



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGRÍCOLA



**DETERMINACIÓN DE LA DINÁMICA DE CAMBIO DE LOS
BOFEDALES ALTOANDINOS EMPLEANDO IMÁGENES
SATELITALES EN LA CUENCA DEL RIO HUENQUE EN EL
PERIODO (1990 – 2024)**

TESIS

PRESENTADA POR:

Bach. REYNALDO GONZALES APAZA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO AGRÍCOLA

PUNO - PERÚ

2024



Reporte de similitud

NOMBRE DEL TRABAJO

DETERMINACIÓN DE LA DINÁMICA DE CAMBIO DE LOS BOFEDALES ALTOANDINOS EMPLEANDO IMÁGENES SATELITALES EN LA CUENCA DEL RIO HUENQUE EN EL PERIODO (1990 – 2024)

AUTOR

REYNALDO GONZALES APAZA

RECuento de palabras

25634 Words

RECuento de caracteres

132837 Characters

RECuento de páginas

134 Pages

Tamaño del archivo

10.9MB

Fecha de entrega

Sep 3, 2024 12:22 PM GMT-5

Fecha del informe

Sep 3, 2024 12:24 PM GMT-5

● **13% de similitud general**

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

- 13% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 6% Base de datos de trabajos entregados
- 1% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

● **Excluir del Reporte de Similitud**

- Material bibliográfico
- Material citado
- Material citado
- Coincidencia baja (menos de 12 palabras)


Dr. EDUARDO FLORES Cotador
ASesor.



Resumen



DEDICATORIA

Quiero dedicar esta tesis a mi madre Juana Sabina que me dio la vida y fuerzas para seguir adelante en los momentos más difíciles que me ha tocado vivir, por sus consejos, su apoyo incondicional y su paciencia.

A mi esposa Karem Yoice que me ha acompañado, que me ha querido con mis aciertos y fracasos que me ha impulsado cada día a lograr mis objetivos y lo más importante que me ha amado cada día que nos ha tocado vivir juntos y con su cariño me ha convertido en un mejor ser humano.

Reynaldo Gonzales Apaza



AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a todas las personas que han contribuido de alguna manera en la realización de esta tesis.

En primer lugar, a la Universidad Nacional del Altiplano, facultad de Ingeniería Agrícola, escuela profesional de Ingeniería Agrícola por su formación profesional.

Agradezco a mi director de tesis, DR. Eduardo Flores Condori, por sus valiosas sugerencias y comentarios que han sido fundamentales para lograr los objetivos propuestos.

También quiero agradecer a cada una de las personas que han intervenido en la realización de esta tesis ya que sin su apoyo y sugerencias no se hubiera hecho realidad.

Reynaldo Gonzales Apaza



ÍNDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA	
AGRADECIMIENTOS	
ÍNDICE GENERAL	
ÍNDICE DE TABLAS	
ÍNDICE DE FIGURAS	
ÍNDICE DE ANEXOS	
ACRÓNIMOS	
RESUMEN	16
ABSTRACT.....	17
CAPÍTULO I	
INTRODUCCIÓN	
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	20
1.1.1. Problema general.....	22
1.1.2. Problemas específicos	22
1.2. HIPÓTESIS	22
1.2.1. Hipótesis general	22
1.2.2. Hipótesis específicas	23
1.3. JUSTIFICACIÓN	23
1.4. OBJETIVOS.....	25
1.4.1. Objetivo general	25
1.4.2. Objetivos específicos.....	25



CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1.	ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN	26
2.1.1.	Internacionales	26
2.1.2.	Nacionales	30
2.1.3.	Regionales	35
2.2.	MARCO TEÓRICO	36
2.2.1.	Bofedales altoandinos	36
2.2.2.	Fuentes de provisión de agua hacia los bofedales.....	37
2.2.3.	Servicios ecosistémicos de los bofedales	38
2.2.4.	Indicadores de la variabilidad climática.....	41
2.2.4.1.	Efectos de la variabilidad climática	41
2.2.4.2.	Vulnerabilidad de los bofedales a la variabilidad climática	42
2.2.5.	Fuentes de adquisición de datos climáticos.....	42
2.2.6.	Sistemas de información geográfica y teledetección	43
2.2.6.1.	Sistemas de información geográfica	43
2.2.6.2.	Teledetección	45
2.2.7.	Satélites para la teledetección	48
2.2.8.	Monitoreo de lo bofedales mediante teledetección.....	49
2.2.8.1.	Índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI)	49
2.2.9.	Tratamiento de imágenes satelitales.....	50
2.3.	DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS	51
2.3.1.	Cuenca hidrográfica	51
2.3.2.	Ecosistemas de montaña.....	51
2.3.3.	Turba	51



2.3.4. Bofedal	51
2.3.5. Servicios Ecosistémicos	51
2.3.6. Análisis multitemporal	52
2.3.7. Imagen satelital Landsat.....	52
2.3.8. Infraestructura Natural o soluciones basadas en la naturaleza	52

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. ZONA DE ESTUDIO.....	54
3.1.1. Límites.....	55
3.1.2. Vías de comunicación y accesibilidad	55
3.2. TIPO DE INVESTIGACIÓN	55
3.3. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS.....	56
3.4. POBLACIÓN Y MUESTRA.....	57
3.4.1. Población.....	57
3.4.2. Muestra.....	57
3.5. PROCEDIMIENTO METODOLÓGICO	57
3.5.1. Determinación de la extensión de los bofedales altoandinos empleando imágenes satelitales en la cuenca del río Huenque, analizando su variabilidad estacional y anual en el periodo (1990 – 2024).....	57
3.5.2. Correlación entre las variables climáticas y el cambio de la superficie de los bofedales, para comprender mejor los factores ambientales que afectan la dinámica en la cuenca del río Huenque en el periodo (1990 – 2024). 61	61
3.5.3. Análisis y evaluación el estado de los bofedales altoandinos para proponer estrategias de conservación de bofedales altoandinos que contribuyan a su preservación y la sostenibilidad en la cuenca del río Huenque.....	63



CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. DETERMINACIÓN DE LA EXTENSIÓN DE LOS BOFEDALES ALTOANDINOS EMPLEANDO IMÁGENES SATELITALES EN LA CUENCA DEL RIO HUENQUE, ANALIZANDO SU VARIABILIDAD ESTACIONAL Y ANUAL EN EL PERIODO (1990 – 2024).....	71
4.1.1. Análisis de la extensión de bofedales altoandinos	72
4.1.2. Dinámica de cambio de los bofedales altoandinos de la cuenca del río Huenque	79
4.1.3. Indicadores de validación.....	80
4.2. ANALISIS DE LA CORRELACIÓN ENTRE LAS VARIABLES CLIMÁTICAS Y EL CAMBIO DE LA SUPERFICIE DE LOS BOFEDALES, PARA COMPRENDER MEJOR LOS FACTORES AMBIENTALES QUE AFECTAN LA DINÁMICA EN LA CUENCA DEL RIO HUENQUE EN EL PERIODO (1990 – 2024).....	82
4.2.1. Consistencia de las variables climáticas.....	83
4.2.2. Datos climáticos de la cuenca del río Huenque.....	84
4.2.3. Correlación de las variables climáticas con respecto a la superficie de los bofedales.....	90
4.3. ANALISIS Y EVALUACIÓN DEL ESTADO DE LOS BOFEDALES ALTOANDINOS PARA PROPONER ESTRATEGIAS DE CONSERVACIÓN DE BOFEDALES ALTOANDINOS QUE CONTRIBUYAN A SU PRESERVACIÓN Y LA SOSTENIBILIDAD EN LA CUENCA DEL RIO HUENQUE.	93
4.3.1. Condición del agua.....	95



4.3.2. Condición del suelo.....	96
4.3.3. Condición de la biota.....	97
4.3.4. Alteraciones del paisaje.....	99
4.3.5. Estado de los bofedales altoandinos de la cuenca del rio Huenque	100
4.3.6. Estrategias de conservación de bofedales altoandinos que contribuyan a su preservación y la sostenibilidad	100
V. CONCLUSIONES.....	106
VI. RECOMENDACIONES	107
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	108
ANEXOS.....	117

Área: Ingeniería y tecnología

Línea: Ordenamiento territorial y medio ambiente

FECHA DE SUSTENTACIÓN: 10 de setiembre del 2024



ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1 Servicio ecosistémico de los bofedales	38
Tabla 2 Tipos de satélites	47
Tabla 3 Vías de comunicación y accesibilidad al área en estudio	55
Tabla 4 Lista de imágenes satelitales a trabajar	59
Tabla 5 Rangos a considerar de la valoración del índice de Kappa.....	61
Tabla 6 Atributos e indicadores para medir el estado del ecosistema bofedal.....	64
Tabla 7 Escala de valoración de la condición de agua.....	64
Tabla 8 Escala de valoración de la condición de suelo.....	65
Tabla 9 Escala de valoración de la condición de la biota	66
Tabla 10 Escala de valoración de la condición de suelo.....	67
Tabla 11 Escala y valor relativo para estimar el estado de los ecosistemas de bofedal	68
Tabla 12 Dinámica de cambio de los bofedales altoandinos de la cuenca del río Huenque	80
Tabla 13 Validación de mapas mediante el Índice Kappa	81
Tabla 14 Análisis de consistencia de las variables climáticas de las estaciones meteorológicas más próximas a la zona en estudio (Periodo 1990 al 2023)	83
Tabla 15 Datos de precipitación de la cuenca del río Huenque – periodo 1990 al 2023	86
Tabla 16 Datos de temperatura de la cuenca del río Huenque – periodo 1990 al 2023	89
Tabla 17 Prueba de normalidad - Shapiro Wilks	90
Tabla 18 Prueba ANOVA precipitación vs. Bofedales.....	91



Tabla 19	Prueba ANOVA temperatura vs. Bofedales	91
Tabla 20	Coordenadas y extensión de los bofedales altoandinos de la cuenca del río Huenque	94
Tabla 21	Condición de la biota de los bofedales en estudio	95
Tabla 22	Condición del suelo de los bofedales en estudio.....	97
Tabla 23	Condición de la biota de los bofedales en estudio	98
Tabla 24	Alteración del paisaje de los bofedales en estudio.....	99
Tabla 25	Estado de los bofedales en estudio.....	100



ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1 Bofedal compuesto por “ <i>Distichia muscoides</i> ”	37
Figura 2 Componentes de un sistema de teledetección	46
Figura 3 Ubicación de la zona en estudio.....	54
Figura 4 Descripción del grado de erosión de la superficie evaluada	65
Figura 5 Categorías por presencia de factores a partir de su abundancia e intensidad	67
Figura 6 Infraestructura o alteraciones que condicionan la conectividad hidrológica en el bofedal.....	68
Figura 7 Extensión de los bofedales altoandinos de la cuenca del río Huenque (año 1990)	72
Figura 8 Extensión de los bofedales altoandinos de la cuenca del río Huenque (año 1995)	73
Figura 9 Extensión de los bofedales altoandinos de la cuenca del río Huenque (año 2000)	74
Figura 10 Extensión de los bofedales altoandinos de la cuenca del río Huenque (año 2005)	75
Figura 11 Extensión de los bofedales altoandinos de la cuenca del río Huenque (año 2010)	76
Figura 12 Extensión de los bofedales altoandinos de la cuenca del río Huenque (año 2015)	77
Figura 13 Extensión de los bofedales altoandinos de la cuenca del río Huenque (año 2020)	78



Figura 14	Extensión de los bofedales altoandinos de la cuenca del río Huenque (año 2024)	79
Figura 15	Precipitación en la cuenca del río Huenque (Periodo 1990 al 2005).....	84
Figura 16	Precipitación en la cuenca del río Huenque (Periodo 2010 al 2023).....	85
Figura 17	Datos de precipitación de la cuenca del río Huenque – periodo 1990 al 2023	86
Figura 18	Temperatura en la cuenca del río Huenque (Periodo 1990 al 2005).....	87
Figura 19	Temperatura en la cuenca del río Huenque (Periodo 2010 al 2023).....	88
Figura 20	Datos de precipitación de la cuenca del río Huenque – periodo 1990 al 2023	89
Figura 21	Bofedales altoandinos en estudio de la cuenca del río Huenque	94



ÍNDICE DE ANEXOS

	Pág.
ANEXO 1 Matriz de consistencia	118
ANEXO 2 Índice kappa de los bofedales de la cuenca del río Huenque	120
ANEXO 3 Variables climáticas de la estación Mazocruz.....	124
ANEXO 4 Variables climáticas de la estación Juli	125
ANEXO 5 Variables climáticas de la estación Pampa Umalsu	126
ANEXO 6 Variables climáticas de la estación Ichuña.....	127
ANEXO 7 Variables climáticas de la estación Ilave.....	128
ANEXO 8 Plantilla de cálculo de zanjas de infiltración	129
ANEXO 9 Panel fotográfico	130



ACRÓNIMOS

NASA:	National Aeronautics and Space Administration (Administración Nacional de Aeronáutica y Espacio)
USGS:	United States Geological Survey (Servicio Geológico de Estados Unidos)
LANDSAT:	Land Remotes Sensing Satellite (Satélite de Teledetección Terrestre)
SIG:	Sistema de información geográfica.
UTM:	Universal Transverse Mercator (Sistema de Coordenadas Universal de Mercator).
WGS:	World Geodetic System (Sistema Geodésico Mundial).
NDVI:	Normalized Difference Vegetation Index (Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada)



RESUMEN

Los bofedales de la cuenca del río Huenque están siendo perjudicados por la escasa atención prestada, por el desconocimiento de los planes diseñados para su conservación, y por el cambio climático, provocando sequías extremas y por ende hace que estos ecosistemas se degraden. El objetivo general fue determinar la dinámica de cambio de los bofedales altoandinos empleando imágenes satelitales en la cuenca del río Huenque en el periodo (1990 – 2024), con procedimiento metodológico mediante la descarga de imágenes satelitales Landsat entre los periodos 1990 al 2023, para aplicar índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) y determinar la extensión de los bofedales, luego se determinó la correlación existente entre las variables climáticas (precipitación – temperatura) con su superficie y finalmente determinar el estado de 15 bofedales de la cuenca. Resultando una extensión de los bofedales al año 1990 de 45.49km², al año 1995 fue de 36.86km², al año 2000 fue de 27.56km², al año 2005 fue de 39.81km², al año 2010 presento 32.82km², también al año 2015 fue de 40.93km², al año 2020 fue de 38.16km², y al año 2024 fue de 37.87km², al año 2005 fue de 39.81km², presentando una correlación entre las variables climáticas y la superficie de los bofedales, por presentar un p valor <0.05. Asimismo, la mayor parte de los bofedales en estudio de la cuenca del río Huenque se encuentran en un estado de conservación bueno; y en menor proporción en un estado muy bueno. Concluyendo que los bofedales altoandinos de la cuenca del río Huenque presentan una dinámica de cambio del -0.5224%; todo ello por presentar signos de erosión, ganadería, a la variabilidad climática y a los factores antrópicos.

Palabras clave: Bofedales altoandinos, Imágenes satelitales, Variables climáticas, Dinámica de cambio, Cuenca.



