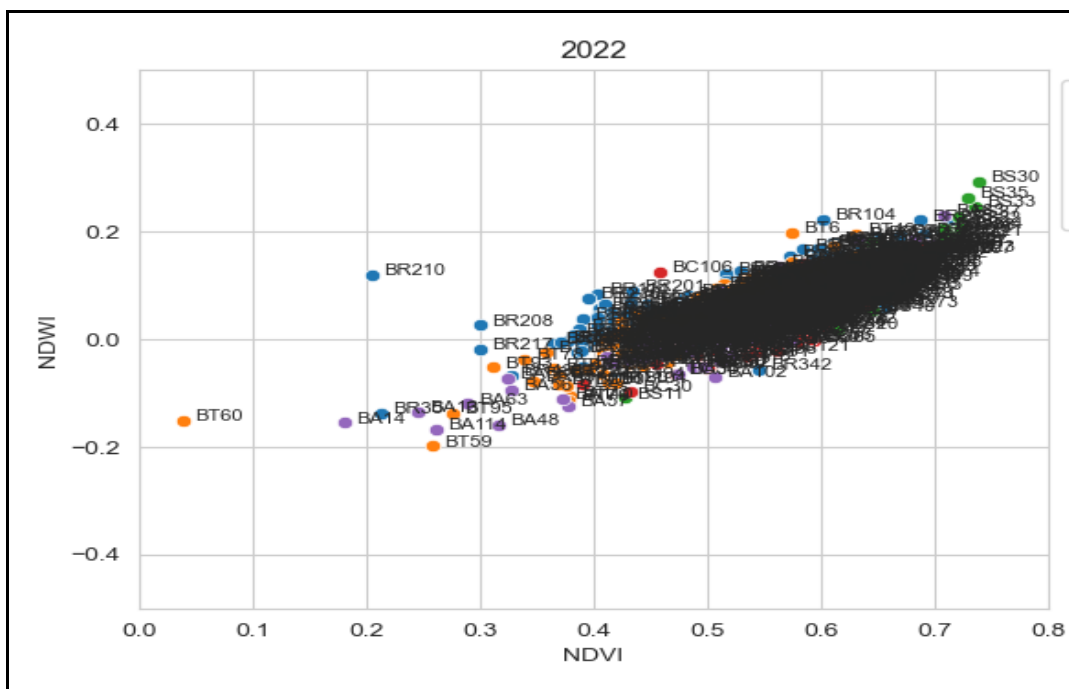
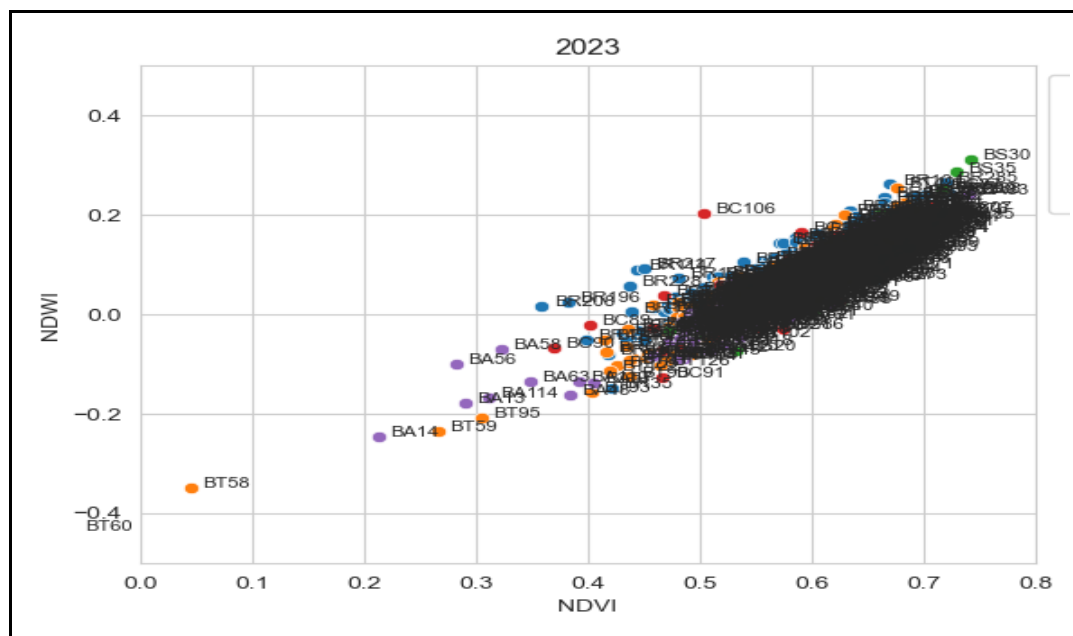


Figura 19. Diagrama de dispersión de los datos del 2023.



El análisis satelital determinó que los bofedales de la microcuenca Razuhuillca presenta en un estado de salud ÓPTIMO y una tendencia general a la estabilidad ecológica. Aunque se registraron disminuciones puntuales de humedad superficial y cobertura vegetal, estas variaciones son normales en los ecosistemas altoandinos debido a la estacionalidad, la microtopografía y propia dinámica hídrica.

Los índices NDVI y NDWI respaldan este diagnóstico al mostrar un vigor vegetal adecuado y niveles de humedad funcionales. La coherencia entre ambos indicadores confirma que estas reducciones locales, no afectan el comportamiento global del ecosistema, el cual se mantiene favorable gracias a la resiliencia natural de los bofedales.

Observaciones en Campo

En concordancia con el segundo objetivo específico, orientado a comparar los cambios temporales en la disponibilidad hídrica y la cobertura vegetal de los bofedales de Razuhuillca (2019-2023), en este apartado se presentan los hallazgos de la validación directa en campo. Estos datos recolectados *in situ* constituyen el análisis multitemporal mediante los índices NDVI y NDWI. Estos datos satelitales el componente empírico necesario para caracterizar la realidad física y la variabilidad superficial inmediata de los bofedales evaluados.

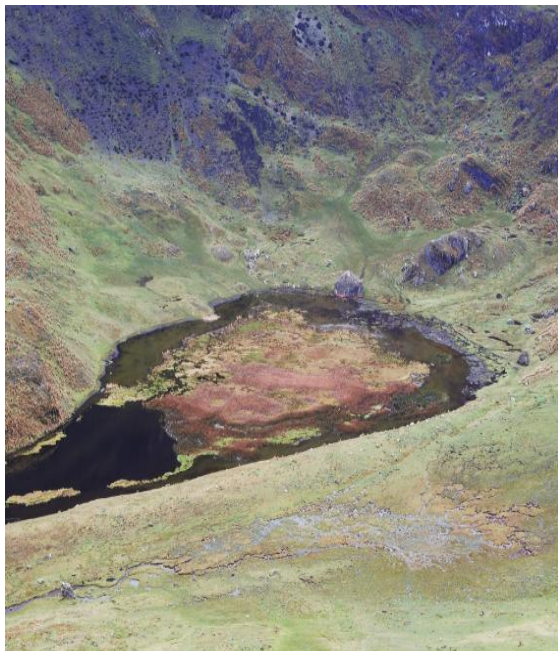
Durante la fase de campo se visitaron los bofedales seleccionados para verificar directamente sus características ecológicas y su estado actual, complementando así el análisis satelital. Mediante recorridos sistemáticos se evaluaron la cobertura vegetal, el estado hídrico, especies indicadoras, tipo de suelo y signos de alteración, registrando la información en fichas estructuradas. Estos datos permitieron validar la teledetección y

ofrecer una visión más precisa del estado de los bofedales, fortaleciendo la confiabilidad de los resultados obtenidos. A continuación, se presentan los cuadros con las principales observaciones de campo, cuya información es la misma que en las fichas de observación.

Tabla 2. Registro Fotográfico del estado de los bofedales observadas en campo.

Bofedal N°01. (BR33) Microcuenca Razuhuillca - Sector 1	
	Coordenadas: 18L 591426 - 8574582 Altitud: 4138 m.s.n.m.
	- El bofedal presenta exceso de agua, pero se conserva adecuadamente. - Existe pastoreo controlado. - Presencia de trochas carrozables y piscigranjas abandonadas. - Se evidencia presencia de aves, camélidos, vacunos, ovinos, caballos y vizcachas. - Rastros de espacios que sirvieron para la agricultura. Se evidenció gran variedad de flora, como: <i>Distichia muscoides</i>, <i>Azorella diapsenioides</i>, entre otras especies.

Bofedal N°02. (BR30) Microcuenca Razuhuillca - Sector 2	
	Coordenadas: 18L 591804 - 8574937 Altitud: 4148 m.s.n.m.
	- El bofedal presenta exceso de agua, alta materia orgánica, capacidad de drenaje e integridad paisajística. - No hay presencia de trochas ni carreteras. - Presencia de hongos. - Se evidencia camélidos, vacunos, ovinos, caballos y aves, entre ellos, patos y un cóndor. Se evidenció gran variedad de flora, como: <i>Distichia muscoides</i>, <i>Azorella diapsenioides</i>, <i>Perezia nivalis</i>, entre otras especies.

Bofedal N°03. (BR93) Microcuenca Razuhuillca, Uchuraccay - Sector 2


Coordenadas: 18L 590719 - 8579327

Altitud: 4243 m.s.n.m.

- Zona con materia orgánica muy alta y drenaje natural en el bofedal.
- Se evidenció pastoreo intensivo en 1 ha del lugar aproximadamente.
- Presencia de pastizales dentro de la laguna que se encuentra cerca a los bofedales.
- Se evidenció vacunos, ovinos y aves.

Se evidenció gran variedad de flora, como: *Distichia muscoides*, *Azorella diapensioides*, *Hypochaeris meyeniana*, *Coirón (Festuca spp.)* entre otras especies.

Bofedal N°04. (BR90) Microcuenca Razuhuillca, Uchuraccay


Coordenadas: 18L 591156 - 8579799

Altitud: 4200 m.s.n.m.

- El bofedal se encuentra inundado.
- Alta materia orgánica, capacidad de drenaje e integridad paisajística.
- Presencia de aves y ovinos, se avistó también caballos y burros en la zona.

Se evidenció gran variedad de flora, como: *Distichia muscoides*, *Azorella diapensioides*, *Hypochaeris meyeniana*, *Coirón (Festuca spp.)*, *tatora*, entre otras.

Bofedal N°05. (BR97) Microcuenca Razuhuillca, Uchuraccay - Sector 4


Coordenadas: 18L 589258 - 8579491

Altitud: 4271 m.s.n.m.

- El bofedal presenta buena retención de agua, alta materia orgánica.
- Existe presencia de corrales de ganado.
- Se evidencia la pérdida de servicios ecosistémicos.
- Se evidencia presencia de aves, camélidos, vacunos y ovinos.

Se evidenció *Distichia muscoides*, *Coirón (Festuca spp.)*, *Azorella diapensioides*, entre otras especies.

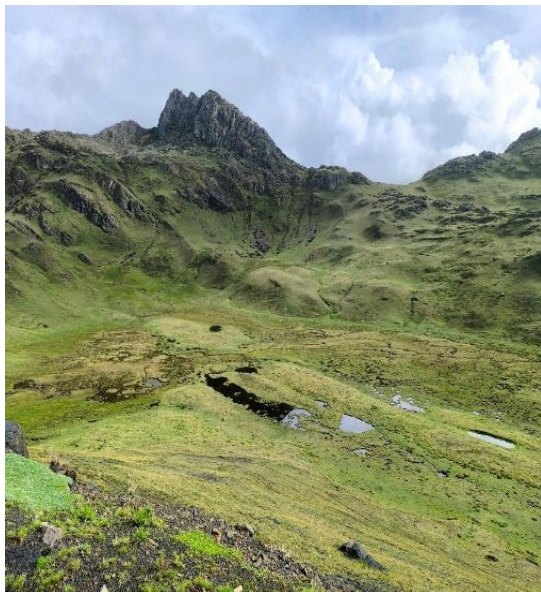
Bofedal N°06. (BR80) Microcuenca Razuhuillca, Uchuraccay - Sector 2


Coordenadas: 18L 593465 - 8580006

Altitud: 4123 m.s.n.m.