ABSTRACT

The research arose because the wetlands of the Huenque river basin are being damaged by the lack of attention given by the Huenque river basin are being harmed by the scarce attention given to them, the lack of of the plans designed for their conservation; and by the climatic change, which are climate change, which is causing extreme droughts and thus causing these ecosystems to degrade. degradation of these ecosystems; in this context, the general objective is to determine the dynamics of change of the the dynamics of change of the high Andean wetlands using satellite images in the images in the Huenque river basin in the period (1990 - 2024); with a methodological methodological procedure by downloading Landsat satellite images from 1990 to 2023. to apply normalized difference vegetation index (NDVI) and normalized difference vegetation index (NDVI) and determine the extent of the wetlands; in order to then determine the correlation between climatic variables (precipitation-temperature) with their variables (precipitation - temperature) with their surface area and finally determine the the status of 15 wetlands in the basin. Resulting an extension of the wetlands in 1990 of 45.49km²; in 1995 it was 36.86km²; in 2000 it was 27.56km²; in 2005 it was 39.81km²; in 2010 it was 32.82km²; also in 2015 it was 40.93km²; in 2020 it was 38.16km²; and in 2024 it was 37.87km²; in 2005 it was 39.81km². 81km²; presenting a correlation between the climatic variables and the surface of the wetlands; by presenting a p value <0.05; likewise most of the wetlands under study in the Huenque river micro-watershed are in a good state of conservation; and in a lesser proportion in a very good state. In conclusion, the high Andean wetlands of the Huenque river basin show a decrease rate of -0.5224%;

Keywords: High Andean wetlands, satellite images, climatic variables, change dynamics, watershed.



CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

Los humedales altoandinos, también denominados localmente bofedales, son un componente de los ecosistemas altoandinos y están constituidos por cuencas, turba y vegetación perenne muy específica (Javier *et al.*, 2021); son alimentados principalmente por cursos de agua, como arroyos, ríos, lagunas, manantiales y aguas de deshielo (Imbaquingo, 2021); estos ecosistemas se caracterizan por ser extremadamente frágiles debido a la vegetación en forma de almohada y al alto contenido de humedad de los suelos (Wang *et al.*, 2024); producen una variedad de servicios ecosistémicos, incluyendo el secuestro de carbono, la regulación hídrica y el hábitat para una gran diversidad de flora y fauna (Granada & Olave, 2023); es crucial comprender el alcance y el estado de estos ecosistemas debido a los efectos perjudiciales de algunas actividades antropogénicas, como el pastoreo excesivo, la quema de flora nativa y otras actividades (Imbaquingo, 2021) , por ello es de gran importancia conocer su extensión y el estado en el que se encuentra (Jara, 2019).

El 70% de la biodiversidad mundial se encuentra en el Perú, donde los bofedales y bosques constituyen la mayor parte de los ecosistemas (MINAM, 2020); las investigaciones han demostrado que los bofedales son susceptibles a los cambios de temperatura y precipitaciones, ya que estos factores modifican su régimen hídrico (Javier *et al.*, 2021); en este contexto es crucial conocer el tamaño y estado de los bofedales (Poveda *et al.*, 2020); ante ello se han desarrollado instrumentos para evaluar la cubierta vegetal; en este caso, el análisis espectral de la cubierta vegetal sirve de base para una serie de índices que se derivan del contraste entre las bandas del espectro (Chariarse & Chariarse, 2021); y que se denominan índices espectrales de vegetación; estos se calculan



a partir de la combinación matemática de dos o más bandas de una imagen satelital multiespectral y tienden a presentar, de forma más nítida, las características de la vegetación, de igual forma, facilitan su aislamiento de otras cubiertas y la evaluación de su estado; los índices y productos de vegetación que derivan de estas técnicas de percepción remota, han sido una de las formas más efectivas de evaluar los cambios históricos en las propiedades de la cobertura vegetal a gran escala y para estudios de los cambios espacio-temporales de la vegetación (Zhiminaicela *et al.*, 2020).

Por ello es que surge el desarrollo de la presente investigación titulada “Determinación de la dinámica de cambio de los bofedales altoandinos empleando imágenes satelitales en la cuenca del río Huenque en el periodo (1990 – 2024)”.

Del mismo modo, el presente proyecto de investigación se divide en 4 capítulos, que se enumeran:

El capítulo I, introducción, establece el problema de estudio, enunciando del problema, hipótesis, justificación y definiendo los objetivos logrados que contempla el estudio.

El capítulo II, manifiesta argumentos relacionados al tema de estudio, referencias del estudio, bases teóricas y marco legal en los cuales se basó el presente proyecto.

El capítulo III, en donde se contempla la metodología del estudio el cual especifica el tipo y diseño de estudio, técnicas e instrumentos, población y muestra, métodos y procesamiento de información.

El capítulo IV, el cual contempla los resultados logrados, y su discusión respectivamente. Finalmente, las conclusiones con recomendaciones.



1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Hoy en día en el mundo las repercusiones del cambio climático son visibles y evidentes, como la fluctuación del clima provocada por el crecimiento insostenible de las emisiones de gases de efecto invernadero (Buitron, 2020); por ello, en los últimos años se han observado temperaturas más cálidas, cuyas principales consecuencias son sequías, olas de calor, cambios en los patrones de precipitación, derretimiento de glaciares y aumento del nivel del mar, entre otros (NASA, 2022), estos cambios repercuten en los ecosistemas susceptibles a las condiciones climáticas, como los bofedales, de los que ha desaparecido el 35% (Granada & Olave, 2023); así mismo estos ecosistemas controlan y abastecen de agua a las comunidades andinas; también, actúan como sumideros de carbono y ofrecen servicios ecosistémicos a la población; el declive de estos ecosistemas repercute inmediatamente en la disponibilidad de agua, en la biodiversidad, el atractivo visual y el valor inherente de la zona (Imbaquingo, 2021).

Del mismo modo, Perú alberga el 70% de la biodiversidad mundial, siendo los bosques y los bofedales sus tres ecosistemas primarios (Justo, 2023); investigaciones han demostrado que los bofedales son susceptibles a los cambios de temperatura y precipitaciones, ya que estos factores modifican su régimen hídrico (Lacho, 2018); como consecuencia las investigaciones han dado cuenta de la pérdida de superficie de bofedales de 549156 has en el 2012 a 548,174.41 ha (0.42% del territorio) (Toribio, 2023), dado esto, los ecosistemas altoandinos como los bofedales enfrentan dificultades adicionales como resultado de la variabilidad climática. Como ecosistemas delicados, son susceptibles a cambios en el ambiente global que resultan en una pérdida de cobertura, haciendo que la recuperación ecológica sea extremadamente difícil y costosa (Gózar, 2024).



Del mismo modo, se han puesto en marcha políticas con la intención de salvaguardar los ecosistemas, y actualmente se presta especial atención a las cuestiones medioambientales relacionadas con el cambio climático; sin embargo, a pesar de esta notable preocupación, algunos ecosistemas como los bofedales no reciben la suficiente atención (Imbaquingo, 2021).

En la región de Puno en particular los bofedales de la cuenca del río Huenque; particularmente la población se beneficia de estos ecosistemas de dos maneras: en primer lugar, controlan y abastecen de agua a las comunidades andinas; en segundo lugar, actúan como sumideros de carbono, sin embargo, el ecosistema está siendo perjudicado por la escasa atención prestada, por el desconocimiento de los planes diseñados para conservar los bofedales; y por el cambio climático; que están provocando sequías extremas y por ende hace que estos ecosistemas se degraden; ahondando este hecho, Gutierrez (2018), afirma que la degradación de estos ecosistemas repercute inmediatamente en la disponibilidad de agua, lo que a su vez repercute en el crecimiento de la ganadería y la agricultura, además, la pérdida de bofedales conlleva la pérdida de biodiversidad, de la capacidad de la zona para atrapar dióxido de carbono, de su belleza visual y de su valor inherente.

Ante ello viendo la necesidad del cuidado de este ecosistema, y buscando la manera de establecer la extensión de los bofedales presentes en la región en estudio en el periodo de 1990 al 2024, con el fin de ser la base fundamental para establecer estrategias de conservación de dichos ecosistemas como es el caso de la forestación con especies nativas y la implementación de zanjales de infiltración; se plantea las siguientes interrogantes:



1.1.1. Problema general

¿Cuál es la dinámica de cambio de los bofedales altoandinos empleando imágenes satelitales en la cuenca del río Huenque en el periodo (1990 – 2024)?

1.1.2. Problemas específicos

- ¿Cuánto es la extensión de los bofedales altoandinos empleando imágenes satelitales en la cuenca del río Huenque, analizando su variabilidad estacional y anual en el periodo (1990 – 2024)?
- ¿Existe correlación entre las variables climáticas y el cambio de la superficie de los bofedales, para comprender mejor los factores ambientales que afectan la dinámica en la cuenca del río Huenque en el periodo (1990 – 2024)?
- ¿Cuál es el estado de los bofedales altoandinos para proponer estrategias de conservación de bofedales altoandinos que contribuyan a su preservación y la sostenibilidad en la cuenca del río Huenque?

1.2. HIPÓTESIS

1.2.1. Hipótesis general

Existe un cambio significativo de la dinámica de los bofedales altoandinos empleando imágenes satelitales en la cuenca del río Huenque en el periodo (1990 – 2024).



1.2.2. Hipótesis específicas

- La extensión de los bofedales altoandinos empleando imágenes satelitales en la cuenca del río Huenque es variada de manera estacional y anual en el periodo (1990 – 2024)
- Las variables climáticas se correlacionan con el cambio de la superficie de los bofedales; permitiendo comprender mejor los factores ambientales que afectan la dinámica en la cuenca del río Huenque en el periodo (1990 – 2024).
- Los bofedales altoandinos presentan un estado regular, por lo cual se propondrá estrategias de conservación de bofedales altoandinos que contribuyan a su preservación y la sostenibilidad en la cuenca del río Huenque.

1.3. JUSTIFICACIÓN

Dado que la actividad humana es la principal causa del calentamiento global, las tendencias actuales del cambio climático han reavivado el interés por proteger los recursos hídricos. Por ejemplo, los ecosistemas de montaña, que incluyen bofedales, están en peligro por el cambio climático debido al retroceso de los glaciares, la reducción de la disponibilidad de agua dulce y la subida del nivel del mar (Imbaquingo, 2021).

Así mismo en la cuenca del río Huenque, existen comunidades rurales; que aprovechan los recursos de la zona; dicho de otro modo, sus principales ingresos son la agricultura y ganadería, que requieren enormes extensiones de tierra con suelo fértil y agua dulce; en consecuencia, en el afán de generar mayores beneficios monetarios, es frecuente la sobreexplotación de los suelos y la ampliación del área agrícola, lo que altera el uso de la tierra y pone en peligro el equilibrio ecológico de los bofedales y provoca una



disminución de la retención de agua, la reducción de los caudales hidrológicos y la erosión del suelo.

Por ello, el proyecto de investigación utilizará herramientas digitales proporcionadas por los satélites Landsat 4, 5 y 7 en órbita; estas herramientas nos permitirán examinar la dinámica de cambio de los bofedales de la zona de estudio a lo largo del tiempo y crear una base espacial que permita la identificación adecuada de los bofedales y el establecimiento de medidas de gestión que apoyen a la toma de acciones sobre la preservación de este ecosistema; así mismo es importante también, porque los bofedales son cruciales para la ganadería de alta montaña y la regulación de la oferta hídrica disponible en las cuencas, es así que el presente estudio servirá con el fin de establecer estrategias de gestión sobre este entorno, salvaguardando su preservación dado que son ecosistemas que dependen del agua y el mantenimiento de los servicios que suministra.

En el aspecto social, la importancia de estos ecosistemas, ayudan a la población campesina local y constituyen una fuente vital de alimento para especies de camélidos sudamericanos como llamas y alpacas, que son las especies más importantes de la región. Estos ecosistemas son importantes porque mantienen una vegetación durante todo el año; por ello es necesario evidenciar la dinámica de cambio; y con ello las autoridades tomen las respectivas acciones para salvaguardar dichos ecosistemas.

En el aspecto económico, se basa en los múltiples beneficios que estos ecosistemas proporcionan, tanto directa como indirectamente, a las economías de la zona; la valoración y conservación adecuada de los bofedales puede generar retornos económicos significativos a través de servicios ecosistémicos, protección de recursos hídricos, turismo, y mitigación de desastres, entre otros.



En el aspecto ambiental, se fundamenta en la importancia crucial de estos ecosistemas para la salud del planeta y la biodiversidad; los bofedales desempeñan un papel vital en la regulación hídrica, el almacenamiento de carbono, la preservación de la biodiversidad, y la resiliencia frente al cambio climático; su protección y manejo adecuado de estos humedales es esencial para mantener los equilibrios ecológicos y garantizar la sostenibilidad ambiental a largo plazo.

1.4. OBJETIVOS

1.4.1. Objetivo general

Determinar la dinámica de cambio de los bofedales altoandinos empleando imágenes satelitales en la cuenca del río Huenque en el periodo (1990 – 2024).

1.4.2. Objetivos específicos

- Determinar la extensión de los bofedales altoandinos empleando imágenes satelitales en la cuenca del río Huenque, analizando su variabilidad estacional y anual en el periodo (1990 – 2024)
- Analizar la correlación entre las variables climáticas y el cambio de la superficie de los bofedales, para comprender mejor los factores ambientales que afectan la dinámica en la cuenca del río Huenque en el periodo (1990 – 2024).
- Analizar y evaluar el estado de los bofedales altoandinos para proponer estrategias de conservación de bofedales altoandinos que contribuyan a su preservación y la sostenibilidad en la cuenca del río Huenque



CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

2.1.1. Internacionales

Wang *et al.* (2024), desarrollaron la investigación con el objetivo de **determinar el cambio interanual de los bofedales en las principales provincias de China de 1985 a 2022**; En este estudio, utilizando 137.779 imágenes Landsat disponibles en la plataforma Google Earth Engine, desarrollamos un enfoque novedoso (MWC-CCDC) que integra la composición histórica de humedad máxima (MWC) y la detección y clasificación de cambios continuos (CCDC), y generamos los primeros 30 datos anuales. Mapas de bofedales con resolución de 10m para provincias importantes con poblaciones de más de 0,5 millones en China desde 1985 hasta 2022. El conjunto de datos anual resultante sobre la distribución de bofedales en China, denominado China_Urban_Wetland (CUW), logró una precisión de clasificación general de más del 82,81 %. Según CUW, las provincias de la cuenca del río Yangtze, el delta del río Perla y la bahía de Hangzhou cubren la mayor parte del área de bofedales en las principales provincias de China. Wuhan tenía la mayor zona de bofedales (168,00 km²), seguida de Nanjing (103,19 km²). Jiujiang tiene la tasa de cobertura de bofedales más alta con un 27,23 %, seguida de Wuhan (20,68 %) y Xiangyang (18,89 %). Entre 1985 y 2022, 52 de 71 ciudades perdieron zonas de bofedales, siendo Tianjin la que tuvo el mayor porcentaje de pérdida (79,40 %), seguida de Urumqi (74,86 %) y Guiyang (67,55 %). Por el contrario, Hohhot



experimentó el mayor aumento (90,63 %), seguida de Beihai (89,21 %) y Xi'an (71,34 %). En aproximadamente un tercio de las ciudades, los patrones del paisaje de los bofedales se están volviendo más fragmentados y menos conectados. Se espera que estas evaluaciones anuales consistentes de los bofedales beneficien la implementación y evaluación de las metas relacionadas con las zonas urbanas en los ODS.

Rana *et al.* (2024), realizaron la investigación con el objetivo de **monitorear el cambio de uso de la tierra en en los humedales Uchhali y Khabeki, Pakistán, utilizando datos de teledetección; Mediante clasificación e interpretación supervisadas, extraemos categorías de uso de la tierra a partir de imágenes de teledetección Landsat adquiridas entre 1990 y 2020.** Utilizando Google Earth Engine con algoritmos de aprendizaje automático (por ejemplo, Smile CART Classifier), generamos cuatro mapas que representan diferentes tipos de uso de la tierra con un Horizonte temporal de 10 años. En las estadísticas, la superficie construida aumentó un 18 % entre 1990 y 2020, mientras que las tierras baldías disminuyeron un 31 %. La extensión de los humedales y las marismas exhibió fluctuaciones, pero demostró una reducción general del 21 % desde 1990. Adoptando una matriz de transferencia de uso de la tierra y una postura dinámica hacia el uso de la tierra, este artículo examina los factores que llevaron al cambio en el uso de la tierra de los humedales en el Valle de Soon (Uchhali y Khabeki). lagos de humedales, Pakistán). Los resultados muestran que entre 1990 y 2020, habrá un cambio significativo en los tipos de uso de la tierra de los humedales en el valle de Soon, con un rango de cambio relativamente amplio para las tierras urbanizadas, las marismas y las tierras áridas, y una tendencia ascendente. En general, vimos una reducción en las áreas de humedales



y pastizales, y una cantidad considerable de tierra fue desviada de otros usos. Esta tierra se utilizó principalmente para obras de construcción, arrozales y otros fines secos. Desde un punto de vista dinámico, el rango de cambio fue relativamente pequeño en comparación con la expansión del área boscosa. En general, los resultados indican una transición suave de un tipo de uso de la tierra a otro, donde el área de humedales de marismas disminuye primero y luego aumenta. Aunque la población no era mucho mayor, jugó un papel importante con las precipitaciones, que pueden ser otro factor del cambio en el uso de la tierra y la cobertura del suelo (LULC) en los lagos de humedales Uchhali-Khabeki, como lo implica el análisis de correlación. El estudio anterior de teledetección LULC es valioso para la preservación de los humedales de los lagos Uchhali y Khabeki y la administración de los recursos terrestres del lago.

Velásquez & Pérez (2022), efectuaron la investigación con el objetivo de **análisis de la dinámica espaciotemporal de humedales tropicales mediante imágenes SAR Sentinel-1: - Colombia;** La dispersión multitemporal de la retrodispersión SAR se analizó mediante diagramas de caja y bigotes después de procesar los datos en Google Earth Engine (GEE). Se calculó la lámina de agua superficial del sistema de humedales utilizando los métodos de los umbrales y del modelo de extracción del índice de agua superficial (SWIM), y se investigó su posible relación con El Niño/Oscilación Austral (ENOS) y las precipitaciones medias anuales. Los resultados muestran que el tamaño medio de la lámina de agua superficial fue de 334,79 hectáreas en 2017 en comparación con 109,96 ha en 2015. A pesar de la falta de datos SAR durante ese período de tiempo, los valores para la retrodispersión mínima en 2017 que se determinaron utilizando el enfoque de umbral y SWIM son casi el doble de diferentes (384 ha y 657 ha,



respectivamente). Los valores del Índice de Agua de Diferencia Normalizada (NDWI) de las imágenes Sentinel 2-1C se utilizaron para confirmar la coherencia de las conclusiones adquiridas a partir de los datos SAR, y los resultados demuestran la coherencia en los cálculos. En conclusión, este estudio reconoce la necesidad de seguir explorando diversos estudios para precisar las modificaciones del sistema de humedales provocadas por intervenciones directas en la red de drenaje en la que se encuentra.

Flores (2017), realizó el trabajo de investigación con el objetivo de **efectuar la predicción de bofedales en la Reserva de Producción de Fauna Chimborazo, mediante el empleo de imágenes satelitales Landsat**; para los que se crearon 3 entrenamientos del algoritmo Random Forest. Como parte de este procedimiento se creó un modelo de clasificación predictiva basado en árboles de decisión y se calcularon índices espectrales que incluían las características abióticas de la región. Para producir variables en cada nivel del árbol, el algoritmo eligió la clase o cobertura que produjo el valor más alto. Las siguientes variables fueron significativas en la clasificación para cada entrenamiento, según los resultados: En el entrenamiento 2, el índice de vegetación se corrigió utilizando el factor de luminosidad del suelo; en el entrenamiento 1, el índice diferencial de agua normalizado (NDWI) tuvo un porcentaje de clasificación del 97,78%, siendo el 99,44% distinto de bofedal y el 97,44% bofedal. 15 SAVI en el tercer entrenamiento, se utilizó el factor de luminosidad del suelo para modificar el índice diferencial normalizado de vegetación (NDVI) como 93,72% bofedal y 99,31% distinto de bofedal, con un porcentaje de 95,85%; como 85,33% bofedal y 90,14% distinto de bofedal, con un porcentaje de 89,35%. La región de investigación fue sometida a un análisis multitemporal utilizando fotos satelitales



Landsat 8 OLI, 7 ETM y 5 TM de los años 1991, 2001, 2010 y 2016 para evaluar los porcentajes y comportamientos de los bofedales utilizando la misma técnica del algoritmo Random Forest. Utilizando datos de 1991 a 2016, el algoritmo de reducción de áreas de la UICN fue capaz de pronosticar la tasa de pérdida absoluta del medio ambiente en los 16 años siguientes, clasificando el ecosistema como crítico.

2.1.2. Nacionales

Gózar (2024), efectuó la investigación con el objetivo de **determinar la variabilidad espacio-temporal (2002-2023) de bofedales alto andinos mediante del mapeo digital con imágenes satelitales Landsat en la cuenca Cochas - Pachacayo de la Reserva Paisajística Nor Yauyos Cochas**. La cuenca Cochas - Pachacayo de la Reserva Paisajística Nor Yauyos Cochas sirvió de base para la técnica, que consistió en analizar imágenes satelitales tomadas entre 2002 y 2023. En consecuencia, la superficie total del humedal disminuyó, pasando de 14.2086 hectáreas en la estación seca de 2002 a 12.2108 hectáreas en la estación seca de 2023. Sin embargo, mediante el análisis de los índices de vegetación y las firmas espectrales, el enfoque aplicado fue capaz de identificar el estado actual de la vegetación y señalar la ubicación de la zona de cambio de cobertura. En cuanto a la validación sobre el terreno mediante levantamientos fotogramétricos con drones, resultó ser un método increíblemente eficaz para confirmar sobre el terreno los hallazgos de gabinete. En resumen, la zona de bofedal disminuyó en 2 hectáreas entre 2002 y 2023; en cuanto a la «calidad de la vegetación», pasó de una vegetación espesa y robusta en 2002 a zonas de pastizales con vegetación marchita en 2023. Por el contrario, la zona de cambio de cobertura ascendió a 1,9754 hectáreas, y quedó claro que se está produciendo un cambio de cobertura



de bofedales a morrenas con manchas de pastizales. Por último, es importante destacar cómo los «mapas parlantes» de las comunidades campesinas proporcionaron una ayuda crucial a lo largo del proceso de validación sobre el terreno, demostrando la interdependencia de los elementos espaciales y humanos.

Justo (2023), efectuó la investigación con el objetivo de **determinar la influencia de la precipitación y la temperatura sobre las superficies de los bofedales de Huanza**. La superficie de los bofedales se determinó utilizando imágenes de satélite, el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) y una categorización supervisada. Asimismo, se utilizaron los datos de temperatura y precipitación de la plataforma PISCOSENAMHI. En consecuencia, los bofedales de Huanza tuvieron una reducción de tamaño del 64%, pasando de 5,6 km² a 2 km², con una tasa de cambio anual de 0,067 km²/año. Dado que las unidades vegetativas que componen los bofedales son susceptibles a las fluctuaciones de temperatura y precipitación, estos cambios son causados por estos cambios. La temperatura media ascendió a 0,053 °C/año, pero las precipitaciones bajaron a 0,056 mm/año, como muestra la variabilidad climática. Sin embargo, como demostró el ANOVA con un valor p inferior a 0,05, las precipitaciones y la temperatura máxima tuvieron un impacto significativo en la superficie de los bofedales. Parece que hay menos agua disponible como resultado del incremento de las temperaturas en Huanza y la reducción de las precipitaciones. Por lo tanto, se puede afirmar que los bofedales altoandinos de Huanza se ven afectados por la fluctuación del clima.

Castro (2021), realizó el trabajo de investigación con el objetivo de **determinar la variación de cobertura vegetal de los bofedales en función del área de los centros poblados de Tinyaclla y Pueblo Libre en los años 2016-**



2018 Huancavelica. El método científico tuvo un diseño no experimental y fue de naturaleza inductiva y deductiva. Treinta y un bofedales de las comunidades de Tinyaccla (16) y Pueblo Libre (15) conformaron la muestra. Se utilizaron imágenes de satélite centinela de ArcGis, Geomatic, Qgis y Erdas para determinar la superficie de los bofedales. Los hallazgos mostraron que los 16 bofedales de la comunidad de Tinyaccla tenían una expansión de cobertura vegetal de 701,309,144 m² en 2016 y una extensión total de 574,590,305 m² en 2018; la comunidad de Pueblo Libre también contaba con 15 bofedales, situado entre 4,315 y 4,862 msnm, con una extensión de 1'024,421.99 m² en 2016 y una extensión total de 901,653.70 m² en 2018. Los puntos más altos son el punto 12 del centro de población Tinyaccla, con 4,162 msnm, y el punto 9 de Pueblo Libre, con 4,762 msnm. Concluyendo que, para los años 2016-2018, a un nivel de confianza de 0.99%, existe una fluctuación porcentual significativa mayor al 10% de la cobertura vegetal de bofedales en función del área en las localidades de Tinyaccla y Pueblo Libre. Esto se tradujo en la pérdida de 18,7% y 11,98% de bofedales, respectivamente.

Buitron (2020), desarrolló la investigación con el objetivo de **estimar la influencia de la variabilidad climática en la dinámica de los bofedales en la microcuenca Chicllarazo**. Para ello se recopilaron datos meteorológicos sobre temperatura y precipitaciones, así como fotografías de satélite (Landsat 5TM, Landsat 8OLI y Sentinel 2). Además, se llevó a cabo la categorización espectral y la corrección digital de las imágenes de satélite mediante el índice NDVI, que osciló entre 0,436 y 1. Con el uso de la prueba estadística ANOVA, se demostró que la precipitación acumulada tiene un impacto sustancial en la dinámica espaciotemporal de los bofedales ($p < 0,05$; $f^2 = 0,44$; $R^2 = 0,4739$). Y es que el



desarrollo de este tipo de ecosistemas hidromórficos depende de la disponibilidad de grandes cantidades de agua. Por lo tanto, la baja precipitación en 2022 fue una de las principales causas que contribuyeron a la pérdida de 2656,28 ha. En resumen, las variaciones en la cobertura de los bofedales de la microcuenca Chichllarazo están influenciadas principalmente por la precipitación acumulada.

Javier *et al.* (2021), realizaron el trabajo de investigación con el objetivo de **determinar la relación entre la precipitación, el monitoreo de la napa freática, y la identificación de la variación de la cobertura vegetal, mediante el NDVI (índice de vegetación normalizada), con el uso de sensores remotos como satélites, que facilitan la recolección de información en un periodo de tiempo.** Los datos de precipitación fueron suministrados por la estación meteorológica Apacheta, ubicada a 4.150 msnm en el distrito de Paras de la provincia de Cangallo, en la región Ayacucho. Los datos fueron confirmados mensualmente. Para recopilar información sobre el nivel freático, se tomaron treinta y una muestras aleatorias en los sitios de observación (piezómetros). Se utilizaron las imágenes del satélite Landsat 8 para visualizar la variación mensual de la cobertura vegetal. Las variables (cobertura vegetal y nivel freático) muestran una conexión negativa significativa del 97%, mientras que las variables (cobertura vegetal y precipitaciones) muestran una relación directa del 49%. Los resultados de la prueba de independencia entre variables corroboran nuestra hipótesis. Las correlaciones mensuales entre precipitaciones, nivel freático y NDVI se desarrollaron mediante un análisis geográfico de la interacción entre los parámetros dados. La relación entre las variables (nivel freático y precipitaciones) determina la cantidad y el tipo de desarrollo de las plantas, cuya composición varía en función de las estaciones.



Chanta (2019), efectuó la investigación con el objetivo de **determinar los posibles escenarios climáticos y su influencia en la extensión del bofedal Escotacay al 2030**, El pueblo de Cullhuay, en la zona de Huaros de la provincia de Canta, alberga este ecosistema altoandino. Los escenarios climáticos son proyecciones del clima local para el futuro que se derivan de los registros de temperatura y precipitación del pasado. La investigación es aplicada, longitudinal y utiliza una técnica cuantitativa no experimental porque se evaluaron datos históricos y no se modificaron las variables. En el transcurso del estudio se recopiló datos de temperatura de la estación meteorológica del (SENAMHI), así como promedios históricos de precipitación de estaciones Canta y Pariacancha Huaros. Los datos abarcaron los años 1980-2018. Además, utilizamos imágenes satelitales Landsat de 1980, 1990, 2000, 2010 y 2018 para calcular la superficie del bofedal de Escotacay. Pudimos comprobar que las estaciones de Pariacancha, Huaros y Canta presentan una línea de tendencia ascendente en las cantidades de agua aportadas a la cuenca del río Chillón entre 1980 y 2018, analizando los datos históricos de precipitación media anual. Durante este lapso de tiempo, tanto los patrones de temperatura como el crecimiento del bofedal de Escotacay mostraron una tendencia a la baja en los datos examinados. Esto condujo a la extracción de escenarios climáticos para la precipitación neta en la zona de Huaros entre 2019 y 2030, junto con sus fluctuaciones porcentuales basadas en la línea de tendencia, que afectan directamente a la expansión del bofedal de Escotacay. Se deduce que la cantidad de agua dada por la precipitación neta aumentará en los próximos años, lo que impactará positivamente en la expansión del bofedal de Escotacay.



2.1.3. Regionales

Gutiérrez (2018), realizó el trabajo de investigación con el objetivo de **estimar el grado de asociación entre la dinámica espaciotemporal de los bofedales entre los periodos de 1984 a 2016 en la cuenca del río Coata**; se empleó el alcance de la relación entre las variables meteorológicas, como la precipitación total y la temperatura máxima, y la cobertura espacial de los bofedales entre 1984 y 2016. La metodología consistió en recopilar datos pluviométricos y temperatura máxima anual, así como analizar la tendencia de estos factores climáticos en los años especificados, lo que condujo a una tendencia muy significativa de la temperatura máxima anual. La cobertura superficial de estos bofedales se determinó mediante algoritmos del (NDVI), utilizando imágenes de satélite Landsat 5 y 8. Por último, se efectuó un análisis de regresión lineal múltiple, indicando que la temperatura máxima es el componente climático que más afecta al comportamiento de los bofedales. Así lo indica la correlación, que es ($R^2 = 0,47$), lo que indica una asociación sustancial. Se encuentra que el área superficial de los bofedales se reduce o desaparece cuando aumenta la temperatura máxima anual, lo que sugiere que el cambio climático es sin duda las variables que inciden en la dinámica de los bofedales.



2.2. MARCO TEÓRICO

2.2.1. Bofedales altoandinos

El término «ocko», que en quechua significa «humedal», hace referencia a los bofedales altoandinos, también conocidos como turberas u oconales. Estos bofedales se caracterizan por un suelo orgánico y una vegetación herbácea hidrófila, en particular especies de *Distichia muscoides*, que proporcionan a los bofedales su verdor durante todo el año. Estos ecosistemas, compuestos por agua, turba (suelo orgánico), plantas y fauna, crecen en regiones planas o de pendiente suave entre los 3200 y 5000 msnm. que ofrecen servicios ecosistémicos que incluyen proveer, regular, sostener y culturales (MINAM, 2019).

Asimismo, Aquino *et al.*, (2018), definen las turberas como bofedales permanentes o transitorios, naturales o artificiales, que surgen en regiones donde el nivel freático se encuentra en la superficie del suelo o cerca de ella, o cuando la tierra se inunda hasta un nivel poco profundo.

La «sobresaturación hídrica» es el rasgo definitorio de esta zona (Chávez, 2015). Este hábitat ofrece unas circunstancias de crecimiento excepcionales para la vegetación adaptada (turba), en particular para la que crece en suelos saturados, a las elevadas altitudes de las montañas. Cabe destacar la sorprendente cantidad de plantas endémicas presentes en este hábitat (Dangles et al, 2014). Según Maldonado (2014), los bofedales están íntimamente asociados a manantiales, fuentes de agua, arroyos, lagunas y precipitaciones.