- Alta materia orgánica y capacidad de drenaje natural.
- El bofedal se muestra inundado a causa de la represa existente, parte arriba.
- Se evidencian vacunos, ovinos, patos y caballos.
- En la zona abunda el berro, planta común en arroyos y pantanos.

Se evidenció *Distichia muscoides*, *Coirón (Festuca spp.)*, *Azorella diapensioides*, entre otras especies.

Bofedal N°07. (BT7) Tocctoccocha - Tambo


Coordenadas: 18L 599012 - 8567021

Altitud: 4005 m.s.n.m.

- El bofedal presenta buena retención de agua y alta materia orgánica.
- Existe agricultura y ganadería moderada cerca a los bofedales.
- Presencia de algunas construcciones rústicas de piedra y barro.
- Se evidencian aves silvestres, cabras y patos, cerca de los bofedales.

Se evidenció *Distichia muscoides*, *Coirón (Festuca spp.)*, *Azorella diapensioides*, *Polylepis spp.*, entre otras especies.

Bofedal N°08. (BT59) Tocctoccocha - Tambo


Coordenadas: 18L 596919 - 8570520

Altitud: 4153 m.s.n.m.

- El bofedal tiene buena retención de agua, producida por la represa cercana.
- Existe presencia de una construcción como desfogue de la represa (a base de piedras).
- La integridad paisajística fue alterada, producto de la represa.
- Se evidencian vacunos y aves.

Se evidenció gran variedad en flora, como: *Distichia muscoides*, *Coirón (Festuca spp.)*, *Azorella diapensioides*, entre otras especies.

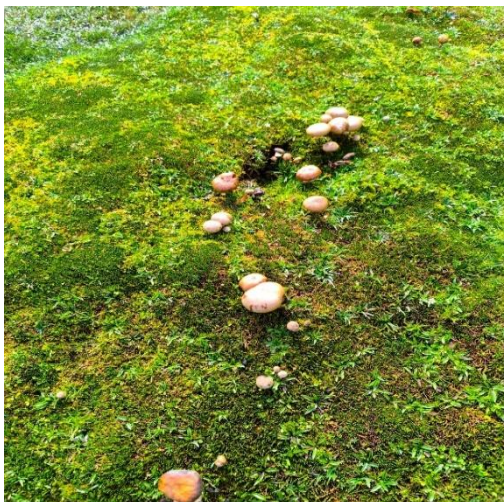
Las observaciones de campo registraron una diversidad representativa de flora y fauna altoandina, lo que indica directamente la estabilidad ecológica de los bofedales. La identificación de las plantas se realizó con el apoyo de la *Guía de las plantas de los bofedales del Perú* (Mendoza et al., 2024), confirmando la presencia de especies típicas de suelos orgánicos y ambientes inundados, características de humedales funcionales y con baja alteración humana.

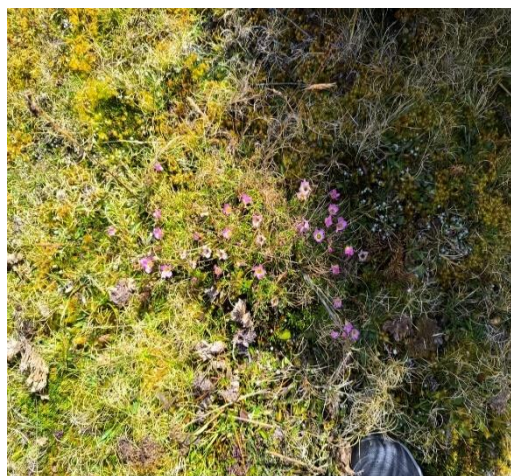
Desde el enfoque de salud ecosistémica, estas especies demuestran que el sitio cuenta con humedad, disponibilidad de nutrientes y estabilidad hidrológica adecuadas para mantener la biodiversidad. Finalmente, estos hallazgos biológicos respaldan los datos satelitales y el estado óptimo del ecosistema, reafirmando el valor de estas especies como bioindicadores según lo menciona Mendoza et al. (2024). A continuación, se muestra algunas de las especies encontradas en campo:

Tabla 3. Registro Fotográfico de especies de flora y fauna observadas en campo

ESPECIES BOTÁNICAS OBSERVADAS (Flora)	
<i>Castilleja pumila</i> 	<i>Nasturtium officinale</i> (berros de agua) 

Gentianella carneorubra*Phlegmariurus crassus**Aspalathus spinosa**Novenia acaulis**Viola pusillima* (violeta andina)*Rockhausenia spathulata*

Lemna minuta*Sematophyllum homomallum**Agaricus* (Hongos)*Laccaria tortilis* (Hongos)*Oreobolus obtusangulus**Sematophyllum homomallum*

Callitriche mandonis*Azorella compacta**Azorella diapensioides**Senecio breviscapus**Gentianella alborosea**Stipa ichu* (paja ichu)

Senecio collinus*Gentianella vargasii**Gentianella persquarrosa**Hesperochiron pumilus**Myosotis venticola**Schoenoplectus americanus* (Totora)

Distichia muscoides



Hypochaeris meyeniana



Rockhausenia nubigena



Plantago rigida

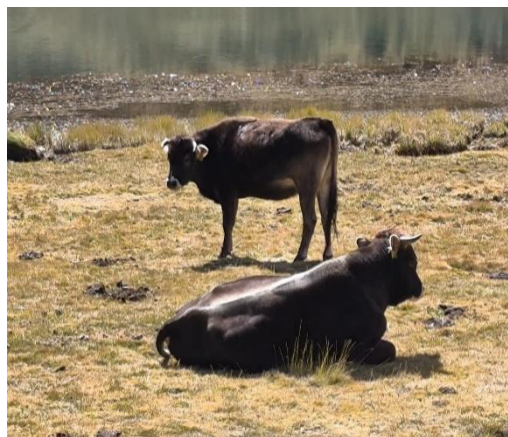


ESPECIES FAUNÍSTICAS OBSERVADAS (Fauna)

Lama glama (Llamas)



Bos taurus (Vaca)



Gusano lanudo



Equus caballus (Caballo)



Vicugna pacos (Alpaca)



Aves



En síntesis, la integración del análisis satelital y las observaciones de campo confirman que los bofedales evaluados mantienen un estado de salud **ÓPTIMO**. La coherencia entre los índices NDVI y NDWI y los registros in situ evidencia una adecuada cobertura vegetal y niveles de humedad propios de un ecosistema funcional. Las variaciones observadas responden principalmente a la estacionalidad y a la dinámica natural de los bofedales altoandinos, sin indicar un deterioro significativo. En conjunto, ambas fuentes de información demuestran que los bofedales conservan estabilidad y condiciones ecológicas favorables.

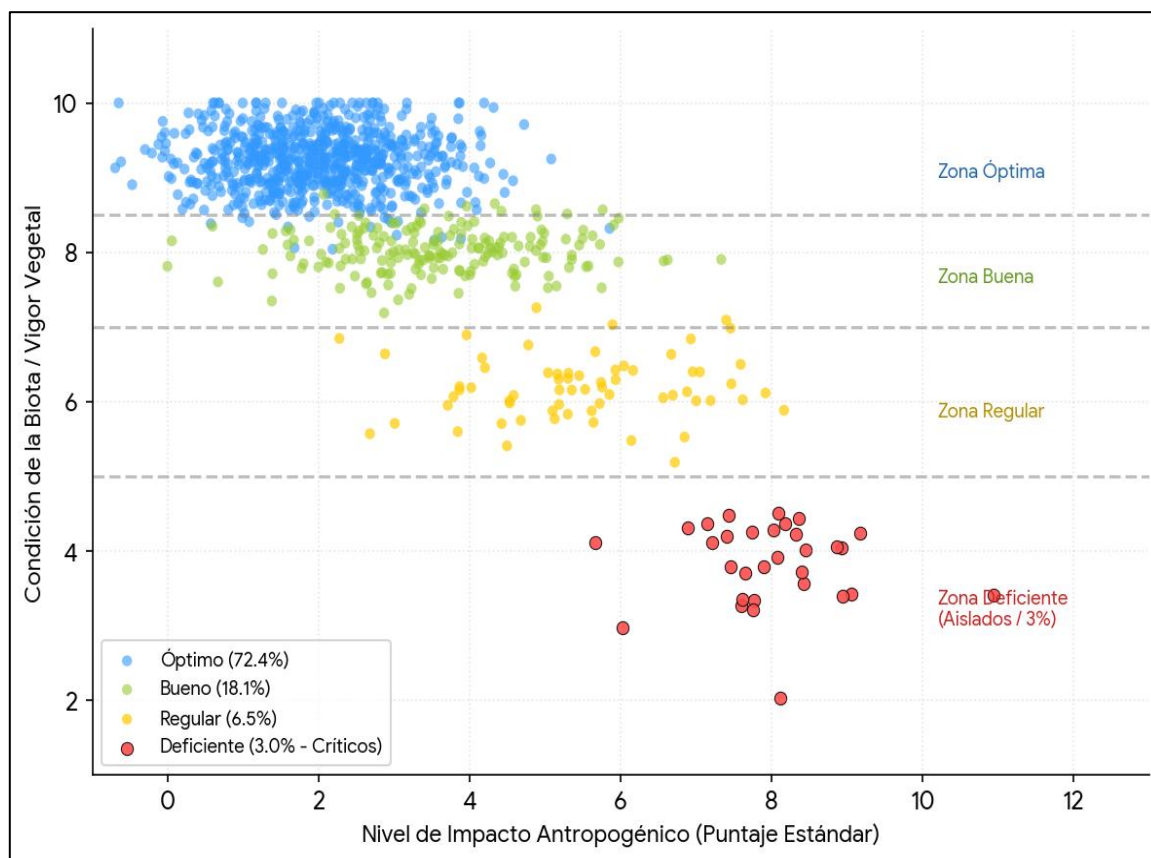
Integración y validación cruzada

Atendiendo al tercer objetivo específico, diseñado para determinar la precisión y contribución de los índices NDVI y NDWI, aquí se desarrolla la integración y validación cruzada entre los datos satelitales y terrestres. Este contraste evalúa el nivel de ajuste y confiabilidad de los sensores remotos, consolidando el diagnóstico integral sobre la evolución de la salud del ecosistema exigido en el objetivo general.

El análisis satelital y las observaciones de campo, validados y contrastados entre sí, demuestran que los bofedales evaluados mantienen una condición ecológica favorable (óptima). Asimismo, el estudio confirma que este estado favorable solo presenta las variaciones naturales causadas por los cambios estacionales.

Respecto al universo total cartografiado mediante teledetección, que asciende a más de mil bofedales dentro de la microcuenca, el análisis de distribución espacial determinó que el (72.4%) se clasifica en estado óptimo, el (18.1%) en estado bueno, el (6.5%) en estado regular y el (3%) en esta deficiente (*Ver Figura 20*).

Figura 20. Diagrama de barras de los datos universales de los bofedales.



Por otra parte, en lo que corresponde estrictamente a la validación directa en campo de las ocho unidades piloto seleccionadas, y aplicando los umbrales de evaluación de la salud ecológica establecidos en la *Figura 13*, se determinó que el 87.5% de la muestra (equivalente a 7 bofedales) se encuentra en un estado **óptimo**. El 12.5% restante (correspondiente al bofedal BR-30) se categoriza en estado **bueno**, debido a una reducción puntual observada en la estructura del suelo. No se registraron bofedales en condición regular o deficiente dentro de la muestra física (ver *figura 21* y *Tabla 4*). La comparativa visual entre ambas escalas de análisis demuestra que la muestra piloto seleccionada refleja de forma consistente la tendencia hacia el estado de conservación favorable que predomina en el universo general de la microcuenca (ver *figura 22*).

Figura 21. Diagrama de barras de las unidades piloto seleccionadas.

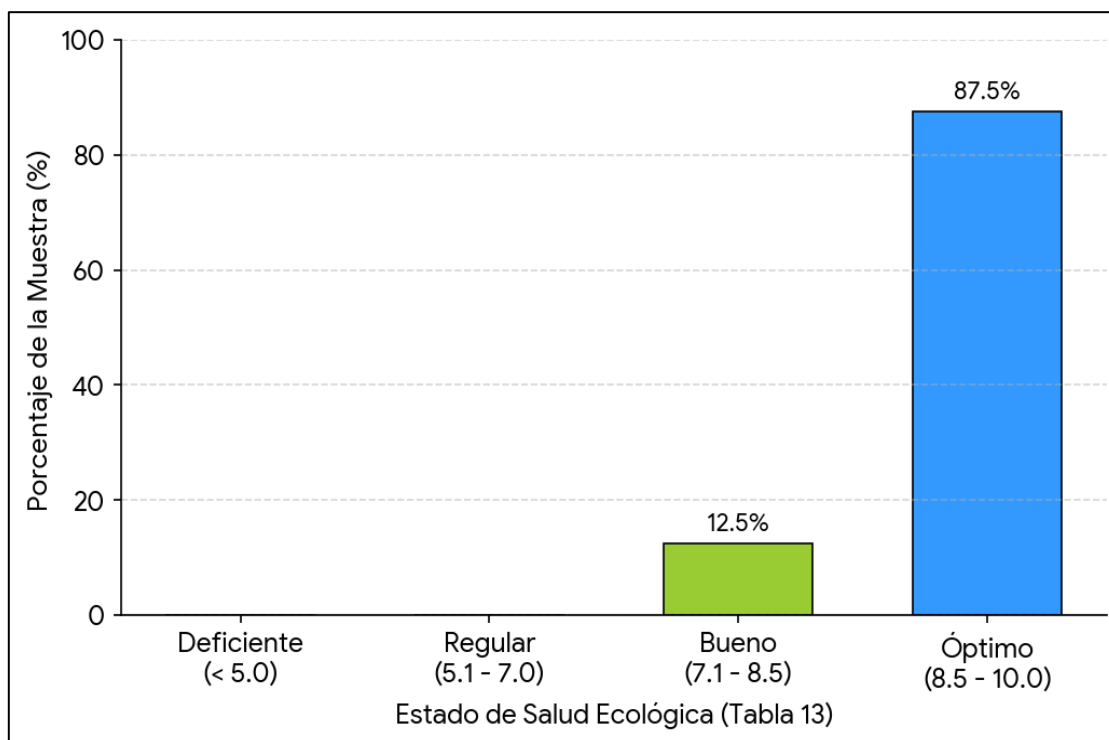


Figura 21. Diagrama de dispersión de los datos universales de los bofedales.

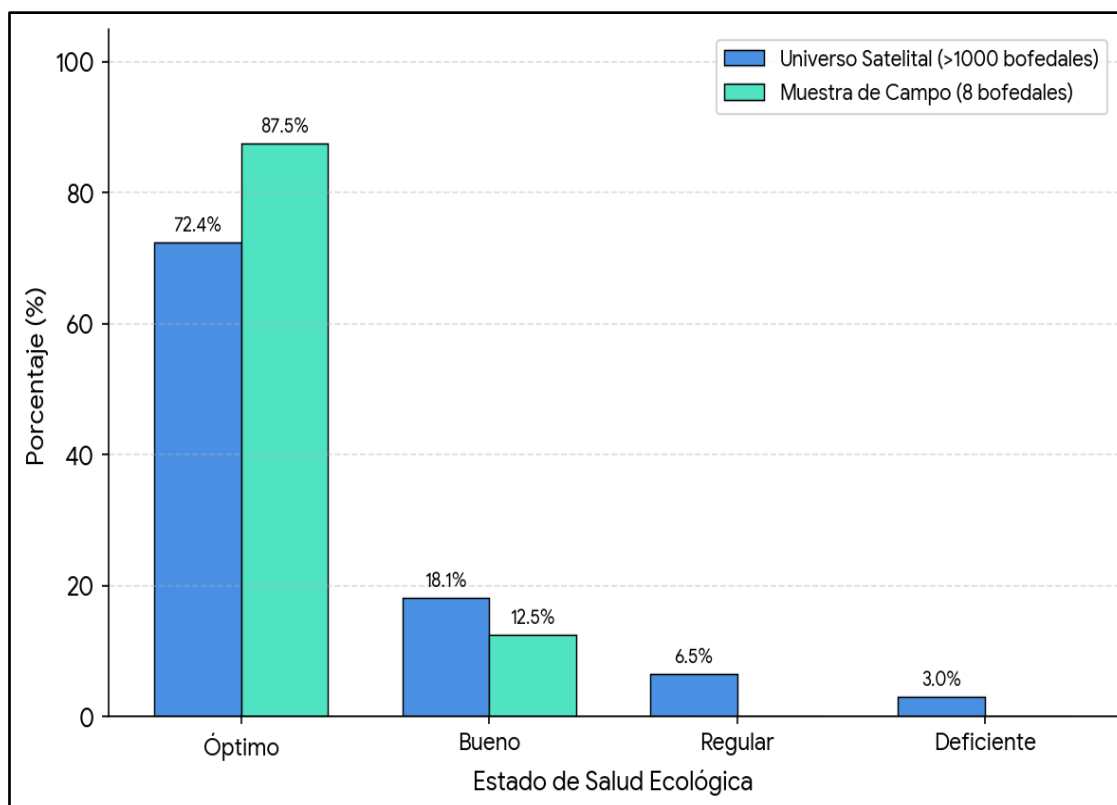


Tabla 4. Resultados detallados de la evaluación analítica in situ de los bofedales piloto.

N° Mapa	ID del bofedal	Coordenadas (UTM)	Superficie (ha)	Condiciones Climáticas (puntaje)	Características del Suelo (puntaje)	Impacto antropogénico (puntaje)	Condición de la biota (puntaje)	PROMEDIO	ESTADO DE SALUD
01	BR-33	18L 591426 8574582	0.801	8.5	10	6.2	10	8.67	ÓPTIMO
02	BR-30	18L 591804 8574937	9.61	8	7	5.3	10	7.58	BUENO
03	BR-93	18L 590719 8579327	3.31	8.5	9	8.2	9	8.67	ÓPTIMO
04	BR-90	18L 591156 8579799	3.17	9.5	8	8.2	9	8.67	ÓPTIMO
05	BR-97	18L 589258 8579491	7.13	9.5	10	6.2	10	8.92	ÓPTIMO
06	BR-80	18L 593465 8580006	0.954	9.5	8	8.2	9	8.67	ÓPTIMO
07	BT-7	18L 599012 8567021	17.60	10	10	5.7	9	8.67	ÓPTIMO
08	BT-59	18L 596919 8570520	2.31	8.5	9	8.2	9	8.67	ÓPTIMO

Media ($\bar{x}$)	5.611	8.938	8.875	7.4	9.375
Mediana (Me)	3.240	9.0	9.0	8.2	9.0
Desviación Estándar (σ)	5.720	0.729	1.126	1.229	0.518
Coefficiente de Variación ($CV\%$)	101.95%	8.15%	12.69%	16.61%	5.52%

PROMEDIO GENERAL	
8.57	ÓPTIMO

Considerando que las variables de calidad se evaluaron en una escala del 1 al 10, los umbrales estándar de categorización son:	RANGO DE PUNTUACIÓN	
	Deficiente	Del 1.0 al 5.0
	Regular	Del 5.1 al 7.0
	Bueno	Del 7.1 al 8.5
	Óptimo	Del 8.5 al 10.0

Nota. Datos obtenidos durante la fase de campo.

Discusión

Los resultados de esta investigación muestran que los bofedales de la Microcuenca Razuhuillca mantienen una condición ecológica óptima y saludable durante el periodo 2019–2023. La relación positiva entre los índices NDVI y NDWI demuestra coherencia entre el vigor de la vegetación y la disponibilidad de agua superficial, indicadores clave para evaluar el funcionamiento de los humedales. Esta correlación, ampliamente documentada en ecosistemas altoandinos (Jara et al., 2019; García et al., 2021; Marcatoma Tumbalobos, 2023), confirma que ambos factores responden conjuntamente a las variaciones climáticas estacionales. El hecho de que se mantengan dentro de rangos saludables en Razuhuillca constituye un claro indicio de estabilidad hídrica y vigor vegetal robusto frente a las variaciones climáticas, lo que se alinea de manera directa con hallazgos contemporáneos sobre la resiliencia hidrosocial en la región (Cárdenas Morales, et al., 2026).

La interpretación de los valores espectrales y su traducción en categorías de estado de salud ecológica se sustentó en una tabla de clasificación elaborada a partir de la recopilación bibliográfica sobre humedales altoandinos y evaluación de salud ecosistémica. Dicha clasificación integra criterios estructurales y funcionales como cobertura y diversidad vegetal, disponibilidad hídrica, condiciones del suelo y capacidad de resiliencia, alineados con los principios propuestos por Costanza et al., (1997) y el Ministerio del Ambiente (MINAM, 2019). Los rangos numéricos asociados a cada estado fueron definidos principalmente en función del índice NDWI, ampliamente utilizado para estimar la humedad superficial y el funcionamiento hidrológico de humedales (Gao, 1996; Huete et al., 2002). Esta herramienta permitió catalogar de manera objetiva el estado de los bofedales evaluados y comparar su comportamiento espacial y temporal a lo largo del periodo de estudio.

La aparición de puntos atípicos, especialmente aquellos con valores negativos de NDWI, permitió identificar sectores con mayor vulnerabilidad ecológica. Estas discrepancias pueden estar asociadas a procesos de drenaje natural, uso ganadero localizado, microvariaciones geomorfológicas o fluctuaciones climáticas interanuales; factores señalados también en los lineamientos de evaluación de ecosistemas altoandinos del MINAM (2019) y en los monitoreos ecológicos del SERNANP (2021). No obstante, tales variaciones se consideran normales dentro de la heterogeneidad biofísica propia de los bofedales, los cuales funcionan como mosaicos dinámicos de humedad y vegetación.

En este contexto, el trabajo de campo desempeñó un papel crucial al validar “in situ” las observaciones derivadas del análisis satelital, esclareciendo las ligeras discrepancias generadas por la propia heterogeneidad del terreno. La identificación de especies indicadoras clave como *Distichia muscoides* y *Oxychloe andina*, la presencia de cuerpos de agua permanentes y las condiciones apropiadas de suelos saturados coincidieron plenamente con los patrones detectados en los valores espectrales. Estudios como los de Kaplan & Avdan (2017) también han demostrado que los índices NDVI y NDWI son herramientas fiables para evaluar el vigor vegetal, la humedad superficial y el estrés hídrico en humedales altoandinos. Esta concordancia entre teledetección y validación directa en campo refuerza la fiabilidad metodológica empleada en el presente estudio y valida la interpretación de los resultados.

El análisis multitemporal permite concluir, con sustento en la teoría de salud ecosistémica, que los bofedales mantienen un estado de salud óptimo durante el periodo 2019–2023. Esta teoría establece que un ecosistema saludable es aquel que conserva su estructura, función, integridad y resiliencia frente a perturbaciones externas (Costanza, et al., 1997). En Razuhuillca, esta condición se evidencia en la convergencia de múltiples factores: estabilidad

hidrológica, cobertura vegetal vigorosa y presencia de especies indicadoras de calidad ecológica. Los valores de NDVI, predominantemente entre 0.5 y 0.7, reflejan un vigor vegetal adecuado y coinciden con la literatura especializada en ecosistemas de alta montaña, donde estos rangos son indicadores directos de vegetación sana, eficiente fotoprotección y productividad ecológica estable (García et al., 2021; Duhalde et al., 2024). De igual forma, los valores de NDWI, ubicados entre 0.05 y 0.20, representan una humedad moderada pero continua, condición propia de bofedales saludables por encima de los 4200 m.s.n.m. (Ashok et al., 2021; Duhalde, 2024; Cárdenas Morales, et al., 2025). La complementariedad entre ambos índices confirma que, a pesar de las variaciones estacionales propias de la puna, los bofedales mantienen su funcionalidad ecológica.