Figura 1

Bofedal compuesto por “Distichia muscoides”



Nota. Obtenido de (MINAM, 2019)

2.2.2. Fuentes de provisión de agua hacia los bofedales

La disponibilidad de agua de alguna fuente es esencial para la estabilidad de la cubierta de los bofedales. Por ello, Cervantes *et al.* (2021), afirman que estos ecosistemas obtienen recursos hídricos a través de las precipitaciones, los ríos, los lagos, el deshielo y las aguas subterráneas, especialmente durante la estación lluviosa. Debido a que estos ecosistemas retienen mucha agua durante la temporada de lluvias para liberarla durante la seca, también ayudan a regular el flujo de agua. Esto se debe a su terreno llano, que permite que el agua se retenga y se filtre en el suelo debido a la escorrentía mínima. En este sentido, se cree que los bofedales funcionan mejor regulando el agua y asegurando que habrá agua disponible para el resto del año.

2.2.3. Servicios ecosistémicos de los bofedales

Según el MINAM (2022), son los beneficios económicos, sociales y medioambientales que una sociedad obtiene directa o indirectamente cuando los ecosistemas funcionan de forma óptima. Se clasifican según la labor que desempeñan y pueden ser de aprovisionamiento, de regulación, de apoyo y culturales (Toribio, 2023).

Tabla 1

Servicio ecosistémico de los bofedales

Servicios	Tipología Servicio Ecosistémico
Forraje para el Ganado	Provisión
Turba	
Plantas medicinales	
Agua	
Almacén de carbono	Regulación
Protección de procesos de erosión de la turba y el suelo	
Purificación del agua	
Almacén de agua	
Regulación hídrica	
Regulación del clima local	
Regulación climática global	
Refugio de fauna y de biodiversidad	Soporte
Formación de turba	
Mantenimiento de ciclo de nutrientes	Cultura
Tener belleza escénica y paisajista	
Ser áreas de recreación y turismo	

Nota. Obtenido de (MINAM, 2019)

Según el MINAM (2019), una compilación los servicios que los bofedales proveen, son los siguientes:



a) Servicios de provisión:

- **Forraje para el ganado:** La alpaca come los bofedales de forma natural, pero como hay ovejas, caballos y vacas cerca, estos animales utilizan otras partes de los bofedales para su sustento.
- **Turba:** Como abono para los viveros de todo el país y como medio para lograr la autosuficiencia en lugares donde la población local carece de acceso a otras fuentes de abastecimiento.
- **Plantas medicinales:** Es posible detectar especies que se desarrollan bien en ambientes húmedos y que se utilizan en terapias naturales.
- **Agua:** Se trata de uno de los recursos más valorados y a la vez menos estudiados de las zonas bajas de la cuenca.

b) Servicios de regulación:

- **Almacenamiento de carbono:** La fijación y el almacenamiento de carbono dependen de la turba, o suelo orgánico, presente en los bofedales
- **Protección de procesos de erosión del suelo y la turba:** El agua es el principal coeficiente de erosión. Mantener una cantidad saludable de cubierta vegetal puede ayudar a reducir la velocidad del agua a su paso por el humedal al crear fricción.
- **Purificación hídrica:** Se ha demostrado que los bofedales reducen la proporción de metales, mejorando así la calidad del agua.
- **Almacenamiento hídrico:** Además de actuar como aglutinante, la turba ralentiza el flujo de agua a través de las turberas al aumentar su capacidad interna para almacenar agua.



- **Regulación del agua:** Como la turba funciona como una esponja, el agua no se libera durante toda la estación seca, sino durante los periodos de lluvias.
- **Regulaciones climáticas locales:** Tiene que ver con la cantidad de agua que se mantiene en un humedal y su alta temperatura como compuesto químico. Esto permite mantener un equilibrio entre las temperaturas severas en zonas con mucha agua o alrededor de lagunas
- **Regulaciones climáticas globales:** Existe un equilibrio en el ecosistema entre el carbono que las plantas fijan como turba a través de la fotosíntesis y el carbono que se libera como metano, que desconocemos. Es bien sabido que la descomposición de los bofedales libera carbono encerrado en la turba, lo que se suma a la cantidad ya existente de gases de efecto invernadero y acelera el cambio climático.

c) **Servicios de soporte:**

- **Refugio de la vida silvestre y la biodiversidad:** Los bofedales de los Andes pueden sustentar una gran variedad de especies vegetales y animales en un entorno que les permite adaptarse
- **Formación de turba:** Este es el principal procedimiento de mantenimiento de los bofedales, y se completa a lo largo de todo el hidroperiodo
- **Mantenimiento del ciclo de nutrientes:** El ciclo primario en este procedimiento de mantenimiento es el carbono.

d) Servicios culturales: Mientras los bofedales se encuentren en condiciones suficientes e idóneas, serán valorados por su belleza visual, por ser un destino para el ocio y el turismo.

2.2.4. Indicadores de la variabilidad climática

La causa principal del efecto invernadero es el aumento significativo de gases de efecto invernadero como el CO₂ resultante de las emisiones de la actividad humana (NASA, 2022). Como consecuencia, está cambiando las temperaturas locales y regionales y los patrones de precipitación, lo que repercute en los ecosistemas. En consecuencia, la precipitación y la temperatura se consideran marcadores de la variabilidad climática. El Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) afirmó en su sexto informe, publicado en febrero de 2022, que la temperatura global actual para el año 2022 ha aumentado hasta 1,09 °C desde 1850 y que se prevé un aumento de la temperatura a corto plazo hasta 1,5 °C. Como consecuencia, habrá sequías más prolongadas en algunas regiones y aumentos en la cantidad y frecuencia de las precipitaciones en otras (IPCC, 2022).

2.2.4.1. Efectos de la variabilidad climática

Según el sexto informe del IPCC sobre el cambio climático, las consecuencias de la variabilidad climática están relacionadas con fenómenos meteorológicos extremos como olas de calor, sequías, inundaciones costeras e incendios forestales. Estos fenómenos también provocan la degradación global de los ecosistemas, la extinción de especies, la ruptura de capas de hielo y amenazas para la salud humana.



Con frecuencia causan importantes pérdidas económicas y son bastante grandes e irreversibles (IPCC, 2022).

2.2.4.2. Vulnerabilidad de los bofedales a la variabilidad climática

Los bofedales se consideran ecosistemas delicados debido a su gran dependencia del suministro de agua y a los peligros que plantea el cambio climático. Sufren el impacto de las consecuencias del cambio climático, aunque cumplan su función de almacenamiento de CO₂ atmosférico (MINAM, 2019). Según autores como Gutierrez (2018), la disminución de las precipitaciones y el aumento de la temperatura han modificado el ritmo de pérdida de la cobertura de bofedales. Valeria (2017), sostiene, sin embargo, que debido al aumento del suministro de agua provocado por la ruptura de las capas de hielo como consecuencia del calentamiento de la temperatura, los bofedales cercanos a los nevados han ampliado su superficie.

2.2.5. Fuentes de adquisición de datos climáticos

- **SENAMHI:** El Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología de Perú se encarga de producir y difundir datos y conocimientos sobre climatología, hidrología y meteorología. Para ello, registra los parámetros meteorológicos en todas las estaciones meteorológicas ubicadas en el país y ofrece a la sociedad información rápida y accesible. En la página web del SENAMHI (<https://www.senamhi.gob.pe/?&p=estaciones>), está disponible de forma gratuita.



- **Datos PISCO** (Datos climatológicos e hidrológicos interpolados del SENAMHI para Perú): Desde el año 2013, la Dirección de Hidrología (DHI) del SENAMHI ha realizado estudios para verificar la información recopilada de las estaciones meteorológicas con el fin de evaluar la calidad de los diferentes productos satelitales a nivel mundial. Como resultado, actualmente el Perú posee datos de precipitación, temperaturas máximas y mínimas, y evapotranspiración potencial a nivel nacional en versión diaria y mensual, con una resolución espacial de grilla de 5 km x 5 km, cubriendo los años 1981 al 2016 (Aybar *et al.*, 2017). Cuando se trata de lugares sin estaciones meteorológicas, esta información es crucial.
- **Mediante interpolación de datos – metodología Kriging:** Se han utilizado técnicas de interpolación de datos como Kriging, una herramienta avanzada de interpolación geoestadística que combina la autocorrelación, el análisis estadístico exploratorio y el modelo de variograma, debido a que las estaciones meteorológicas no están cubiertas en algunas zonas geográficas (Funes & Laura, 2017):

2.2.6. Sistemas de información geográfica y teledetección

Aunque la teledetección y los sistemas de información geográfica (SIG) son tecnologías distintas, el SIG canadiense inicial de Roger Tomlinson tenía como objetivo procesar y almacenar fotografías aéreas (Díaz, 2015).

2.2.6.1. Sistemas de información geográfica

El término «Sistema de Información Geográfica» (SIG) hace referencia a una representación virtual del mundo físico. Se basa en un



conjunto de herramientas de información apoyadas en un sistema cartográfico de referencia. Debido a su naturaleza dinámica, estas herramientas pueden ofrecer información digital sobre una superficie terrestre en función de las necesidades del usuario (Díaz, 2015).

a) Componentes de un SIG- Gutierres (2018), identifica cinco (5) componentes en el estudio del SIG, cada uno de los cuales sirve como eje conceptual. Estos componentes son los siguientes:

- Información.
- Procedimientos (técnicas centradas en la exploración de datos).
- Visualización (fundamentos de la representación de datos).
- Tecnología, incluyendo hardware y software SIG.
- Aspecto organizativo (se refiere a los componentes centrados en la coordinación de la tecnología, los datos y las personas, entre otras cosas).

b) Modelos de representación- Los modelos geográficos, también conocidos como modelos de datos, ofrecen un punto de vista distinto sobre el lugar físico y sus características. Los modelos de datos se utilizan para condensar los atributos de estos modelos en una colección interminable de componentes que son útiles para representar la realidad que representan los modelos geográficos (Olaya, 2012).

- **Modelo ráster:** La región de la investigación se divide en una serie de unidades mínimas conocidas como celdas en un modelo raster, y se recopilan datos descriptivos para cada una



de ellas. Las altitudes se representan en una sección de la malla ráster en la imagen adjunta, donde los límites de las unidades mínimas son claramente visibles y significan un valor relacionado con las elevaciones.

- **Modelo vectorial:** Este paradigma enfatiza la naturaleza continua de sus propiedades captando la variabilidad a través de elementos geométricos. Como resultado, el modelo vectorial divide el espacio geográfico en tres (3) categorías de entidades geométricas fundamentales: puntos, líneas y polígonos. Estas entidades incluyen los aspectos más destacados del área dada.

2.2.6.2. Teledetección

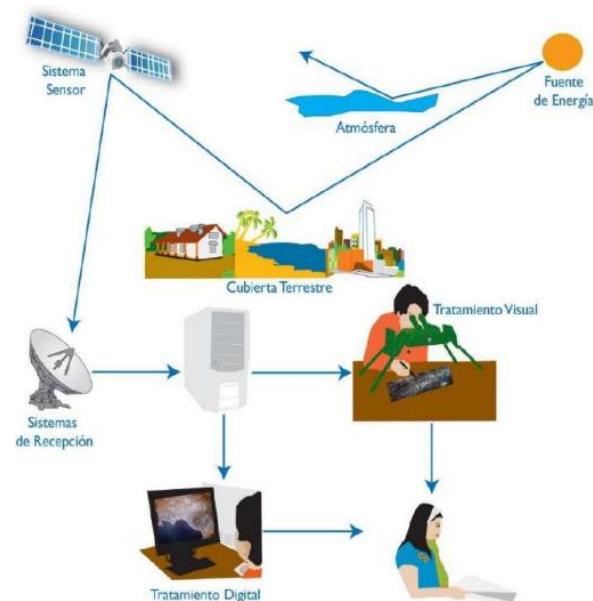
Flores (2017), define la teledetección como el método o proceso de recopilación de datos sin entrar en contacto directo con ellos. Por otra parte, en un sentido más estricto, y dentro del ámbito de las ciencias de la Tierra, la teledetección se define como un enfoque que trata de adquirir, manejar y evaluar fotografías digitales obtenidas desde satélites artificiales.

Estudio de la erosión superficial, caracterización medioambiental regional para conocer los impactos medioambientales, cartografía geológica para la prospección petrolífera, cartografía de nuevos yacimientos volcánicos, seguimiento del movimiento de icebergs en regiones polares, estimación de modelos de escorrentía y erosión, seguimiento del contenido de salinidad en arroyos, cartografía térmica de la superficie marina, caracterización de la cubierta vegetal del suelo, la

evaluación rápida de las condiciones de estrés en la vegetación debido a los efectos de la erosión o la sequía, la cartografía de las zonas quemadas y el seguimiento de la regeneración natural, la contribución cartográfica y el inventario de la cubierta terrestre y el uso de la tierra, el seguimiento de los pastizales, la cartografía del inventario de cultivos por especies y la previsión del rendimiento de los cultivos son algunos de los principales usos de la teledetección (Imbaquingo, 2021).

Figura 2

Componentes de un sistema de teledetección



Nota. Obtenido de (Lacho, 2018)

a) Tipos de satélites de teledetección

Los satélites pueden ser de tres tipos: espectral, temporal y espacial», como señaló Flores (2017), mientras que la resolución temporal se refiere a la duración de la recogida de datos por satélite, la resolución espacial se refiere al grado de detalle que puede recoger el satélite y suele representarse por la dimensión del píxel.

Tabla 2*Tipos de satélites*

Satélite	Características
Landsat	Los satélites Landsat disponen de dos sensores, MSS (Multispectral scanner) y TM. El sensor TM tiene mayor resolución radiométrica (8 bits) que el MSS (6 bits). Su órbita se sitúa a 705 Km de altitud, y sobrevuela la misma zona cada 16 días. Existen cinco satélites en órbita, con una frecuencia de paso en 26 días. Los satélites 1, 2 y 3 están dotados del sensor HRV (High Resolution Visible) que proporciona imágenes en las zonas visibles e infrarrojo cercano del espectro electromagnético.
POT (System Probatoire d'Observation de la Terre)	Su principal ventaja respecto a Landsat es su mayor resolución espacial. Las imágenes de los SPOT 1, 2 y 3 son de 60 Km de ancho y con una resolución de 10-20 metros/píxel. En el satélite SPOT-5 la resolución espacial de las imágenes es de (1 píxel = 5m). Es actualmente el satélite medioambiental más avanzado del mundo. Envisat detecta miles de parámetros, entre los que destacan: presencia de gases en la atmósfera, concentración de fitoplancton en los mares y corrientes submarinas.
Envisat	Tienen una órbita helio sincrona, de 907 km de altitud y frecuencia de paso de 24 días. Disponen de los sensores LISS (4 bandas espectrales) y WiFS (Wide Field Sensor) especializado en estudios de vegetación.
IRS (Indian Remote Sensing Satellite)	Se utiliza para obtener mapas detallados de la temperatura, reflectancia y elevación de la superficie terrestre.
ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer)	Mide el balance global de radiación de la Tierra. Aportando datos sobre las propiedades de las nubes y su papel en los flujos de radiación desde la superficie terrestre hasta las zonas altas de la atmósfera.
CERES (Clouds and the Earth's Radiant Energy System)	Explora la superficie terrestre con nueve cámaras, cada una de ellas apunta a un ángulo de observación diferente. Las imágenes que toma son en cuatro bandas: azul, verde, rojo, e infrarrojo próximo.
MISR (Multi-angle Imaging SpectroRadiometer)	Escanea cada punto del planeta cada 1-2 días en 36 bandas espectrales. Gracias a esta amplia capacidad de captación, este sensor percibe más datos de los signos vitales de la Tierra. Entre otros aspectos, MODIS mide cada día el porcentaje de la superficie de la Tierra cubierta por nubes.
MODIS (Moderate-resolution Imaging Spectroradiometer)	

Nota. Obtenido de (USGS/NASA, 2017)



2.2.7. Satélites para la teledetección

Actualmente hay numerosos satélites en órbita sobre el planeta para vigilar el medio ambiente y los recursos naturales. Entre ellos destaca el programa Landsat del Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS) y de la Administración de la Aeronáutica y del Espacio (NASA). Los sensores TM, ETM+, OLI/TIRS y OLI-2/TIRS-2 son los más notables de los nueve satélites que se han desplegado hasta ahora para este proyecto, en servicio desde 1972 (USGS, 2022). Además, sistemas web como USGS Earth Explorer (<https://earthexplorer.usgs.gov/>), Glovis (<https://glovis.usgs.gov/app>) y LandViewer (<https://eos.com/landviewer/>) ofrecen acceso a las imágenes digitales captadas por cada uno de los sensores. Cabe mencionar que OLI/TIRS, OLI-2/TIRS-2, y ETM+ son los sensores que se utilizan actualmente.