El comportamiento multitemporal del NDWI mostró que los bofedales conservan niveles de humedad adecuados incluso durante temporadas secas, lo cual refuerza su papel como reguladores hidrológicos naturales. Esta capacidad ha sido ampliamente documentada por Squeo et al. (2006) y estudios recientes publicados por Duhalde et al. (2024), donde se señala que los bofedales actúan como sistemas esponjosos capaces de almacenar, filtrar y liberar agua de manera gradual. En Razuhuillca, la presencia de suelos saturados, pequeñas lagunas y afloramientos hídricos durante los diferentes periodos evaluados confirma esta función esencial para la dinámica hídrica de la microcuenca.

Los datos de campo también respaldan la estabilidad ecológica observada. Además de las especies mencionadas, la identificación vegetal de *Azorella diapsioides* y *Festuca dolichophylla* constituye un descriptor clave de salud ecosistémica, ya que estas especies requieren suelos húmedos, mínima alteración antrópica y adecuados niveles de materia orgánica (Ruthsatz, 2012; Cossios Meza, 2018; MINAM, 2019). Asimismo, la observación de fauna

asociada a aves acuáticas, pequeños mamíferos altoandinos y camélidos sudamericanos coincide con estudios que relacionan la presencia de fauna especializada con bofedales conservados y funcionales (Yaranga, 2020).

Por otro lado, los resultados confirman que la teledetección, mediante los índices NDVI y NDWI, constituye una herramienta sólida para el monitoreo ecológico de humedales altoandinos, debido a su capacidad de evaluar grandes extensiones con alta frecuencia temporal y precisión espectral (Gao, 1996; Huete et al., 2002). No obstante, también se identifican limitaciones inherentes al uso de imágenes satelitales, como la influencia de la nubosidad, la variabilidad atmosférica o la imposibilidad de detectar procesos microscópicos del suelo (Duhalde et al., 2024), lo que resalta la importancia de integrar esta herramienta con observaciones directas de campo, tal como recomienda el SERNANP (2021).

Finalmente, los resultados evidencian que los bofedales de Razuhuillca mantienen resiliencia ecológica, entendida como la capacidad del ecosistema para absorber perturbaciones externas sin perder su funcionalidad (Holling, 1973). Sin embargo, la presencia detectada de áreas en estado “deficiente” y “regular” indica una fragmentación latente del ecosistema y la pérdida de la capacidad de regulación hidrológica, riesgos ambientales que se ven exacerbados por la susceptibilidad intrínseca a los cambios morfológicos (Cárdenas Morales, et al., 2025). Se identificaron zonas específicas con presión moderada por pastoreo y signos puntuales de compactación del suelo, detalladas en la sección de resultados. Estos riesgos potenciales identificados, sumados a la contaminación hídrica, actividades extractivas y el cambio de uso del suelo, amenazan a mediano plazo la integridad hidromorfológica y la gobernanza de los bofedales, denotando un peligro de degradación progresiva, pérdida de la capacidad de almacenamiento hídrico y disminución de la cobertura vegetal. En conjunto, la evidencia

espectral, biológica, hidrológica y ecológica demuestra que los bofedales de la microcuenca Razuhuillca cumplen con los criterios de un ecosistema en buen estado de salud, estableciendo una base científica sólida para su conservación y justificando plenamente la necesidad de un monitoreo continuo frente a escenarios de cambio climático y presión antrópica.

Conclusiones

- ❖ El análisis multitemporal de los índices NDVI y NDWI, complementado con la validación directa en campo, demuestra que el estado de salud de los bofedales de Razuhuillca entre 2019 y 2023 ha sido predominantemente óptimo, con momentos puntuales que alcanzan la categoría de estado óptimo en zonas con mayor cobertura vegetal y disponibilidad hídrica. A pesar de fluctuaciones estacionales atribuibles a variabilidad climática y presiones antrópicas, el ecosistema mantuvo estabilidad funcional, alta capacidad de retención de agua y vegetación vigorosa, lo que evidencia resiliencia ecológica durante todo el periodo evaluado.
- ❖ La validación directa de campo mostró que los bofedales presentan una disponibilidad hídrica sostenida, con presencia constante de cuerpos de agua superficial, suelos saturados y zonas encharcadas. Esta condición hídrica, consistente con valores elevados de NDWI, indica un estado óptimo en términos de humedad ecosistémica. La biodiversidad vegetal observada fue moderada, compuesta por especies características de bofedales altoandinos, distribuidas de manera heterogénea según microtopografía y niveles de humedad. Esta distribución confirma una integridad ecológica conservada, coherente con un estado de salud ecológica óptimo en la mayor parte del área evaluada.

- ❖ El periodo 2019–2023 evidenció variaciones estacionales en la cobertura vegetal y humedad superficial. Estas fluctuaciones se reflejaron en incrementos y disminuciones en los valores de NDVI y NDWI según épocas húmedas y secas, sin que estas alteraciones afecten de forma significativa la funcionalidad del ecosistema. La tendencia general muestra que la mayor parte del tiempo los bofedales se mantuvieron dentro de un estado óptimo, con picos de mayor vitalidad vegetal (NDVI altos) y alta retención de agua (NDWI moderados-altos), reflejando la estabilidad ecológica y capacidad de respuesta del sistema frente a condiciones ambientales cambiantes.
- ❖ Los índices NDVI y NDWI demostraron ser herramientas precisas y complementarias para evaluar el estado de salud de los bofedales de Razuhuillca, ya que reflejaron de manera consistente los cambios en la vitalidad de la vegetación y la disponibilidad hídrica observados durante el trabajo de campo. El NDVI permitió identificar variaciones en densidad y vigor vegetal, mientras que el NDWI representó con fidelidad la dinámica de humedad y la presencia de cuerpos de agua, validando su capacidad para caracterizar zonas saturadas y cambios estacionales. La concordancia entre ambos índices y las verificaciones “in situ” confirma su fiabilidad para monitorear de forma integral y continua la condición ecológica del ecosistema, especialmente en áreas de difícil acceso.

Recomendaciones

- ❖ Se recomienda fortalecer el monitoreo continuo mediante teledetección, empleando índices como el NDVI y el NDWI, para realizar un seguimiento sistemático de los bofedales de la microcuenca Razuhuillca y de otros ecosistemas con condiciones similares. La aplicación periódica de estos índices con una frecuencia sugerida de cada

seis meses o, como mínimo, de manera anual, permitirá identificar oportunamente posibles alteraciones ecológicas, como cambios en la cobertura vegetal o en la disponibilidad hídrica, y contribuirá a la toma de decisiones más oportunas y eficientes en la gestión del recurso.

- ❖ Asimismo, se recomienda complementar los análisis de teledetección con evaluaciones de campo permanentes, ya que, si bien las imágenes satelitales ofrecen información valiosa, es indispensable mantener trabajos “in situ” que permitan validar y enriquecer los resultados obtenidos. Para ello, se sugiere establecer un programa de monitoreo ecológico participativo, que involucre tanto a técnicos especializados como a las comunidades locales. Este enfoque no solo garantizará una recolección de datos más representativa y continua, sino que también permitirá la capacitación de actores comunales en técnicas básicas de monitoreo, fortaleciendo así sus capacidades en la gestión sostenible de los bofedales.
- ❖ En cuanto a la gestión institucional, se recomienda promover políticas de conservación y uso sostenible de los bofedales, considerando su rol crucial en la regulación hídrica, el mantenimiento de la biodiversidad y la mitigación del cambio climático. Estas políticas deben incluir prácticas sostenibles de manejo del agua, control de la carga ganadera y protección de la vegetación nativa. Para su implementación efectiva, resulta clave la articulación entre los gobiernos locales, las comunidades organizadas y entidades nacionales como el Ministerio del Ambiente (MINAM) y la Autoridad Nacional del Agua (ANA), de modo que se generen planes de acción coordinados y coherentes.

- ❖ Se recomienda fomentar la investigación interdisciplinaria en los ecosistemas altoandinos, integrando aspectos ecológicos, climáticos, sociales y económicos. Es prioritario estudiar el impacto del cambio climático en el agua, la vulnerabilidad de la biodiversidad y la relación de los bofedales con las actividades productivas y la economía local. Los resultados de estos estudios permitirán comprender su dinámica integral con las comunidades y servirán de base para diseñar estrategias eficaces de conservación y adaptación.
- ❖ Finalmente, se requiere diseñar planes con medidas de prevención, mitigación y restauración específicas para los bofedales en estado regular y deficiente. Para los bofedales **en estado regular**, se sugieren medidas de prevención como el control de la carga ganadera y el pastoreo rotativo para evitar su deterioro. Para aquellos **en estado deficiente**, se deben aplicar medidas de mitigación y restauración urgentes, incluyendo la rehabilitación del flujo hídrico natural, la reintroducción de especies vegetales nativas y el cercado temporal de las áreas más críticas para asegurar su recuperación funcional.

Referencias Bibliográficas

- Agencia Espacial Europea - ESA. (2026). *Planet Documentation*. Obtenido de <https://docs.planet.com/data/public-data/copernicus/sentinel-2/>
- Almeida de Sousa, A., Tavares Lira, M., Costa de Oliveira, U., & Mendes Júnior, C. (2022). Análise Multitemporal do Espelho d'água do Açude Jaburu I por Meio de. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 37(2). doi:<https://doi.org/10.1590/0102-77863720026>
- Antes, M. E., Cuello, A., Ortone Lois, A., & Cook, L. (2019). *TELEDETECCIÓN Y SIG APLICADOS AL MONITOREO DE LA RESERVA NATURAL DE LA DEFENSA CAMPO MAR CHIQUITA*. XVII Conferencia Iberoamericana de Sistemas de Información Geográfica CONFIBSIG. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/334785599_Remote_sensing_and_GIS_applied_to_monitoring_Campo_Mar_Chiquita_Defense_Natural_Reservoir_Teledeteccion_y_SIG_aplicados_al_monitoreo_de_la_Reserva_Natural_de_la_Defensa_Campo_Mar_Chiquita
- Ashok, A., Ponnammma Rani, H., & Jayakumar, K. V. (2021). Monitoring of dynamic wetland changes using NDVI and NDWI based landsat imagery. *ELSEVIER*, 21. doi:<https://doi.org/10.1016/j.rsase.2021.100547>
- Benedetti, G. M., Campo, A., & Geraldi, A. (2010). Las nuevas tecnologías aplicadas a la ecología del paisaje: Estudio de un área del salitral de la Vidriera, provincia de Buenos Aires. *Geografía y Sistemas de Información Geográfica (GEOSIG)*. Retrieved from <https://es.scribd.com/document/275674236/LAS-NUEVAS-TECNOLOGIAS->