Sin embargo, en la actualidad hay seis misiones Sentinel orbitando la Tierra, cada una centrada en un objetivo diferente. Sentinel 2 MSI, por ejemplo, está diseñado para vigilar la superficie terrestre, incluida la cubierta vegetal, el uso del suelo, el agua, las vías fluviales, las zonas costeras, así como para recoger datos sobre emergencias. Estos satélites forman parte de la misión Sentinel del programa Copérnico de la Agencia Espacial Europea (ESA), que dirige la Comisión Europea (CE). Su resolución espacial oscila entre los 10-20-60 metros y se compone de 13 bandas espectrales. Asimismo, los sitios web que albergan sus fotografías digitales incluyen Landviewer, Glovis y USGS Earth Explorer, todos ellos disponibles para su descarga gratuita (Buitron, 2020)

2.2.8. Monitoreo de lo bofedales mediante teledetección

Según, Veneros *et al.*, (2020), definen la teledetección o teledetección como una tecnología que permite obtener a distancia información sobre cualquier tipo de elemento situado en la superficie de la Tierra. Esto se consigue mediante el uso de un sensor, que normalmente se monta sobre un satélite artificial. Dado que la información se obtiene registrando la energía electromagnética que un objeto emite o refleja, el sensor tiene la capacidad de recopilar de forma rápida y práctica información espacial de cualquier tipo de objeto, área o fenómeno. Por ello, es fundamental disponer de una fuente de energía que proporcione luz al espacio de estudio. Mientras que los sensores activos disponen de energía propia, en el caso de los pasivos dependemos de la energía del sol. Para recoger datos sobre el planeta, existe en este sentido un contacto entre el sensor, el objeto de investigación y una fuente de energía. Al ser precisos y necesitar unos recursos financieros mínimos, son por tanto un instrumento esencial que nos permite vigilar y seguir una serie temporal de los distintos ecosistemas.

2.2.8.1. Índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI)

Con un rango de -1 a 1, el índice NDVI es una herramienta de uso común para el seguimiento y análisis de la vegetación. Fue desarrollado por Rouse *et al.* (1974), como se indica en (Buitron, 2020), y puede expresarse como sigue: la diferencia entre la absorción máxima de radiación en la banda roja debida a los pigmentos de clorofila y la reflexión máxima en la banda del infrarrojo cercano (NIRc) debida al agua presente en la estructura celular de la hoja.

$$NDVI = \frac{\rho_{NIRc} - \rho_{RED}}{\rho_{NIRc} + \rho_{RED}}$$

Donde:

ρ_{NIRc} : Representa la banda del infrarrojo cercano

ρ_{b5} : Representa la banda roja

El NDVI tiene un rango de valores entre (-1) y (+1); solo los valores positivos se refieren a zonas de vegetación; no obstante, la vegetación verde suele encontrarse en el rango de 0,2 a 0,8 (Tafur, 2017).

2.2.9. Tratamiento de imágenes satelitales

- **Corrección Geométrica:** Con frecuencia es necesario re proyectar imágenes digitales a un sistema de referencia de coordenadas. Por consiguiente, para ajustarse perfectamente a la región de investigación, esta técnica requiere transformar las coordenadas de la imagen (Castro, 2021).
- **Corrección radiométrica:** Los sensores de los satélites utilizan la intensidad de la radiación electromagnética reflejada por la superficie terrestre para recopilar datos sobre la ocupación del suelo. Estos datos de intensidad se convierten y almacenan en números digitales (ND), que varían en función de las especificaciones del sensor. Por ejemplo, una imagen de 8 bits contiene 256 números digitales (Aguilar *et al.*, 2014).
- **Corrección atmosférica:** Esta técnica se utiliza en fotos digitales para eliminar el impacto de los aerosoles, ya que las partículas de la atmósfera desvían la luz, dificultando que los sensores detecten la energía inherente como resultado



algunos píxeles de la imagen quedan totalmente en sombra o en negro puro.

(Aguilar *et al.*, 2014).

2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS

2.3.1. Cuenca hidrográfica

una región definida topográficamente y drenada por uno o más sistemas de cursos de agua (Araque *et al.*, 2019)

2.3.2. Ecosistemas de montaña

Es un conjunto de organismos vivos (plantas, animales, microorganismos) que interactúan entre sí y con el entorno físico en áreas montañosas (Gózar, 2024).

2.3.3. Turba

El suelo orgánico debe tener al menos un 30% de materiales orgánicos ricos en carbono. (Maldonado, 2019).

2.3.4. Bofedal

Los bofedales se encuentran a partir de los 3800 msnm en conos volcánicos, planicies lacustres, terrazas fluviales, piedemonte y fondos de valles fluvio-glaciares. Estos hábitats altoandinos se caracterizan por formaciones vegetales perennifolias de tipo cojín y humedad persistente (Lacho, 2018).

2.3.5. Servicios Ecosistémicos

Se refiere a las ventajas que las personas reciben de los ecosistemas a nivel económico, social y ambiental, tanto directa como indirectamente. Estas funciones en los bofedales incluyen, entre otras, la formación de suelos, la

preservación de la biodiversidad, el secuestro de carbono, el control de cuencas, la belleza escénica y la provisión de recursos genéticos (D.S. N° 006-2021-MINAM, 2021); (Bonnesoeur et al., 2019; Monge-Salazar et al., 2022).

2.3.6. Análisis multitemporal

Se refiere a las ventajas que las personas reciben de los ecosistemas a nivel económico, social y ambiental, tanto directa como indirectamente. Estas funciones en los bofedales incluyen, entre otras, la formación de suelos, la preservación de la biodiversidad, el secuestro de carbono, el control de cuencas, la belleza escénica y la provisión de recursos genéticos (Jara, 2019); Ochoa-Tocachi *et al.*, 2018)

2.3.7. Imagen satelital Landsat

Una serie de misiones de observación de la Tierra conocidas como «Landsat» han sido gestionadas conjuntamente por la NASA y el Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS). Las aplicaciones científicas, medioambientales y de gestión de recursos dependen de las imágenes del satélite Landsat (Jara, 2019).

2.3.8. Infraestructura Natural o soluciones basadas en la naturaleza

La infraestructura natural aprovecha los ecosistemas para brindar beneficios ambientales y sociales. En la gestión del agua, la infraestructura natural va más allá de la simple utilización del recurso, buscando una gestión activa y sostenible. Frente al cambio climático, esta estrategia es clave para reducir sus impactos, especialmente en los Andes, donde ha demostrado ser eficaz para



controlar la erosión, regular el agua y mejorar la calidad del suelo (Villar Acevedo, 2023).

Diversos tipos de soluciones basadas en la naturaleza fueron adaptados tales como zanjas de infiltración, mejora de bofedales, amunas, etc. (Cassin & Ochoa-Tocachi, 2021; Cervantes et al, 2021; Locatelli et al., 2020; Albarracin et al 2021; Somers et al., 2018). Además de considerar medidas no estructurales que también pueden denominarse medidas de adaptación al cambio climático (Ocampo-Melgar et al, 2016).

CAPÍTULO III

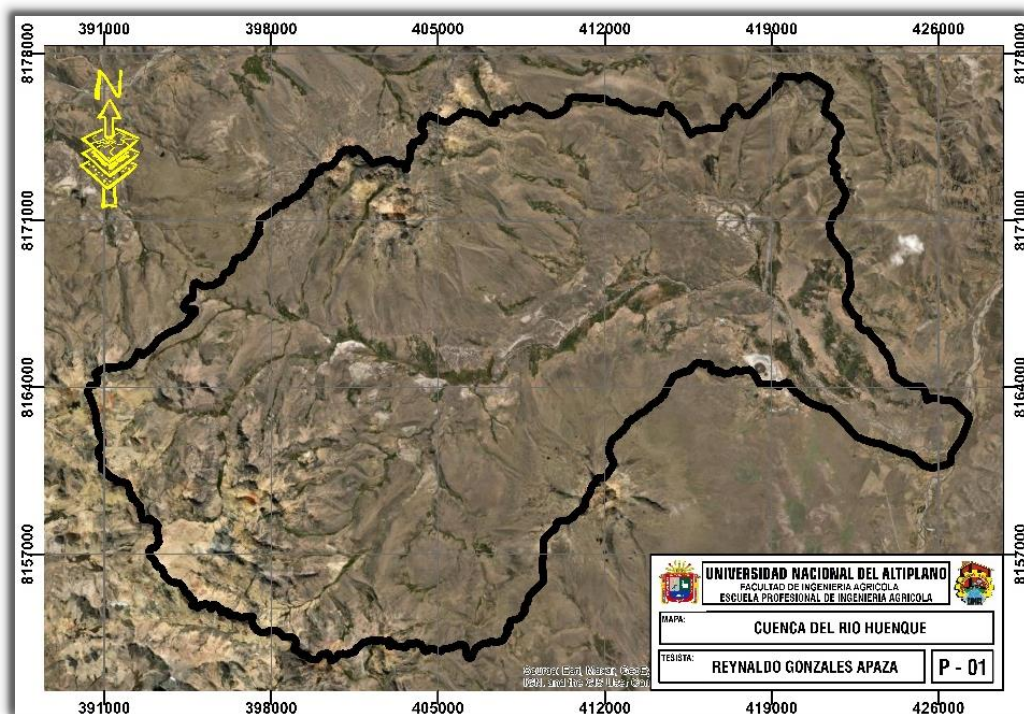
MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. ZONA DE ESTUDIO

La zona en estudio está localizada en la cuenca del río Huenque que comprende una extensión de 497.86km², que está situado en las coordenadas geográficas, Latitud: 16°34'4.21"S; Longitud: 69°52'15.32"O, a una altitud promedio de 3949.00 a 4911.00 m.s.n.m.

Figura 3

Ubicación de la zona en estudio



3.1.1. Límites.

La cuenca del río Huenque viene limitando por el Sur con la cuenca del río Pusuma; por el norte con la Cuenca aguas calientes; por el Oeste con la cuenca del río Antajarani; y por el Este con la cuenca del río Calasaya.

3.1.2. Vías de comunicación y accesibilidad

La principal vía de acceso y comunicación desde la ciudad de Puno, hacia el área en estudio es la terrestre, tal cual se muestra en la tabla 3.

Tabla 3

Vías de comunicación y accesibilidad al área en estudio

Partida	Fin	Distancia	Tiempo	Tipo de vía	Medio de transporte
Puno	Chucuito	19.7 km	0.25 h.	Carretera asfaltada	Bus/Automóvil
Chucuito	Platería	9 km	0.08h	Carretera asfaltada	Bus/Automóvil
Platería	Acora	4.8 km	0.06h	Carretera asfaltada	Bus/Automóvil
Acora	Ilave	21.7 km	0.22h	Carretera asfaltada	Bus/Automóvil
Ilave	cuenca del río Huenque	61.7 km	1.30 h	Trocha	Automóvil

3.2. TIPO DE INVESTIGACIÓN

El nivel de investigación, es **descriptivo** debido a que los estudios descriptivos pretenden describir los atributos y componentes de ideas, acontecimientos, variables o sucesos dentro de un contexto en específico (Hernández & Mendoza, 2018).



El tipo de investigación es **explicativo** por que el objetivo principal de ello está enfocado a explicar la ocurrencia de un fenómeno, sus circunstancias de manifestación o la relación entre dos o más variables (Hernández & Mendoza, 2018).

El diseño es **no experimental** porque las variables no se modificarán a propósito en la investigación para determinar cómo afectan a otros factores (Hernández & Mendoza, 2018).

El enfoque de investigación a emplear es **mixto**, porque el investigador recopilará y analizará tanto datos cualitativos como cuantitativos, y luego integrará estos datos en la interpretación y discusión de los resultados; esto permitirá una comprensión más completa y profunda del fenómeno a estudiar, ya que se pueden explorar tanto las dimensiones cualitativas (como percepciones, experiencias y significados) como las dimensiones cuantitativas (como frecuencias, correlaciones y asociaciones) (Hernández & Mendoza, 2018).

3.3. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS

a) Técnicas

Las principales técnicas para recolectar información, para la recogida de datos para este estudio serán la observación y una evaluación bibliográfica de tesis, libros, publicaciones académicas, sitios web y otras fuentes.

b) Instrumentos

- Ficha de observación
- Software Microsoft Office
- Software Microsoft Excel
- Software ArGIS



- Software Qgis
- Software SPSS

3.4. POBLACIÓN Y MUESTRA

3.4.1. Población

La población en estudio está representada por toda la extensión de la cuenca del río Huenque que es de 497.86km².

3.4.2. Muestra

Se ha especificado un muestreo no probabilístico a juicio del investigador; ante ello la muestra es la misma especificada en la población; siendo toda la extensión de la cuenca del río Huenque que es de 497.86km².

3.5. PROCEDIMIENTO METODOLÓGICO

El procedimiento metodológico en el sentido de lograr los objetivos planteados en este estudio: toda la información se recogió de las tesis, libros, publicaciones académicas y sitios web, entre otras fuentes.

3.5.1. Determinación de la extensión de los bofedales altoandinos empleando imágenes satelitales en la cuenca del río Huenque, analizando su variabilidad estacional y anual en el periodo (1990 – 2024)

Para el cumplimiento del presente objetivo se adquirió imágenes satelitales

Landsat 5, 7 y 8

a) Descarga de imágenes satelitales



Las imágenes satelitales **Landsat 5, 7 y 8**, fueron descargadas de la plataforma web EarthExplorer del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS); dentro de las cuales se escogió el cuadrante que abarca la cuenca; seleccionado las imágenes satelitales que mejor representen las condiciones del área en estudio incluida la nubosidad baja y la estación seca, desde los años; 1990, al 2024 (35años) obteniéndolas cada 5 años, respectivamente para el área en estudio.

b) Corrección de las imágenes satelitales

Solo la imagen del satélite Landsat 5 se sometió a un ajuste radiométrico, ya que podría mostrar algún elemento, brillo excesivo u otro suceso que pudiera cambiar la correcta categorización de la imagen, empleando el complemento de categorización semiautomática SCP del software QGIS, que eliminará las interferencias aéreas que pudiera experimentar el sensor y permitir la visualización de imágenes de mayor calidad numérica y visual.

Consecutivamente se realizó la corrección atmosférica a cada imagen satelital obtenida (**Landsat 5, 7, y 8**); para la eliminación de perturbaciones atmosféricas; En este sentido, también puede decirse que la corrección atmosférica sirve para aminorar la aportación de la atmósfera al valor del píxel de la fotografía de satélite; reduce el impacto del vapor, los aerosoles (polvo, etc.) y otros factores atmosféricos, todo ello mediante la caja de herramientas “ArcToolbox – Landsat 8 – Corrección atmosférica”; para previsualizar con más detalle y mejor nitidez sobre la cobertura vegetal en bofedales.