APLICADAS-A-LA-ECOLOGIA-DEL-PAISAJE-ESTUDIO-DE-UN-AREA-DEL-SALITRAL-DE-LA-VIDRIERA-PROVINCIA-DE-BUENOS-AIRES

- Cabello, J., Alcaraz Segura, D., Reyes Díez, A., & Lourenco, P. (2016). Sistema para el Seguimiento del funcionamiento de ecosistemas en la Red de Parques Nacionales de España mediante Teledetección. *Revista de Teledetección*. doi:<http://dx.doi.org/10.4995/raet.2015.5731>
- Calvo Gómez, V. (2016). *Marco conceptual y metodológico para estimar el estado de salud de bofedales de alta montaña*. Repositorio Institucional Universidad Nacional Agraria La Molina. Obtenido de <https://repositorio.lamolina.edu.pe/items/e6f3b58a-9293-4e37-bf42-de7fb44b3fb5>
- Cárdenas Morales, B. K., Gomez Ccochachi, Y. Y., Quispe Godoy, N. L., Oré Gálvez, S. F., Castro Aponte, W. V., Chuquillanqui Gómez, J., . . . De los Santos Valladares, L. (2026). Seguridad hídrica y resiliencia hidrosocial en los Andes peruanos: teledetección y gobernanza cultural en la cuenca del río Razuhuillca. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 41. doi:<https://doi.org/10.1016/j.rsase.2026.101920>
- Cárdenas Morales, B. K., Mendoza Colos, M., Herrera Díaz, S. C., Carhuallanqui Ibarra, S. D., Castro Aponte, W. V., Gómez Ccochachi, Y. Y., . . . De los Santos Valladares, L. (2025). La microcuenca de Razuhuillca en disputa: dinámica hidromórfológica y resistencia territorial a las concesiones mineras en los Andes peruanos. *Frontiers in Water*, 7. doi:<https://doi.org/10.3389/frwa.2025.1614847>

Chambe Bahamontes, J., Quintana Calizaya, D. S., & Sanga Franco, M. (2021). Análisis multitemporal de la laguna Suches y del vigor de la vegetación del bofedal de Huaytire, Tacna. *CIENCIA & DESARROLLO*, 20(1), 27-39.

doi:<https://doi.org/10.33326/26176033.2021.1.1106>

Chuvieco, E. (1995). *Fundamentos de Teledetección Espacial* (Segunda ed.). Ediciones Rialph S.A. Obtenido de <http://cursosihlla.bdh.org.ar/Sist.%20Cart.%20y%20Teledet./Bibliografia/FUNDAMENTOS-DE-TELEDETECCION-EMILIO-CHUVIECO.pdf>

Chuvieco, E. (2010). *Teledetección ambiental: La observación de la Tierra desde el Espacio*. Ariel. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/318479860_Teledeteccion_ambiental_La_observacion_de_la_Tierra_desde_el_Espacio/link/596d7541a6fdcc03edb6ce08/download?_tp=eyJjb250ZXh0Ijp7ImZpcnN0UGFnZSI6InB1YmxpY2F0aW9uIiwicGFnZSI6InB1YmxpY2F0aW9uIn19

Copernicus Data Space Ecosystem - CDSE. (2026). Obtenido de <https://documentation.dataspace.copernicus.eu/Data/SentinelMissions/Sentinel2.html>

Cossios Meza, E. D. (2018). *Informe sobre el Estado y tendencias de la diversidad de ecosistemas del Perú*. Obtenido de https://chm.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2020/07/R2018-1E-08Estado_y_tendencias_ecosistemas.pdf

- Costanza, R., d'Arge, R., de Groot, R., Farber, S., Grasso, M., Hannon, B., . . . van der Belt, M. (1997). The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, 253-260. Retrieved from <https://www.nature.com/articles/387253a0>
- Díaz Moyota, P. B., Verdugo Bernal, C. M., Arguello Guadalupe, C. S., Jara Santillán, C. A., Vaca Barahona, B. E., Yépez Villavicencio, A. A., & McLaren, B. E. (2016). Caracterización ecológica de bofedales, hábitat de vicuñas aplicando metodologías de teledetección y sig estudio de caso: reserva de producción de fauna Chimborazo. *Europeaan Scientific Journal*, 12(35), 105-130. doi:<https://doi.org/10.19044/esj.2016.v12n35p105>
- Duhalde, D., Cortés, J., Arumí, J. L., Boll, J., & Oyarzún, R. (2024). Exploring the Behavior of the High-Andean Wetlands in the Semi-Arid Zone of Chile: The Influence of Precipitation and Temperature Variability on Vegetation Cover and Water Quality. *MDPI Water Resources*, 16(24). doi:<https://doi.org/10.3390/w16243682>
- El Peruano. (15 de 02 de 2024). Cuenca del Mantaro: presentan avances del proyecto que fortalece gestión de recursos hídricos. Obtenido de <https://www.elperuano.pe/noticia/236013-cuenca-del-mantaro-presentan-avances-del-proyecto-que-fortalece-gestion-de-recursos-hidricos>
- Esteban Escobar, N. I., & Moran Huaccachi, S. S. (2022). *Variación espacial (2016 – 2020) y estado de conservación de humedales altoandinos en el distrito de ascensión, Huancavelica*. Universidad Nacional de Huancavelica. Obtenido de <https://repositorio.unh.edu.pe/items/818f5690-33ae-4a21-91b6-9223622bfe96>

- Esteban Nieto, N. (2018). *Tipos de Investigación: Análisis y Relevancia en el Estudio Científico*. Obtenido de <https://www.studocu.com/pe/document/universidad-tecnologica-del-peru/calculo-aplicado-a-la-fisica-1/esteban-nieto-n-2018-tipos-de-investigacion/64165903>
- Flachier, A., Chichero, M., Lima, P., & Villarroel, M. (2009). *Caracterización Ecológica de las Turberas y Bofedales del Sistema de Humedales Amaluza, Nudo de Sabanilla, Provincia de Loja, Ecuador*. Retrieved from <https://es.scribd.com/document/265215135/Caracterizacion-Ecologica-Humedales-Amaluza>
- Flores, E. R., Tacuna, R., & Calvo, V. (2014). *Marco conceptual y metodológico para estimar el estado de salud de los bofedales*. Ministerio del Ambiente - Universidad Nacional Agraria La Molina. Obtenido de <https://sinia.minam.gob.pe/documentos/marco-conceptual-metodologico-estimar-estado-salud-bofedales>
- Gao, B.-c. (1996). NDWI-A normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space. *Remote Sensing of Environment*, 58(3), 257-266. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0034425796000673>
- García, E., & Llellish, M. A. (2012). Cartografiado de bofedales usando imágenes de satélite. *Revista de la Asociación Española de Teledetección*(38), 92-108. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7391723>
- García, J., Guerrero, J., Willems, B., & Espinoza, R. (2021). Propuesta de un Índice de Bofedal para la Teledetección de Bofedales en Cabeceras de Cuenca Usando Datos Imágenes de

los Sensores TM, OLI a bordo de los Satélites Landsat - Caso Estudio: Bofedal Chunal, Cuenca Alta del río Chillón. *Revista Investigación UNMSM*, 24(2).

doi:<https://doi.org/10.15381/rif.v24i2.20385>

Gay, L., Mills, G. E., & Airasian, P. W. (2012). *Educational Research Competencies for Analysis and Applications*. Retrieved from https://yuli-elearning.com/pluginfile.php/4831/mod_resource/content/1/Gay-E%20Book%20Educational%20Research-2012.pdf

Giraldo Araujo, E. (2016). *ESTADO DE SALUD DE LOS BOFEDALES DE LAS CABECERAS DE LAS MICROCUENCAS DE SAN LUIS Y SAN NICOLÁS*. Instituto de Montaña. doi:<https://nuevo.mountain.org/publicacion/estado-de-salud-de-los-bofedales-de-las-cabeceras-de-las-microcuencas-de-san-luis-y-san-nicolas-2/>

Gózar Blas, S. F. (2024). *Mapeo de humedales alto andinos utilizando imágenes satelitales para la determinación de la variabilidad espacio-temporal (2002-2023) en la cuenca Cochas - Pachacayo de la Reserva Paisajística Nor Yauyos Cochas*. Repositorio Institucional UNMSM. Obtenido de <https://cybertesis.unmsm.edu.pe/item/544d9541-efce-401e-8ae8-955c1249e77e>

Hilari Esteban, V. H. (2010). *Identificación y analisis multitemporaal de cuatro bofedales en el altiplano norte del departamento de La Paz (Ulla Ulla, Ancoraimes, Peñas y Tuni Condoriri)*. Repositorio UMSA. Obtenido de <https://repositorio.umsa.bo/handle/123456789/9808>

- Holling, C. S. (1973). Resilience and stability of ecological systems. *Annual Review of Ecology and Systemics*, 4. Obtenido de <https://pure.iiasa.ac.at/id/eprint/26/1/RP-73-003.pdf>
- Huaraca, L., Bourrel, L., Zapata Ríos, X., Páez Bimos, S., Lahuate, B., Galeas, R., . . . Frappart, F. (2025). Multitemporal Monitoring of Ecuadorian Andean High. *HAL open science*. doi:<https://doi.org/10.3390/w17111637>
- 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. Retrieved from <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0034425702000962>
- Imbaquingo Castelo, J. I. (2021). *MONITOREO DE BOFEDALES EN LA SUBCUENCA DEL RÍO CHAMBO MEDIANTE EL ANÁLISIS MULTICRITERIO USANDO IMÁGENES SATELITALES LANDSAT 8 PARA EL PERIODO 2013-2020*. ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO. Obtenido de <https://dspace.esPOCH.edu.ec:8080/server/api/core/bitstreams/a3e3040f-ef66-4d16-87bb-66a30f687155/content>
- INEGI. Unidad de Geografía y Medio Ambiente. (2018). *Aspectos Técnicos de las Imágenes Landsat*. Obtenido de chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.inegi.org.mx/contenidos/temas/imagenes/imgLANDSAT/doc/Aspectos_tecnicos_landsat.pdf

Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña (INAIGEM). (2023).

Memoria Descriptiva Inventario Nacional de Bofedales 2023. Obtenido de

<https://sinia.minam.gob.pe/documentos/inventario-nacional-bofedales-peru-2023>

Jara Santillán, C. A. (2022). *Estudio integral de humedales altoandinos (andean peatlands) con*

teledetección y sig. Universidad de Valencia, Facultad de Física. Obtenido de

<https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=310312>

Jara, C., Delegido, J., Ayala, J., Lozano, P., Armas, A., & 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.

doi:<https://doi.org/10.4995/raet.2019.11715>

Javier Silva, L. A., Portal Quicaña, E., & 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).

doi:<https://doi.org/10.15381/iigeo.v24i48.19521>

Kaplan, G., & Avdan, U. (2017). Mapping and monitoring wetlands using Sentinel-2 satellite

imagery. *ISPRS-Information from imagery*, IV(4), 271-277.

doi:<https://doi.org/10.5194/isprs-annals-IV-4-W4-271-2017>

Lozano Rodriguez, J. L. (2024). *Evaluación temporal de la cobertura vegetal mediante*

teledetección en la provincia de Huanta - Ayacucho, 2017-2021. Universidad

Continental. Obtenido de <https://repositorio.continental.edu.pe/item/817dd90c-825f-4547-b103-b68957384007>

Machuca Peña, E., & Uzquiano Céspedes, F. J. (2021). *Evaluación del estado de salud de bofedales mediante teledetección en la microcuenca de Acocancha-Lima 2021*.

Universidad César Vallejo, Repositorio Digital Institucional. Obtenido de <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/74862>

Maldonado Fonkén, M. (2014). An Introduction to the Bofedales of the Peruvian High Andes.

15. doi:10.19189/001c.128519

Marcatoma Tumbalobos, E. (2023). *Relación de la humedad de suelo con el índice de agua y vegetación de los bofedales altoandinos de la Microcuenca - Apacheta, Ayacucho 2017*.

Universidad Nacional San Cristóbal de Huamanga. Obtenido de <http://repositorio.unsch.edu.pe/handle/UNSCH/6129>

Medina, M., Rojas, R., Bustamante, W., Loaiza, R., Martel, C., & Castillo, R. (2023).

Metodología de la investigación: Técnicas e instrumentos de investigación.

doi:<https://doi.org/10.35622/inudi.b.080>

Mendoza, W., Cano, A., Roque, J., La Torre, M. I., Navarro, E., Gonzáles, P., . . . Valencia, N.