Tabla 4

Lista de imágenes satelitales a trabajar

Año	Nombre	Resolución	Fecha de adquisición	Preprocesamiento (corrección)	Procesamiento
1990	Landsat 5	30mts	16/07/1990	Radiométrico - atmosférico	NDVI
1995	Landsat 5	30mts	30/07/1990	Radiométrico - atmosférico	NDVI
2000	Landsat 7	30mts	03/07/1990	Radiométrico - atmosférico	NDVI
2005	Landsat 7	30mts	17/07/1990	Atmosférico	NDVI
2010	Landsat 7	30mts	31/07/1990	Atmosférico	NDVI
2015	Landsat 8	30mts	21/07/1990	Atmosférico	NDVI
2020	Landsat 8	30mts	18/07/1990	Atmosférico	NDVI
2024	Landsat 8	30mts	03/07/1990	Atmosférico	NDVI

c) Cálculo del índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI)

Cuando se trata de investigar el estado de la masa vegetal, este enfoque es muy útil ya que, en específico con otras cubiertas, el NDVI proporciona una buena distinción de los píxeles de la superficie de vegetación (Lange, 2018).

Para ello el procedimiento fue empleado a las imágenes del satélite Landsat, en la interfaz del ArcMap, - ArcToolbox, posteriormente la herramienta Spatial Analyst Tool, se eligió la opción ráster calculador aplicando la siguiente expresión:



$$NDVI = \frac{\rho_{b5} - \rho_{b4}}{\rho_{b5} + \rho_{b4}}$$

Donde:

NDVI: Índice de vegetación de diferencia normalizada

ρ_{b2} : Banda 5 (infrarrojo).

ρ_{b5} : Banda 4 (rojo).

Según Huanca (2024), los valores del NDVI correspondientes a los bofedales se sitúan en rangos de 0.19 – 0.42; por ser áreas húmedas con extensa vegetación vercosa durante las temporadas de estiaje (mayo a agosto)

d) Dinámica de cambio

Para ello se aplicó la ecuación recomendada por (Espinoza, 2022):

$$D.C. = \left[\left(\frac{S_2}{S_1} \right)^{1/(t_2-t_1)} - 1 \right] * 100\%$$

Donde:

D.C.: Dinámica de cambio de cobertura vegetal (%)

s_2 : Superficie de año final (km²)

s_1 : Superficie de año inicial (km²)

$t_2 - t_1$: tiempo transcurrido (años)

e) Clasificación supervisada

Se creó puntos de control con la herramienta Train Maximum Likelihood Classifier (clasificación de máxima verosimilitud) en el software ArcGIS, para

seguidamente ir a campo y visualizar que efectivamente se trata de los bofedales que se halló mediante el procedimiento en el Software.

f) Validación de mapa mediante el Índice Kappa

Se realizó la validación de los bofedales entre el mapa observado y la coincidencia de la realidad en base al índice Kappa; para conocer la precisión de los resultados de cada bofedal obtenido en el software con la realidad.

Tabla 5

Rangos a considerar de la valoración del índice de Kappa

Índice kappa	Fuerza de concordancia
0.00	Pobre
0.01 – 0.20	Leve
0.21 – 0.40	Aceptable
0.41 – 0.60	Moderada
0.61 – 0.80	Considerable
0.81 – 1.00	Perfecta

Nota. Obtenido de (Torre y Rivas, 2019)

3.5.2. Correlación entre las variables climáticas y el cambio de la superficie de los bofedales, para comprender mejor los factores ambientales que afectan la dinámica en la cuenca del río Huenque en el periodo (1990 – 2024).

Posteriormente luego de identificar la ubicación y extensión de los bofedales altoandinos empleando imágenes satelitales en la cuenca en estudio, se determinó la relación existente entre las variables climáticas (**precipitación-temperatura**) y la superficie de bofedales altoandinos en la cuenca del río



Huenque; por ello se realizó la descarga de datos de precipitación y temperatura; durante los años 1990, al 2023 (cada 5 años), de manera anual de las estaciones meteorológicas más próximas al área en estudio, del sitio web del SENAMHI (2024), para posteriormente realizar la prueba de consistencia para el conocimiento de la confiabilidad de la información:

g) Análisis de la consistencia de las variables climáticas

El análisis de consistencia de los datos meteorológicos se realizó en base a las consideraciones descritas del libro de Villon (2005), que muestra que el análisis de coherencia se elabora a partir de la información de que se dispone en la actualidad, utilizando técnicas estadísticas y criterios físicos que permiten detectar, evaluar y eliminar cualquier posible error sistemático que pueda haber surgido de fuentes naturales o provocadas por el hombre.

En consecuencia, se empleará el análisis de doble masa propiamente dicho, que consiste en determinar las fuentes de los sucesos naturales o si han sido provocados por errores sistemáticos observando las «rupturas» que aparecen en los diagramas. En este caso, permite determinar el rango de tiempos dudosos y fiables de cada estación investigada, que debe ajustarse en función de determinadas normas estadísticas.

b) Modelamiento de las variables climáticas

Seguidamente luego de conocer la confiabilidad de las variables climáticas, se realizó la importación de los datos de precipitación y temperatura en el Excel; y posteriormente ser interpoladas en el Software ArcGIS y mediante



la herramienta ArcToolbox > Spatial Analyst Tools > interpolate> Kriging; generar la modelación de la precipitación y temperatura en el área en estudio.

c) Indicador de correlación de las variables climáticas con respecto a la superficie de los bofedales

Para analizar la superficie de los bofedales y las variables climáticas (temperatura y precipitación) se utilizó la prueba de normalidad de **Shapiro-Wilks**. Esta prueba se utiliza para muestras temporales de menos de 50 unidades y permite medir si las variables presentan una distribución anormal o normal (Justo, 2023), y se realizó utilizando el software SPSS.

Posteriormente se efectuó la prueba estadística **ANOVA** de un factor para conocer la relación de las variables climáticas sobre la superficie de los bofedales; siendo la prueba de decisión en este análisis, el valor p-value, el cual debe ser inferior a 0.05 y esto indicará la existencia de una relación significativa.

3.5.3. Análisis y evaluación el estado de los bofedales altoandinos para proponer estrategias de conservación de bofedales altoandinos que contribuyan a su preservación y la sostenibilidad en la cuenca del río Huenque

a) Estado de los bofedales-. Se estudiaron quince bofedales representativos del área en estudio, para determinar el estado de los bofedales, para ello se siguieron los procedimientos descritos por la guía de evaluación del estado del ecosistema bofedal del MINAM (2019), el cual indica los siguientes criterios a considerar:

Tabla 6

Atributos e indicadores para medir el estado del ecosistema bofedal

Atributos	Indicadores
Condición del agua	Napa freática en época seca (cm)
	Conductividad eléctrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$)
Condición del suelo	Profundidad de turba (cm)
	Materia orgánica (%)
	Densidad aparente (g/cm^3)
	Signos de erosión (cualitativo)
Condición de la biota	Especies nativas (%)
	Riqueza de especies (n.º especies / área)
	Cobertura vegetal viva (%)
	Biomasa aérea ($\text{kg MS}/\text{ha}$)
Alteraciones en el paisaje	Presencia de factores de degradación (cualitativo)
	Conectividad hidrológica del bofedal (cualitativo)

Nota. Obtenido de (MINAM, 2019)

- **Condición del agua:** Se refiere a la cantidad y calidad de agua que se mantiene en el bofedal. Si la condición es adecuada permitiría asegurar el funcionamiento apropiado del ecosistema.

Tabla 7

Escala de valoración de la condición de agua

Indicador	Rango de valores de referencia	Puntaje
Napa freática (cm)	< 5	30.8
	6 - 20	20.5
	21 - 60	10.3
	> 60	0.0
Conductividad eléctrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	< 52	8.8
	52 - 110	5.9
	110 - 215	2.9
	> 215	0.0

Nota. Obtenido de (MINAM, 2019)

- **Condición del suelo:** Se refiere principalmente a la condición e integridad de la turba o suelo orgánico que se acumula en el bofedal, lo que influye en la

capacidad de almacenamiento de carbono y agua. Asimismo, da soporte e influye en la comunidad vegetal que se desarrolla en el ecosistema.

Tabla 8

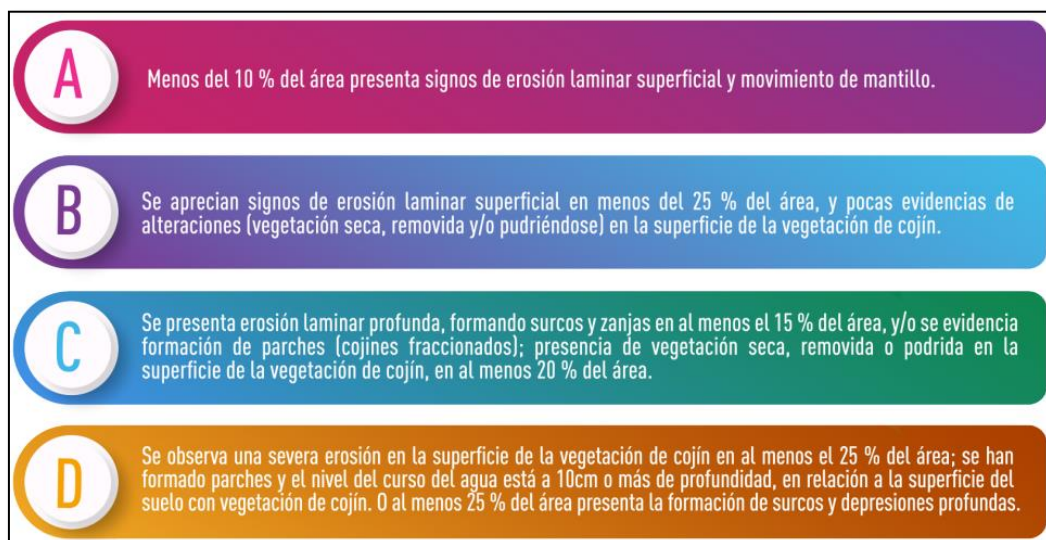
Escala de valoración de la condición de suelo

Indicador	Rango de valores de referencia	Puntaje
Napa freática (cm)	> 200	9.2
	100 - 200	6.1
	41 - 100	3.1
	< 40	0.0
Materia orgánica (%)	> 75	8.9
	56 - 75	5.9
	21 - 55	3.0
	< 37	0.0
Densidad aparente (g/cm ³)	< 0.2	3.5
	0.2 - 0.3	2.3
	0.3 - 0.9	1.2
	> 0.9	0.0
Signos de erosión	A	2.9
	B	1.9
	C	1.0
	D	0.0

Nota. Obtenido de (MINAM, 2019)

Figura 4

Descripción del grado de erosión de la superficie evaluada



Nota. Obtenido de (MINAM, 2019)

- **Condición de la biota:** Refleja la capacidad de mantenimiento de la biodiversidad, que es lo primero que se ve afectado cuando un ecosistema es degradado. Además, usa la producción primaria como un indicador del buen o mal funcionamiento del ecosistema en general.

Tabla 9

Escala de valoración de la condición de la biota

Indicador	Rango de valores de referencia	Puntaje
Napa freática (cm)	> 80	8.7
	61 - 79	5.8
	31 - 60	2.9
	< 31	0.0
Riqueza de especies (transecto)	> 10	8.9
	8 a 10	5.9
	5 a 7	3.0
	< 5	0.0
Cobertura vegetal (%)	100	3.0
	90 - 99	2.0
	89 - 75	1.0
	< 75	0.0
Biomasa (kg MS/ha)	> 1000	5.1
	651 - 999	3.4
	301 - 650	1.7
	< 300	0.0

Nota. Obtenido de (MINAM, 2019)

- **Alteraciones en el paisaje:** El paisaje se integra a todos los ecosistemas que rodean al bofedal, y al bofedal mismo. Se ha diferenciado este como un atributo para hacer énfasis en la importancia que tiene el entorno en la provisión de agua al bofedal, y se incluyó evidencias de factores de degradación, que pueden estar presentes al interior del bofedal, o en los alrededores.

Tabla 10

Escala de valoración de la condición de suelo

Indicador	Rango de valores de referencia	Puntaje
Presencia de factores de degradación	A	8.0
	B	5.3
	C	2.7
	D	0.0
Conectividad hidrológica	A	8.0
	B	5.3
	C	2.7
	D	0.0

Nota. Obtenido de (MINAM, 2019)

Figura 5

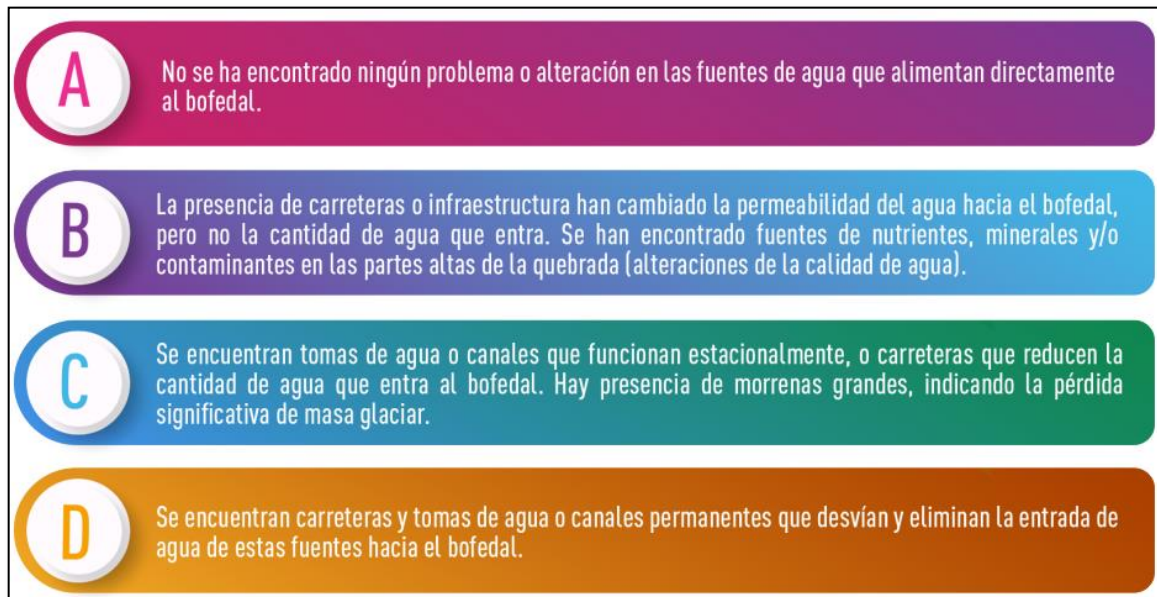
Categorías por presencia de factores a partir de su abundancia e intensidad



Nota. Obtenido de (MINAM, 2019)

Figura 6

Infraestructura o alteraciones que condicionan la conectividad hidrológica en el bofedal



Nota. Obtenido de (MINAM, 2019)

La suma de los puntajes de los indicadores según la guía de evaluación del estado del ecosistema bofedal del MINAM (2019), representa el valor relativo obtenido para la zona de evaluación, este valor deberá verificarse en la tabla precedente e identificar el estado al que corresponde. Para ello, se muestran cinco niveles que corresponden a una escala de 0 a 10, siendo la que presenta mejor condición ecológica, la escala del 8 al 10.

Tabla 11

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

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

Nota. Obtenido de (MINAM, 2019)



- b) Estrategias de conservación de bofedales -.** Así mismo se propondrá estrategias de conservación de bofedales altoandinos que contribuyan a su preservación y la sostenibilidad; mediante la forestación con especies nativas y el diseño de zanjas de infiltración en las zonas altas de la cuenca Huenque
- **Diseño de zanjas de infiltración-.** El régimen pluvial estacional que se produce en las partes altas de la cuenca será la única fuente de recarga de las zanjas de infiltración. Las zanjas, separadas entre sí de 10 a 13 metros, serán paralelas entre sí, y el material retirado de la zanja se verterá en la parte inferior de la misma para crear un pequeño montículo. Se aconseja que, para evitar la erosión del suelo durante el chaparrón inicial, el material trasladado se coloque a unos 20 centímetros de la zanja. En el espacio lateral entre dos zanjas es necesario cavar una canaleta o un pasadizo de hasta 10 cm de ancho. Esto es importante porque permitirá que el agua de una zanja completamente llena fluya hacia otra, garantizando que todas las zanjas se llenen por igual y evitando la erosión y el colapso de las paredes de la zanja (Gonzales & Alejo, 2008).
 - **Forestación-.** La forestación se realizará a la par con las zanjas de infiltración
- La forestación es una técnica para mejorar la penetración del agua y disminuir el impacto de la lluvia en el suelo. Los troncos y las raíces de los árboles actúan como retenedores, ralentizando el flujo de agua y creando agujeros para su penetración que mejoran la reposición de las aguas subterráneas, así como la degradación de la estructura del suelo (Mamani F. , 2023).



Además de sus ventajas medioambientales, también ayudan a la restauración de suelos dañados, mejoran la infiltración del suelo y reducen significativamente la escorrentía superficial.

- Ante ello se realizará la visita a campo de la zona en estudio y se escogerá zonas erosionadas o degradadas para su forestación.
- Se dará preferencia a las especies forestales nativas (Queñua, Colle y Tola) que tengan la capacidad de cubrir rápidamente las zonas desprovistas de vegetación.



CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

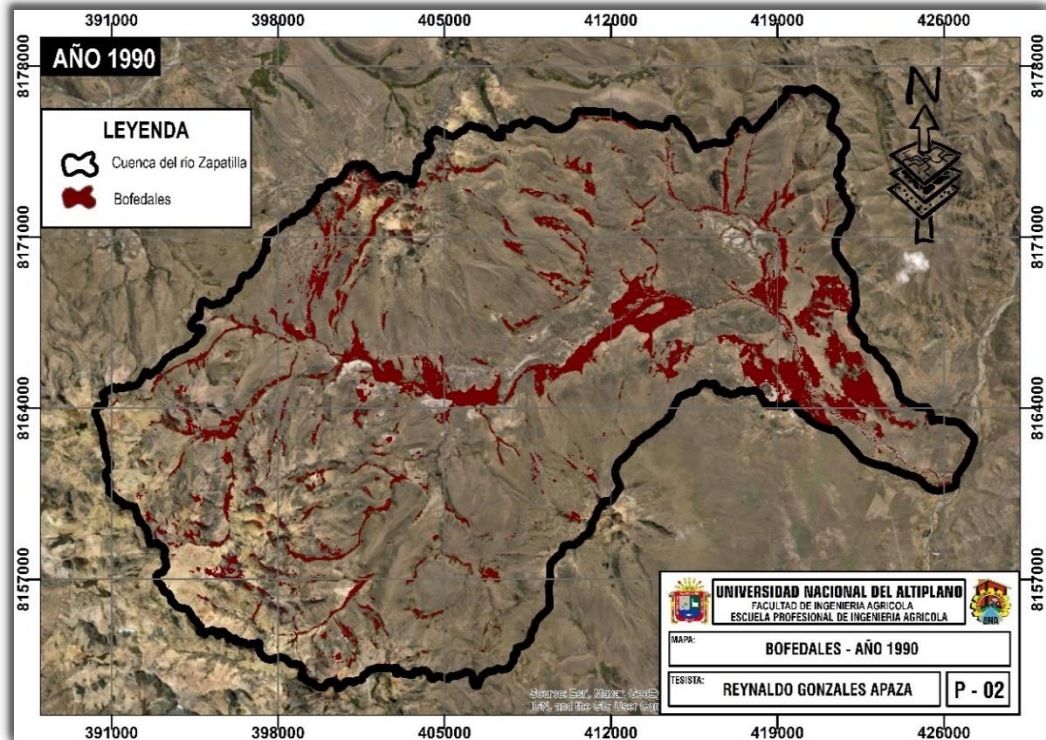
4.1. DETERMINACIÓN DE LA EXTENSIÓN DE LOS BOFEDALES ALTOANDINOS EMPLEANDO IMÁGENES SATELITALES EN LA CUENCA DEL RIO HUENQUE, ANALIZANDO SU VARIABILIDAD ESTACIONAL Y ANUAL EN EL PERIODO (1990 – 2024)

Con respecto al objetivo específico 1; Determinar la extensión de los bofedales altoandinos empleando imágenes satelitales en la cuenca del río Huenque, analizando su variabilidad estacional y anual en el periodo (1990 – 2024); para el cumplimiento de presente objetivo se empleó la técnica de Índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI), el cual se caracteriza por emplear imágenes satelitales Landsat; mediante la puesta en ecuación valores ponderativas entre -1 a +1; correspondiendo a la superficie de la cobertura de los bofedales, los valores entre 0.19 – 0.42, tomadas en temporada de estiaje (mes de junio) respectivamente; presentando los siguientes resultados:

4.1.1. Análisis de la extensión de bofedales altoandinos

Figura 7

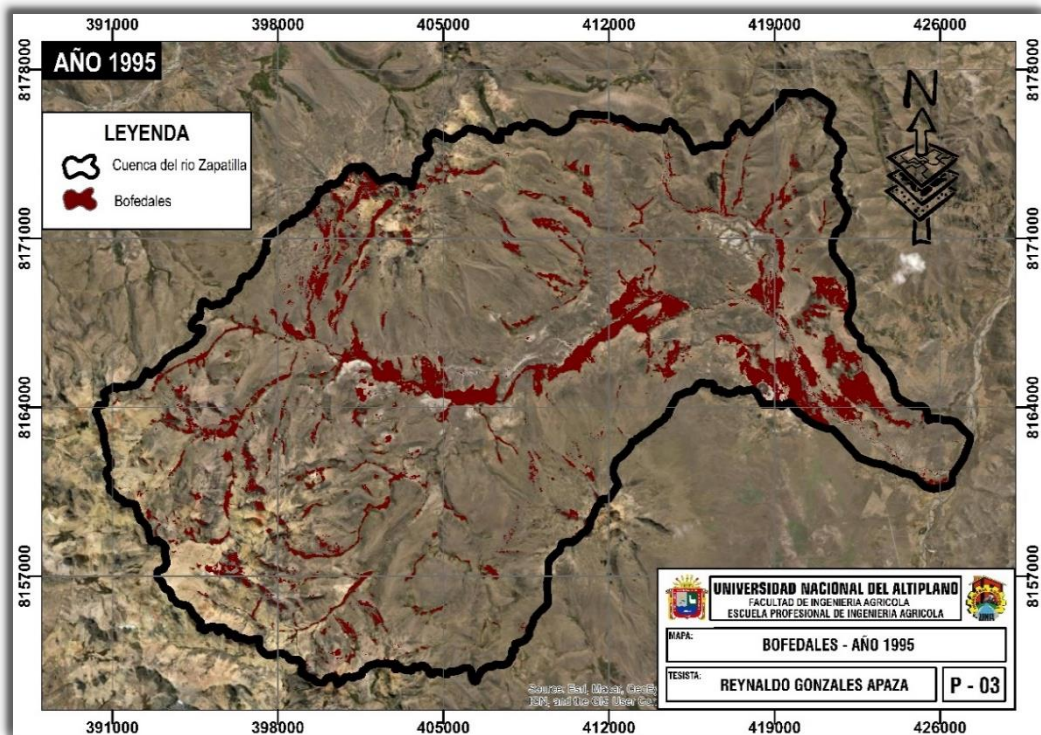
Extensión de los bofedales altoandinos de la cuenca del río Huenque (año 1990)



En la figura 7, se exhibe la extensión de los bofedales altoandinos de la cuenca del río Huenque al año 1990, manifestando que la extensión de bofedales a dicho año es de 45.49km²; equivalente al 9.14% del territorio de la cuenca, mientras que las áreas que no son caracterizadas como bofedales representan 452.37km² equivalente al 90.86% del territorio de la cuenca en estudio respectivamente.

Figura 8

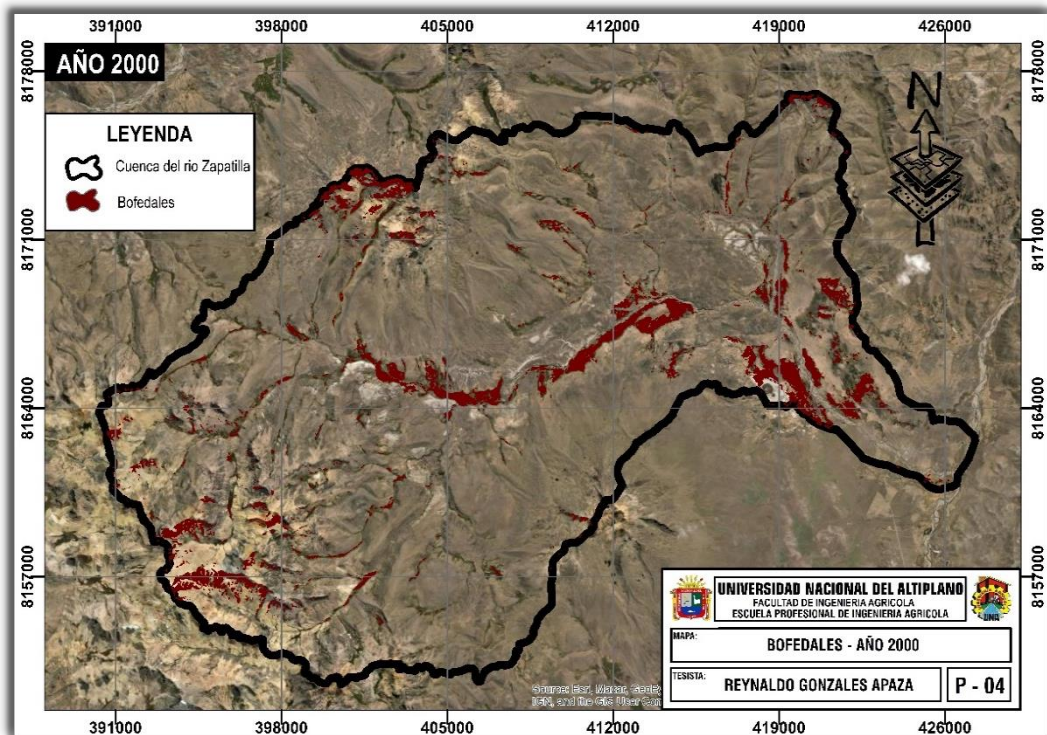
Extensión de los bofedales altoandinos de la cuenca del río Huenque (año 1995)



En la figura 8, se exhibe la extensión de los bofedales altoandinos de la cuenca del río Huenque al año 1995, manifestando que la extensión de bofedales a dicho año es de 36.86km^2 ; equivalente al 7.40% del territorio de la cuenca, mientras que las áreas que no son caracterizadas como bofedales representan 461.00km^2 equivalente al 92.60% del territorio de la cuenca en estudio respectivamente.

Figura 9

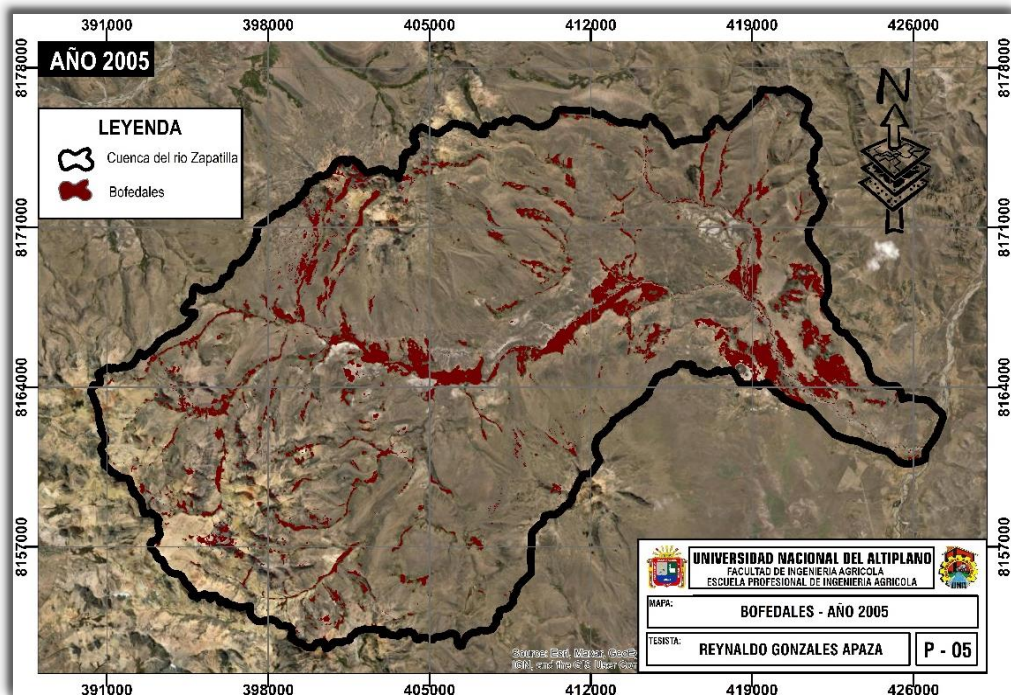
Extensión de los bofedales altoandinos de la cuenca del río Huenque (año 2000)



En la figura 9, se exhibe la extensión de los bofedales altoandinos de la cuenca del río Huenque al año 2000, manifestando que la extensión de bofedales a dicho año es de 27.56km²; equivalente al 5.54% del territorio de la cuenca, mientras que las áreas que no son caracterizadas como bofedales representan 470.30km² equivalente al 94.46% del territorio de la cuenca en estudio respectivamente.

Figura 10

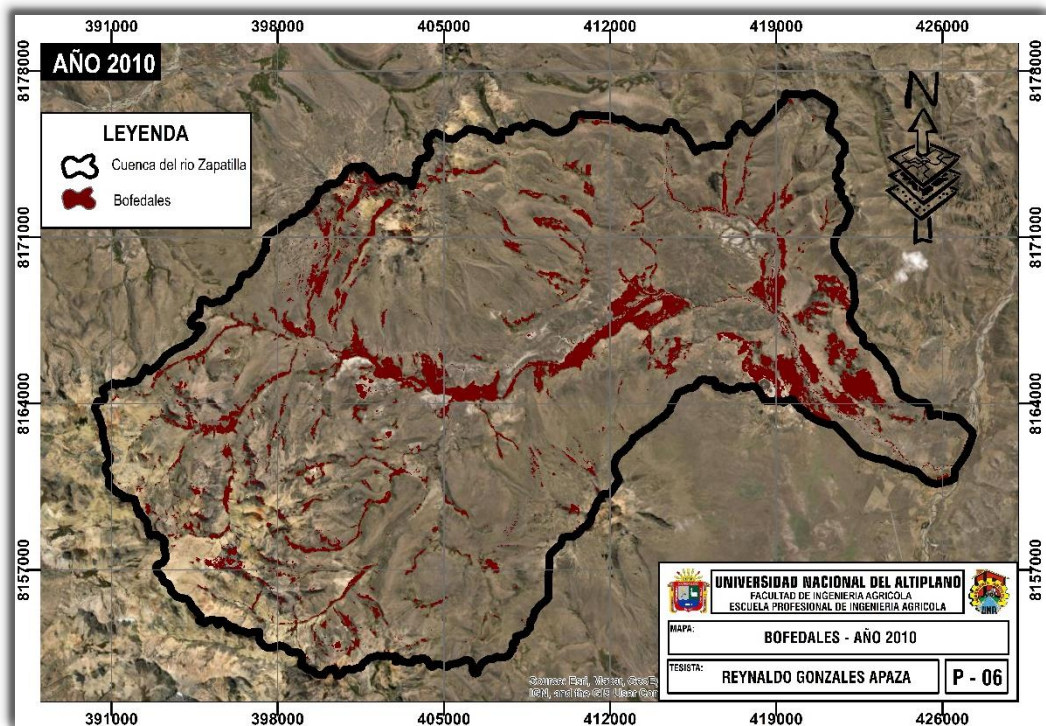
Extensión de los bofedales altoandinos de la cuenca del rio Huenque (año 2005)



En la figura 10, se exhibe la extensión de los bofedales altoandinos de la cuenca del rio Huenque al año 2005, manifestando que la extensión de bofedales a dicho año es de 39.81km²; equivalente al 8.00% del territorio de la cuenca, mientras que las áreas que no son caracterizadas como bofedales representan 458.05km² equivalente al 92.00% del territorio de la cuenca en estudio respectivamente.