(2024). *Guía de las plantas de los bofedales del Perú*. Fondo Editorial UCSS. Obtenido de <https://www.ucss.edu.pe/publicaciones/guia-de-las-plantas-de-los-bofedales-del-peru>

MINAM. (2019). *Guía de evaluación del estado del Ecosistema de bofedal*. Obtenido de

<https://sinia.minam.gob.pe/documentos/guia-evaluacion-estado-ecosistema-bofedal>

- MINAM. (2023). *Agenda de Investigación Ambiental al 2030*. Obtenido de <https://sinia.minam.gob.pe/sites/default/files/archivos/public/docs/Agenda%20de%20Investigacion%20Ambiental%20al%202030%20VF.pdf>
- Moncada Sosa, W., & Pereda Medina, A. (2019). Análisis espectral de la vegetación de bofedal con el espectralradiómetro “fieldspec4” e imágenes de satélite sentinel2, en la cabecera de cuenca cachi-apacheta, Región Ayacucho. *Revista Investigación - UNSCH*, 27(1). doi:<https://doi.org/10.51440/unsch.revistainvestigacion.2019.1.116>
- Monje Álvarez, C. A. (2011). *Metodología de la Investigación cuantitativa y cualitativa*. Retrieved from <https://www.uv.mx/rmipe/files/2017/02/Guia-didactica-metodologia-de-la-investigacion.pdf>
- Navarro, M. F., Calamares, N. C., Navarro, C. S., Enríquez, A. S., Mosciaro, M. J., Saucedo, G. I., . . . Kurtz, D. B. (2025). Avances en el mapeo de humedales en Argentina: un enfoque probabilístico que integra teledetección, aprendizaje automático y computación en la nube para el monitoreo sostenible de ecosistemas. *INTA DIGITAL, Repositorio Institucional*(7), 144-158. doi:<https://doi.org/10.1016/j.wsee.2025.04.001>
- Núñez, I., González Gaudiano, É., & Barahona, A. (2003). LA BIODIVERSIDAD: HISTORIA Y CONTEXTO DE UN CONCEPTO. 28(7). Retrieved from https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0378-18442003000700006
- Oyola Lepe, N. (2009). *Identificación de humedales del norte grande de Chile utilizando técnicas geomáticas en imágenes satelitales Landsat*. Universidad de Chile. Obtenido de https://mascn.forestaluchile.cl/wp-content/uploads/2009/05/Proyecto_Natacha-Oyola.pdf

- 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. *CIENCIAS BIOLÓGICAS Y AMBIENTALES*, 1(1), 43-53.
doi:<https://doi.org/10.33326/29585309.2022.1.1587>
- Paucar Rojas, J., & Soto Ccora, P. J. (2023). *Estado del ecosistema bofedal y determinantes del clima que influyen en su distribución de los bofedales, en la microcuenca Astobamba y Cachimayo, Huancavelica 2022-2030*. Obtenido de <https://repositorio.unh.edu.pe/bitstreams/7681eba9-84e3-4cb2-a8fa-9e4eb5bce1a8/download>
- Ramirez Vargas, M. (2020). *Fotogrametría aérea aplicada a encinos (Quercus spp.) en sierra la laguna, B.C.S. recomendaciones para su identificación y conservación*. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. Obtenido de [https://cibnor.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1001/2037/3/ramirez_m%20TE SIS.pdf](https://cibnor.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1001/2037/3/ramirez_m%20TE%20SIS.pdf)
- Ruthsatz, B. (2012). Vegetation and ecology of the high Andean peatlands of Bolivia. *Phytocoenologia*, 42(3-4), 133-179. doi:10.1127/0340-269X/2012/0042-0535
- Sánchez Díaz, B. (2018). La teledetección en investigaciones ecológicas como apoyo a la conservación de la biodiversidad: una revisión. *Ciencia e Ingeniería*, 33(3).
doi:<https://doi.org/10.14483/23448350.13370>
- SERNANP. (2021). *RESOLUCIÓN DIRECTORAL N° 069-2021-SERNANP-DGANP*. Resolución, Lima. Retrieved from chrome-

extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://legislacionanp.org.pe/wp-content/uploads/2022/05/RD-69-2021-SERNANP-DGANP.pdf.pdf

Sinsaya Calsina, E. Y. (2020). *Variación espacial (2015 – 2019) y estado de conservación de humedales altoandinos en la comunidad de Ananiso, distrito de Pitumarca, Cusco*.

Universidad César Vallejo, Repositorio Digital Institucional. Obtenido de <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/60635>

Sociedad Nacional de Minería, Petróleo y Energía. (2023). Obtenido de <https://comunidad.pe/main/proyectos/gestion-sostenible-de-bofedales-en-ayacucho>

Squeo, F. A., Warner, B. G., Aravena, R., & Espinoza, D. (2006). Bofedales: high altitude peatlands of the central Andes. *Revista Chilena de Historia Natural*, 79(2), 245-255. doi:<http://dx.doi.org/10.4067/S0716-078X2006000200010>

Toribio Quispe, S. M. (2023). *Análisis del efecto espacio - temporal del retroceso glaciar del nevado Huaytapallana en los bofedales del Área de Conservación Regional Huaytapallana en el periodo de 1990-2020, Junín - 2022*. Universidad Continental, Repositorio Institucional. Obtenido de <https://repositorio.continental.edu.pe/item/9f61dd6a-4d4a-4cd5-a1c8-2f9489fc296c>

Turner, W., Spector, S., Gardiner, N., Fladeland, M., Sterling, E., & Steininger, M. (2003). Remote sensing for biodiversity science and conservation. *TRENDS in Ecology and Evolution*, 18(6), 306-314. doi:10.1016/S0169-5347(03)00070-3

- Xu, H. (2006). Modification of normalised difference water index (NDWI) to enhance open water features in remotely sensed imagery. *International Journal of Remote Sensing*, 27(14). doi:<https://doi.org/10.1080/01431160600589179>
- Yan Gao, Zeyu Liang, Biao Wang, Yanlan Wu, & Penghai Wu. (2018). Wetland Change Detection Using Cross-Fused-Based and Normalized Difference Index Analysis on Multitemporal Landsat 8 OLI. *Hindawi Journal of Sensors*, 2018(1), 8. doi:<https://doi.org/10.1155/2018/8130470>
- Yaranga, R. (2020). Humedal Altoandino del Perú: Diversidad florística, productividad primaria neta aérea, condición ecológica y capacidad de carga. 11(2). doi:<https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2020.02.08>

Anexos

Anexo 1. Matriz de Consistencia

“ESTADO DE SALUD DE LOS BOFEDALES DE RAZUHUILLCA (HUANTA - AYACUCHO), DURANTE EL PERIODO 2017 - 2023 MEDIANTE TÉCNICAS DE TELEDETECCIÓN”				
PROBLEMA	OBJETIVO	HIPÓTESIS	VARIABLE	METODOLOGÍA
PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	HIPÓTESIS PRINCIPAL	ESTADO DE SALUD DE LOS BOFEDALES	Tipo de Investigación: Básico Nivel de Investigación: Descriptivo Enfoque de Investigación: Teledetección: Cuantitativo Trabajo “in-situ”: Cualitativo Diseño de Investigación: No experimental Población: Microcuenca Razuhuillca Muestra: 8 bofedales como puntos de muestreo Muestreo: Por conveniencia Técnicas o Instrumentos: Teledetección
¿Cómo ha evolucionado el estado de salud de los bofedales de Razuhuillca entre 2017 y 2023, utilizando técnicas de teledetección basadas en los índices NDVI y NDWI, complementadas con la validación directa en campo?	Evaluar la evolución del estado de salud de los bofedales de Razuhuillca durante el periodo 2017-2023, mediante técnicas de teledetección basadas en los índices NDVI y NDWI, complementadas con la validación directa en campo.	La evolución del estado de salud de los bofedales en la Microcuenca Razuhuillca entre 2017 y 2023 refleja una condición predominantemente óptima, caracterizada por una cobertura vegetal densa y una regulación hídrica estable, cuya resiliencia ecosistémica es confirmada mediante la integración de índices espectrales (NDVI y NDWI) y la validación directa en campo.		
PROBLEMAS ESPECÍFICOS	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	HIPÓTESIS ESPECÍFICAS		
¿Cuál es la disponibilidad y distribución espacial de la biodiversidad y el recurso hídrico en los bofedales de Razuhuillca mediante la validación directa en campo?	Identificar la disponibilidad y distribución espacial de la biodiversidad vegetal y el recurso hídrico mediante la validación directa en campo en los bofedales de Razuhuillca.	La disponibilidad y distribución espacial actual de la biodiversidad y el recurso hídrico in situ en los bofedales evaluados evidencia un estado de conservación favorable, con una funcionalidad ecológica e infraestructura de suelos ricos en materia orgánica que varía según su ubicación geográfica.		
¿Cuáles han sido los cambios temporales en la disponibilidad hídrica y la cobertura vegetal de los bofedales de Razuhuillca durante el periodo 2017 y 2023, reflejados en los índices NDVI y NDWI?	Comparar los cambios temporales en la disponibilidad hídrica y la cobertura vegetal de los bofedales de Razuhuillca durante el periodo 2017-2023, analizados mediante los índices NDVI y NDWI.	Durante el periodo 2017 – 2023, los bofedales de la Microcuenca de Razuhuillca han experimentado cambios temporales significativos en la disponibilidad de agua y en la vegetación, medidos a través de los índices NDVI y NDWI. A pesar de estas variaciones estacionales y fluctuaciones en la disponibilidad hídrica, los bofedales han mantenido un estado de salud óptimo, lo que sugiere que han demostrado una notable capacidad de adaptación y resiliencia frente a los factores climáticos y ambientales, así como a las perturbaciones externas.		
¿Cómo contribuyen los índices NDVI y NDWI a la evaluación del estado de salud de los bofedales de Razuhuillca entre 2017 y 2023, y cuál es su nivel de precisión respecto a la validación directa en campo?	Determinar la precisión y contribución de los índices NDVI y NDWI para la evaluación del estado de salud de los bofedales de Razuhuillca durante el periodo 2017-2023 en contraste con la validación directa en campo.	Los índices NDVI y NDWI constituyen herramientas con un alto nivel de precisión y contribución para evaluar el estado de salud de los bofedales de Razuhuillca durante el periodo 2017 – 2023, logrando capturar de manera exacta las variaciones en la cobertura vegetal y la disponibilidad hídrica a lo largo del tiempo, facilitando un análisis exhaustivo del ecosistema que complementa rigurosamente la información recabada a través de la validación directa en campo.		

Anexo 2. Fichas de observación

Ficha de observación BR33

FICHA DE OBSERVACIÓN - SALIDAS A CAMPO

TÍTULO DEL PROYECTO	"ESTADO DE SALUD DE LOS BOFEDALES DE RAZUHUILCA (HUANTA - AYACUCHO), DURANTE EL PERIODO 2017 - 2023 MEDIANTE TÉCNICAS DE TELEDETECCIÓN"
---------------------	---

LUGAR: MICROCUCENCA RAZUHUILCA

FECHA: 13 DE DICIEMBRE DEL 2024

UBICACIÓN: SECTOR 1 - (BR33)

COORDENADAS GPS: 18.591426 - 85.74582

CARACTERÍSTICAS	DESCRIPCIÓN		OBSERVACIONES
CONDICIONES CLIMÁTICAS	Altitud	4138 m.s.n.m	Presencia de fuertes vientos y una tenue garúa por momentos.
	Latitud	-12.892683	
	Longitud	-74.157297	
	T°	12°C	
CARACTERÍSTICAS DEL SUELO	Buena retención de agua	✓	El bofedal presenta exceso de agua, pero se conserva de manera adecuada.
	Alta materia orgánica	✓	
	Capacidad de drenaje	✓	
	Integridad paisajística	✓	
IMPACTOS ANTROPOGÉNICOS	IMPACTO DIRECTO		• Existe pastoreo controlado • Trochas carrozables • Piscigranjas abandonadas y con el suelo en regeneración. • Existe zona de cultivos en estado de regeneración (abandonados).
	Contaminación		
	Construcción de Infraestructuras		
	Sobrepastoreo		
	Minería		
	Urbanización		
	Agricultura Intensiva	✓	
	IMPACTO INDIRECTO		No existe un impacto indirecto como tal, pero hay espacios que sirvieron para la agricultura, que actualmente se encuentran en proceso de regeneración.
	Cambio Climático		
	Pérdida de servicios ecosistémicos		
	Especies Invasoras	✓	
CONDICIÓN DE LA BIOTA	FAUNA		Además de las especies marcadas, se evidenció la presencia de caballos y vicuñas.
	Aves	✓	
	Camélidos	✓	
	Vacunos	✓	
	Ovinos	✓	
	Otros	✓	
	FLORA		Además de las especies marcadas, se evidenció la presencia de: • <i>Phlegmarium crassus</i>, el cual es una hierba densamente cespitosa, de colores verdosos, naranjos; de una altura aprox. de 7-10cm. • Hongos
	<i>Distichia muscoides</i>	✓	
	<i>Azorella diapsenioides</i>	✓	
	<i>Coirón (Festuca spp.)</i>	✓	
	<i>Hypochaeris meyeniana</i>		
	<i>Oritrophium limnophilum</i>		
	<i>Perezia nivalis</i>		
	<i>Oreobolus obtusangulus</i>	✓	
	Otros	✓	
CLASIFICACIÓN DEL ESTADO DE SALUD	Deficiente		Según la tabla de clasificación, este bofedal se considera en estado óptimo por la alta diversidad biológica y materia orgánica.
	Regular		
	Bueno		
	Óptimo	✓	



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE HUANTA

Dr. Rubén Naupari Molina
DOCENTE

Ficha de observación BR30

FICHA DE OBSERVACIÓN - SALIDAS A CAMPO

TÍTULO DEL PROYECTO	"ESTADO DE SALUD DE LOS BOFEDALES DE RAZUHUILLCA (HUANTA - AYACUCHO), DURANTE EL PERIODO 2017 - 2023 MEDIANTE TÉCNICAS DE TELEDETECCIÓN"
---------------------	--

LUGAR: MICROCUENCA RAZUHUILLCA

FECHA: 13 DE DICIEMBRE DEL 2024

UBICACIÓN: SECTOR 2 - (BR30)

COORDENADAS GPS: 18L 591804 - 8574937

CARACTERÍSTICAS	DESCRIPCIÓN		OBSERVACIONES
CONDICIONES CLIMÁTICAS	Altitud	4148 m.s.n.m	Presencia de vientos leves, pero no hubo lluvias ni garúas.
	Latitud	-12.889462	
	Longitud	-74.153823	
	T°	13°C	
CARACTERÍSTICAS DEL SUELO	Buena retención de agua	✓	El bofedal presenta exceso de agua, con una conservación adecuada.
	Alta materia orgánica	✓	
	Capacidad de drenaje	✓	
	Integridad paisajística	✓	
IMPACTOS ANTROPOGÉNICOS	IMPACTO DIRECTO		A los alrededores del bofedal no se avista carreteras ni trochas carrosables.
	Contaminación		
	Construcción de Infraestructuras		
	Sobrepastoreo		
	Minería		
	Urbanización		
	Agricultura Intensiva		
	IMPACTO INDIRECTO		No se evidenció impacto antropogénico indirecto en toda la zona.
	Cambio Climático		
	Pérdida de servicios ecosistémicos		
	Especies Invasoras		
	Turismo descontrolado		
CONDICIÓN DE LA BIOTA	FAUNA		Además de las especies marcadas, se evidenció la presencia de patos, caballos y un cóndor.
	Aves	✓	
	Camélidos	✓	
	Vacunos	✓	
	Ovinos	✓	
	Otros	✓	
	FLORA		Además de todas las especies marcadas, se evidencia: - <i>Phlegmariurus crassus</i> , (especie densamente cespitosa, de colores verdosos, naranjas y de una altura aprox. de 7-10 cm). - Hongos
	<i>Distichia muscoides</i>	✓	
	<i>Azorella diapsenioides</i>	✓	
	<i>Cotón (Festuca spp.)</i>	✓	
	<i>Hypochaeris meyeniana</i>	✓	
	<i>Oritrophium limnophilum</i>	✓	
	<i>Perezia nivalis</i>	✓	
	<i>Oreobolus obtusangulus</i>	✓	
	Otros	✓	
CLASIFICACIÓN DEL ESTADO DE SALUD	Deficiente		Según la tabla de clasificación, el bofedal se considera en estado óptimo, ya que no hay evidencia de impactos antropogénicos y diversidad biológica.
	Regular		
	Bueno		
	Óptimo	✓	

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE HUANTA

Dr. Robén Naupari Molina
DOCENTE

Ficha de observación BR93

FICHA DE OBSERVACIÓN - SALIDAS A CAMPO

TÍTULO DEL PROYECTO	"ESTADO DE SALUD DE LOS BOFEDALES DE RAZUHUILLCA (HUANTA - AYACUCHO), DURANTE EL PERIODO 2017 - 2023 MEDIANTE TÉCNICAS DE TELEDETECCIÓN"
---------------------	--

LUGAR: MICROCUENCA RAZUHUILLCA - UCHURACCAYFECHA: 22 DE DICIEMBRE DEL 2024UBICACIÓN: SECTOR 2 - (BR93)COORDENADAS GPS: 18L 590719 - 8579327

CARACTERÍSTICAS	DESCRIPCIÓN		OBSERVACIONES
CONDICIONES CLIMÁTICAS	Altitud	4243 m.s.n.m	Presencia de neblina por un aprox. de 15 minutos y una leve garúa.
	Latitud	-12.8498	
	Longitud	-74.163955	
	T°	7°C	
CARACTERÍSTICAS DEL SUELO	Buena retención de agua	✓	• Zona con alta materia orgánica • El drenaje existente en los bofedales es natural.
	Alta materia orgánica	✓	
	Capacidad de drenaje	✓	
	Integridad paisajística		
IMPACTOS ANTROPOGÉNICOS	IMPACTO DIRECTO		Se evidencian pastores en el lugar, en aproximadamente 1 hectárea (pastoreo intenso).
	Contaminación		
	Construcción de Infraestructuras		
	Sobrepastoreo	✓	
	Minería		
	Urbanización		
	Agricultura Intensiva		
	IMPACTO INDIRECTO		La laguna ubicada en la zona muestra pastizales dentro de ella y su capacidad hídrica va disminuyendo.
	Cambio Climático		
	Pérdida de servicios ecosistémicos	✓	
	Especies Invasoras	✓	
CONDICIÓN DE LA BIOTA	FAUNA		Se registró rastros de la presencia de ovinos y se avistó patos en la zona, además de vacunos.
	Aves	✓	
	Camélidos		
	Vacunos	✓	
	Ovinos	✓	
	Otros		
	FLORA		• Además de las especies marcadas, se registró la presencia de: - <i>Callitriche mandonis</i> (son algas dentro de la laguna que se encuentra cerca a los bofedales). - Tolora (<i>Typha minima</i>)
	<i>Distichia muscoides</i>	✓	
	<i>Azorella diapensioides</i>	✓	
	<i>Coirón (Festuca spp.)</i>	✓	
	<i>Hypochaeris meyeniana</i>	✓	
	<i>Oritrophium limnophilum</i>	✓	
	<i>Perezia nivalis</i>		
	<i>Oreobolus obtusangulus</i>		
	Otros	✓	
CLASIFICACIÓN DEL ESTADO DE SALUD	Deficiente		Según la tabla de clasificación se considera a este bofedal como bueno, debido a los impactos antropogénicos y la reducción de servicios ecosistémicos.
	Regular		
	Bueno	✓	
	Óptimo		

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE HUANTA

Dr. Rubén Naupari Molina
DOCENTE

Ficha de observación BR90

FICHA DE OBSERVACIÓN - SALIDAS A CAMPO

TÍTULO DEL PROYECTO	"ESTADO DE SALUD DE LOS BOFEDALES DE RAZUHUILLCA (HUANTA - AYACUCHO), DURANTE EL PERIODO 2017 - 2023 MEDIANTE TÉCNICAS DE TELEDETECCIÓN"
---------------------	--

LUGAR: MICROCUEVA RAZUHUILLCA - UCHURACCAYFECHA: 22 de Diciembre del 2024UBICACIÓN: (BR90) - PARADA 12COORDENADAS GPS: 18L 591156 - 8579799

CARACTERÍSTICAS	DESCRIPCIÓN		OBSERVACIONES
CONDICIONES CLIMÁTICAS	Altitud	4200 m.s.n.m	
	Latitud	-12.84552	
	Longitud	-74.159942	
	T°	10°C	
CARACTERÍSTICAS DEL SUELO	Buena retención de agua	✓	- El bofedal se encuentra inundado. - El estado paisajístico se encuentra en regeneración.
	Alta materia orgánica	✓	
	Capacidad de drenaje	✓	
	Integridad paisajística		
IMPACTOS ANTROPOGÉNICOS	IMPACTO DIRECTO		- Presencia de un puente rústico y trocha carrozable. - Existencia de corralones de ganado. - Evidencia de agricultura intensiva, pero el terreno se encuentra en regeneración.
	Contaminación		
	Construcción de Infraestructuras	✓	
	Sobrepastoreo		
	Minería		
	Urbanización		
	Agricultura Intensiva	✓	
	IMPACTO INDIRECTO		No se evidenció impacto antropogénico indirecto en toda la zona.
	Cambio Climático		
	Pérdida de servicios ecosistémicos		
	Especies Invasoras		
CONDICIÓN DE LA BIOTA	FAUNA		- Además de la presencia de aves y ovinos, se avistó caballos y burros en la zona. - Se presenciaron varias orugas larvales (<i>Pyrrharchia isabella</i>).
	Aves	✓	
	Camélidos		
	Vacunos		
	Ovinos	✓	
	Otros	✓	
	FLORA		- Además de las especies marcadas, se registró la presencia de: <i>Gentianella carneocolorata</i> (planta con flores rojas con una altura de 2-5cm aprox).
	<i>Distichia muscoides</i>	✓	
	<i>Azorella diapiensoides</i>	✓	
	<i>Coirón (Festuca spp.)</i>	✓	
	<i>Hypochaeris meyeniana</i>		
	<i>Oritrophium limnophilum</i>		
	<i>Perezia nivalis</i>		
	<i>Oreobolus obtusangulus</i>		
	Otros	✓	
CLASIFICACIÓN DEL ESTADO DE SALUD	Deficiente		Según la tabla de clasificación se denomina a este bofedal con estado bueno, ya que, pese a los impactos directos, se conserva y mantiene su diversidad biológica.
	Regular		
	Bueno	✓	
	Óptimo		

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE HUANTA

Dr. Rubén Naupari Molina
DOCENTE

Ficha de observación BR97

FICHA DE OBSERVACIÓN - SALIDAS A CAMPO

TÍTULO DEL PROYECTO	"ESTADO DE SALUD DE LOS BOFEDALES DE RAZUHUILLCA (HUANTA - AYACUCHO), DURANTE EL PERIODO 2017 - 2023 MEDIANTE TÉCNICAS DE TELEDETECCIÓN"
---------------------	--

LUGAR: MICROCUECNA RAZUHUILLCA - UCHURACCAYFECHA: 22 DE DICIEMBRE DEL 2024UBICACIÓN: SECTOR 4 - (BR97)COORDENADAS GPS: 18L 589258 - 8579491

CARACTERÍSTICAS	DESCRIPCIÓN		OBSERVACIONES
CONDICIONES CLIMÁTICAS	Altitud	4231 m.s.n.m	Presencia de neblina por aprox. 10-15 min. y garúa leve.
	Latitud	-12.84836	
	Longitud	-74.177423	
	T°	8°C	
CARACTERÍSTICAS DEL SUELO	Buena retención de agua	✓	La integridad paisajística se ve comprometida por los corrales construidos.
	Alta materia orgánica	✓	
	Capacidad de drenaje	✓	
	Integridad paisajística		
IMPACTOS ANTROPOGÉNICOS	IMPACTO DIRECTO		Presencia de corrales de piedra para el ganado.
	Contaminación		
	Construcción de Infraestructuras	✓	
	Sobrepastoreo		
	Minería		
	Urbanización		
	Agricultura Intensiva		
	IMPACTO INDIRECTO		Por la presencia de los animales y los corrales, se han visto perjudicados los servicios ecosistémicos.
	Cambio Climático		
	Pérdida de servicios ecosistémicos	✓	
	Especies Invasoras	✓	
	Turismo descontrolado		
CONDICIÓN DE LA BIOTA	FAUNA		Estas especies se encontraban distribuidos en toda la zona.
	Aves	✓	
	Camélidos	✓	
	Vacunos	✓	
	Ovinos	✓	
	Otros		
	FLORA		Además de las especies marcadas, se registró también la presencia de: - Patosia clandestina (hierba que en conjunto forman cojines densos). - Phlegmarivrus crassus, (bastoncitos de 7-10 cm aprox. de colores verdes, naranjas).
	Distichia muscoides	✓	
	Azorella diapensioides	✓	
	Cotón (Festuca spp.)	✓	
	Hypochaeris meyeniana		
	Oritrophium limnophilum		
	Perezia nivalis		
	Oreobolus obtusangulus		
	Otros	✓	
CLASIFICACIÓN DEL ESTADO DE SALUD	Deficiente		Según la tabla de clasificación, se considera a este bofedal en estado bueno, por conservar la condición de la biota, pese a los impactos existentes.
	Regular		
	Bueno	✓	
	Óptimo		



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE HUANTA

Dr. Rubén Naupari Molina
DOCENTE

Ficha de observación BR80

FICHA DE OBSERVACIÓN - SALIDAS A CAMPO

TÍTULO DEL PROYECTO	"ESTADO DE SALUD DE LOS BOFEDALES DE RAZUHUILLCA (HUANTA - AYACUCHO), DURANTE EL PERIODO 2017 - 2023 MEDIANTE TÉCNICAS DE TELEDETECCIÓN"
---------------------	--

LUGAR: MICROCUENCA RAZUHUILLCA - UCHURACCAYFECHA: 22 DE DICIEMBRE DEL 2024UBICACIÓN: SECTOR 2 - (BR80)COORDENADAS GPS: 181 593465 - 8580006

CARACTERÍSTICAS			DESCRIPCIÓN	OBSERVACIONES
CONDICIONES CLIMÁTICAS	Altitud	4123 m.s.n.m	Se presenció lluvia ligera y vientos leves.	
	Latitud	-12.843579		
	Longitud	-74.138671		
	T°	7°C		
CARACTERÍSTICAS DEL SUELO	Buena retención de agua	✓	Bofedal que se ha visto afectado por la represa cercana. Muestra pequeñas huecas como señal de inundación.	
	Alta materia orgánica	✓		
	Capacidad de drenaje	✓		
	Integridad paisajística			
IMPACTOS ANTROPOGÉNICOS	IMPACTO DIRECTO		Represa construida con concreto. Trochas y carreteras de tierra, para acceder a la represa.	
	Contaminación			
	Construcción de Infraestructuras	✓		
	Sobrepastoreo			
	Minería			
	Urbanización			
	Agricultura Intensiva		Producto de las carreteras que dan acceso a la represa, se ha visto la pérdida de servicios ecosistémicos.	
	IMPACTO INDIRECTO			
	Cambio Climático			
	Pérdida de servicios ecosistémicos	✓		
	Especies Invasoras	✓		
	Turismo descontrolado			
CONDICIÓN DE LA BIOTA	FAUNA		Además de las especies marcadas, se observó caballos y patos.	
	Aves	✓		
	Camélidos	✓		
	Vacunos			
	Ovinos	✓		
	Otros	✓		
	FLORA		Además de las especies marcadas, se pudo observar presencia de: - Berros (hierba encontrada en los bofedales inundados) - Castilleja pumila (hierba con floración roja) - Juncus articus (totora)	
	Distichia muscoides	✓		
	Azorella diapsenioides	✓		
	Coirón (Festuca spp.)	✓		
	Hypochaeris meyeniana			
	Oritrophium limnophilum			
Perezia nivalis				
Oreobolus obtusangulus	✓			
Otros	✓	Según la tabla de clasificación, al bofedal se considera en estado óptimo, por la variedad en la condición de la biota.		
CLASIFICACIÓN DEL ESTADO DE SALUD				
Deficiente				
Regular				
Bueno				
Óptimo	✓			

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE HUANTA

Dr. Rubén Naupari Molina
DOCENTE

Ficha de observación BT7

FICHA DE OBSERVACIÓN - SALIDAS A CAMPO

TÍTULO DEL PROYECTO	"ESTADO DE SALUD DE LOS BOFEDALES DE RAZUHUILCA (HUANTA - AYACUCHO), DURANTE EL PERIODO 2017 - 2023 MEDIANTE TÉCNICAS DE TELEDETECCIÓN"
---------------------	---

LUGAR: Tocctoccocha - TamboFECHA: 09 DE ABRIL DEL 2025UBICACIÓN: BT7COORDENADAS GPS: 18L 599012 - 8567021

CARACTERÍSTICAS	DESCRIPCIÓN		OBSERVACIONES
CONDICIONES CLIMÁTICAS	Altitud	4005 m.s.n.m	Día soleado, con un poco de viento.
	Latitud	-12.960812	
	Longitud	-74.087132	
	T°	15°C	
CARACTERÍSTICAS DEL SUELO	Buena retención de agua	✓	
	Alta materia orgánica	✓	
	Capacidad de drenaje	✓	
	Integridad paisajística		
IMPACTOS ANTROPOGÉNICOS	IMPACTO DIRECTO		• Construcción rústica de barro y piedras, carretera cerca. • Presencia de agricultura y ganadería moderada, pero cerca de la laguna.
	Contaminación		
	Construcción de Infraestructuras	✓	
	Sobrepastoreo		
	Minería		
	Urbanización		
	Agricultura Intensiva	✓	
	IMPACTO INDIRECTO		La pérdida de servicios ecosistémicos es producto de los animales que se encuentran en la zona.
	Cambio Climático		
	Pérdida de servicios ecosistémicos	✓	
	Especies Invasoras	✓	
CONDICIÓN DE LA BIOTA	FAUNA		• Presencia de aves silvestres, patos y cabras a los alrededores de la laguna.
	Aves	✓	
	Camélidos		
	Vacunos		
	Ovinos		
	Otros	✓	
	FLORA		• Además de las especies marcadas, se registró la presencia de: - <i>Polytrichum</i> spp. (Queñuales)
	<i>Distichia muscoides</i>	✓	
	<i>Azorella diapsioides</i>	✓	
	<i>Coirón (Festuca spp.)</i>	✓	
	<i>Hypochaeris meyeniana</i>		
	<i>Oritrophium limnophilum</i>		
	<i>Perezia nivalis</i>		
	<i>Oreobolus obtusangulus</i>		
	Otros	✓	
CLASIFICACIÓN DEL ESTADO DE SALUD	Deficiente		Según la tabla de clasificación, se considera al bofedal en estado bueno, ya que, pese a los impactos antropogénicos aún se conserva la diversidad biológica.
	Regular		
	Bueno	✓	
	Óptimo		



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE HUANTA

Rubén Naupari Molina
DOCENTE

Ficha de observación BT59

FICHA DE OBSERVACIÓN - SALIDAS A CAMPO

TÍTULO DEL PROYECTO	"ESTADO DE SALUD DE LOS BOFEDALES DE RAZUHUILLCA (HUANTA - AYACUCHO), DURANTE EL PERIODO 2017 - 2023 MEDIANTE TÉCNICAS DE TELEDETECCIÓN"
---------------------	--

LUGAR: Tambo - ToccocechaFECHA: 10 DE ABRIL DEL 2025UBICACIÓN: LAGUNA YANAHUAGRA - (BT59)COORDENADAS GPS: 13L 596919 - 8570520

CARACTERÍSTICAS	DESCRIPCIÓN		OBSERVACIONES
CONDICIONES CLIMÁTICAS	Altitud	4153 m.s.n.m	Se presentó leves vientos y lluvia ligera.
	Latitud	-12.929242	
	Longitud	-74.10654	
	T°	9°C	
CARACTERÍSTICAS DEL SUELO	Buena retención de agua	✓	Los bofedales presentan una leve inundación por partes.
	Alta materia orgánica	✓	
	Capacidad de drenaje	✓	
	Integridad paisajística	✓	
IMPACTOS ANTROPOGÉNICOS	IMPACTO DIRECTO		Existen 2 represas; la primera con construcción rústica de piedras pero con concreto en un lado. La segunda, una construcción más elaborada con concreto.
	Contaminación		
	Construcción de Infraestructuras	✓	
	Sobrepastoreo		
	Minería		
	Urbanización		
	Agricultura Intensiva		
	IMPACTO INDIRECTO		Pérdida de servicios ecosistémicos producto de los materiales de construcción que usaron para la represa (se encontraban abandonados en el lugar).
	Cambio Climático		
	Pérdida de servicios ecosistémicos	✓	
	Especies Invasoras	✓	
	Turismo descontrolado		
CONDICIÓN DE LA BIOTA	FAUNA		Presencia de patos, además de las especies ya mencionadas.
	Aves	✓	
	Camélidos		
	Vacunos	✓	
	Ovinos	✓	
	Otros	✓	
	FLORA		Además de las especies ya mencionadas, se evidenció la presencia de: - Gentianella Vargasii peiris (flores blancas pequeñas de un aprox. de 10-15 cm). - Rockhamenia pumila Kunth (con flores amarillas con ramas largas).
	Distichia muscoides	✓	
	Azorella diapiensoides	✓	
	Cotón (Festuca spp.)	✓	
	Hypochaeris meyeniana		
	Oritrophium limnophilum		
	Perezia nivalis		
	Oreobolus obtusangulus		
	Otros	✓	
	Deficiente		Según la tabla de clasificación, se considera al bofedal en estado bueno, debido a la pérdida de servicios ecosistémicos, pero manteniendo la vegetación y diversidad biológica.
	Regular		
	Bueno	✓	
	Óptimo		

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE HUANTA

Dr. Rubén Naupari Molina
DOCENTE

Anexo 3. Panel Fotográfico del trabajo en campo



Fotografía 1. Avistamiento de aves en el bofedal de Tocctoccocha (BT7).



Fotografía 2. Llenado de fichas de observación en el bofedal de Uchuraccay (BR80).



Fotografía 3. Llenado de ficha de observación en el bofedal de Razuhuillca (BR30).



Fotografía 4. Observación de mapa y llenado de fichas de observación en el bofedal de Razuhuillca (BR33).



Fotografía 5. Llenado de ficha de observación en el bofedal de Uchuraccay (BR93).



Fotografía 6. Ingreso a los bofedales de Uchuraccay (BR80).



Fotografía 7. Avistamiento de un cóndor en uno de los bofedales.



Fotografía 8. Observación panorámica previa del bofedal de Uchuraccay (BR93).



Fotografía 9. Observación e identificación de especies en flora y fauna en el bofedal de Uchuraccay (BR97).



Fotografía 10. Observación e identificación de especies en flora y fauna en el bofedal de Uchuraccay (BR97).