Figura 11

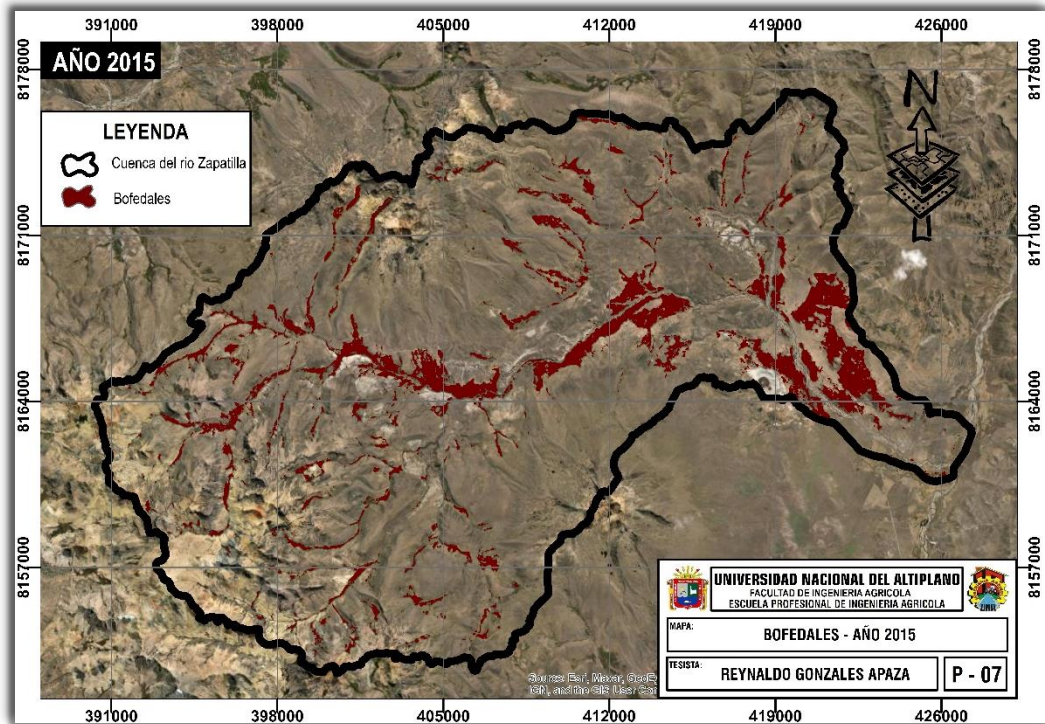
Extensión de los bofedales altoandinos de la cuenca del río Huenque (año 2010)



En la figura 11, se exhibe la extensión de los bofedales altoandinos de la cuenca del río Huenque al año 2010, manifestando que la extensión de bofedales a dicho año es de 32.82km²; equivalente al 6.59% del territorio de la cuenca, mientras que las áreas que no son caracterizadas como bofedales representan 465.04km² equivalente al 93.41% del territorio de la cuenca en estudio respectivamente.

Figura 12

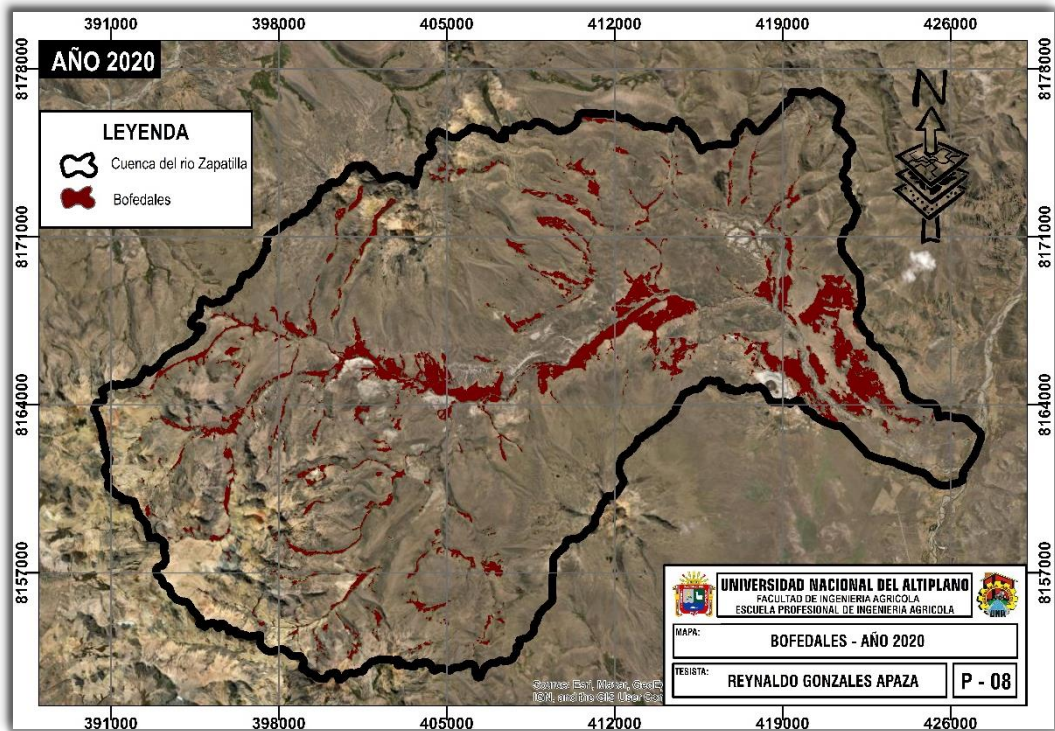
Extensión de los bofedales altoandinos de la cuenca del río Huenque (año 2015)



En la figura 12, se exhibe la extensión de los bofedales altoandinos de la cuenca del río Huenque al año 2015, manifestando que la extensión de bofedales a dicho año es de 40.93km²; equivalente al 8.22% del territorio de la cuenca, mientras que las áreas que no son caracterizadas como bofedales representan 456.93km² equivalente al 91.78% del territorio de la cuenca en estudio respectivamente.

Figura 13

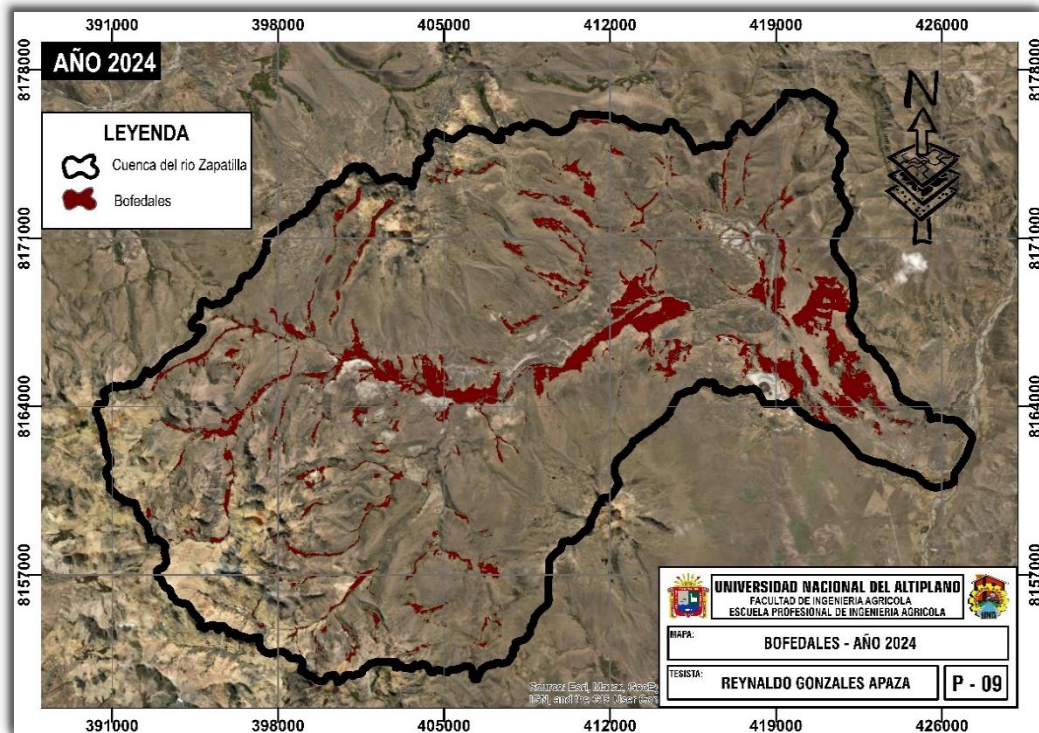
Extensión de los bofedales altoandinos de la cuenca del río Huenque (año 2020)



En la figura 13, se exhibe la extensión de los bofedales altoandinos de la cuenca del río Huenque al año 2020, manifestando que la extensión de bofedales a dicho año es de 38.16km^2 ; equivalente al 7.66% del territorio de la cuenca, mientras que las áreas que no son caracterizadas como bofedales representan 459.70km^2 equivalente al 92.34% del territorio de la cuenca en estudio respectivamente.

Figura 14

Extensión de los bofedales altoandinos de la cuenca del río Huenque (año 2024)



En la figura 14, se exhibe la extensión de los bofedales altoandinos de la cuenca del río Huenque al año 2024, manifestando que la extensión de bofedales a dicho año es de 37.87km²; equivalente al 7.61% del territorio de la cuenca, mientras que las áreas que no son caracterizadas como bofedales representan 459.99km² equivalente al 92.39% del territorio de la cuenca en estudio respectivamente.

4.1.2. Dinámica de cambio de los bofedales altoandinos de la cuenca del río Huenque

En la tabla 12, se aprecia la dinámica de cambio de los bofedales altoandinos de la cuenca del río Huenque; indicando que entre los periodos evaluados (1990 al 2024), existe una variación de la extensión de los bofedales,

entre 27.56km² a 45.49km², respectivamente; presentando una dinámica de cambio del -0.5224% respectivamente.

Tabla 12

Dinámica de cambio de los bofedales altoandinos de la cuenca del río Huenque

Dinámica de cambio de los bofedales altoandinos (1990 - 2024)									
año	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2024	D.C. (%)
km²	45.49	36.86	27.56	39.81	32.82	40.93	38.16	37.87	-0.5224
%	9.13	7.40	5.53	7.99	6.59	8.21	7.66	7.60	-0.5224

4.1.3. Indicadores de validación

Para establecer una clasificación fiable, se desarrolló la matriz de confusión y el índice Kappa (**anexo 2**), que proporcionan métricas de evaluación cuantitativa de la validez y precisión de los mapas entre los años 1990 y 2024; los resultados se muestran a continuación:

En la tabla 13, se aprecia la validación de mapas mediante el Índice Kappa, indicando que la extensión de los bofedales existentes en la cuenca del río Huenque entre los años de 1990 al 2024 tienen una precisión del 95.00% al 99.03%; además presentan valores de 0.9126 a 0.9843 de índice Kappa; es decir, se valida la superficie generada mediante las imágenes satelitales Landsat, lo que manifiesta que está dentro de los valores de casi perfecta entre el mapa observado y la realidad; demostrando que la clasificación está dentro de los parámetros del índice de Kappa.

Tabla 13*Validación de mapas mediante el Índice Kappa*

Año	Precisión Global (%)	Índice Kappa
1990	95.00%	0.9126
1995	96.43%	0.9518
2000	96.43%	0.9525
2005	94.64%	0.9423
2010	99.03%	0.9420
2015	96.04%	0.9390
2020	97.06%	0.9547
2023	99.01%	0.9843

Nota. Datos de precisión Global e Índice de Kappa.

Dichos resultados con respecto a Wang *et al.*, (2024), presentan características similares, encontrando que los bofedales de Wuhan tenía la mayor zona de bofedales (168,00 km²), seguida de Nanjing (103,19 km²); también Jiujiang tiene la tasa de cobertura de bofedales más alta con un 27,23 %, seguida de Wuhan (20,68 %) y Xiangyang (18,89 %); entre 1985 y 2022, así mismo las provincias perdieron zonas de bofedales, siendo Tianjin la que tuvo el mayor porcentaje de pérdida (79,40 %), seguida de Urumqi (74,86 %) y Guiyang (67,55 %); por el contrario, Hohhot experimentó el mayor aumento (90,63 %), seguida de Beihai (89,21 %) y Xi'an (71,34 %); aproximadamente un tercio de las ciudades, los patrones del paisaje de los bofedales se están volviendo más fragmentadas y menos conectados; así mismo con respecto a Gózar (2024), también son semejantes; encontrando una disminución en el área total del bofedal en la cuenca Cochas, con una superficie de 14.2086 ha para el año 2002 (época seca) hasta una superficie de 12.2108 para el año 2023 (época seca); todo ello principalmente a las variaciones climáticas extremas que se suscitaron en ese periodo en estudio para la región investigada. Y también con respecto al estudio



realizado por Justo (2023), son similares, debido a que los bofedales de Huanza tuvieron una reducción de tamaño del 64%, pasando de 5,6 km² a 2 km², con una tasa de cambio anual de 0,067 km²/año; todo ello debido a que se encontró menos agua disponible como resultado del incremento de las temperaturas en Huanza y la reducción de las precipitaciones; por lo tanto, se puede afirmar que los bofedales altoandinos de Huanza se ven afectados por la fluctuación del clima; y finalmente con respecto al estudio realizado por Castro (2021), presentan cierta similitud; los hallazgos mostraron que los 16 bofedales de la comunidad de Tinyacella tenían una expansión de cobertura vegetal de 701,309,144 m² en 2016 y una extensión total de 574,590,305 m² en 2018; la comunidad de Pueblo Libre también contaba con 15 bofedales, situado entre 4,315 y 4,862 msnm, con una extensión de 1'024,421.99 m² en 2016 y una extensión total de 901,653.70 m² en 2018; traduciendo en la pérdida de 18,7% y 11,98% de bofedales, respectivamente.

4.2. ANALISIS DE LA CORRELACIÓN ENTRE LAS VARIABLES CLIMÁTICAS Y EL CAMBIO DE LA SUPERFICIE DE LOS BOFEDALES, PARA COMPRENDER MEJOR LOS FACTORES AMBIENTALES QUE AFECTAN LA DINÁMICA EN LA CUENCA DEL RIO HUENQUE EN EL PERIODO (1990 – 2024).

Con respecto al objetivo específico 2; Analizar la correlación entre las variables climáticas y el cambio de la superficie de los bofedales, para comprender mejor los factores ambientales que afectan la dinámica en la cuenca del río Huenque en el periodo (1990 – 2024); para el cumplimiento de presente objetivo se recopiló datos de precipitación y temperatura de las estaciones meteorológicas más próximas al área en estudio (Mazocruz, Pampa Umalsu, Ichuña, Ilave, Juli), realizando el análisis de

consistencia para conocer la confiabilidad de los datos obtenidos; para posteriormente relacionarlo con la extensión de los bofedales.

4.2.1. Consistencia de las variables climáticas

En la tabla 14, se aprecia el análisis de consistencia de las variables climáticas (precipitación y temperatura) de las estaciones meteorológicas más próximas a la zona en estudio (Mazocruz, Pampa Umalsu, Ichuña, Ilave, Juli), indicando que los datos obtenidos de precipitación y temperatura; son consistentes y confiables para ser empleados en el presente estudio no ende no requieren corrección.

Tabla 14

Análisis de consistencia de las variables climáticas de las estaciones meteorológicas más próximas a la zona en estudio (Periodo 1990 al 2023)

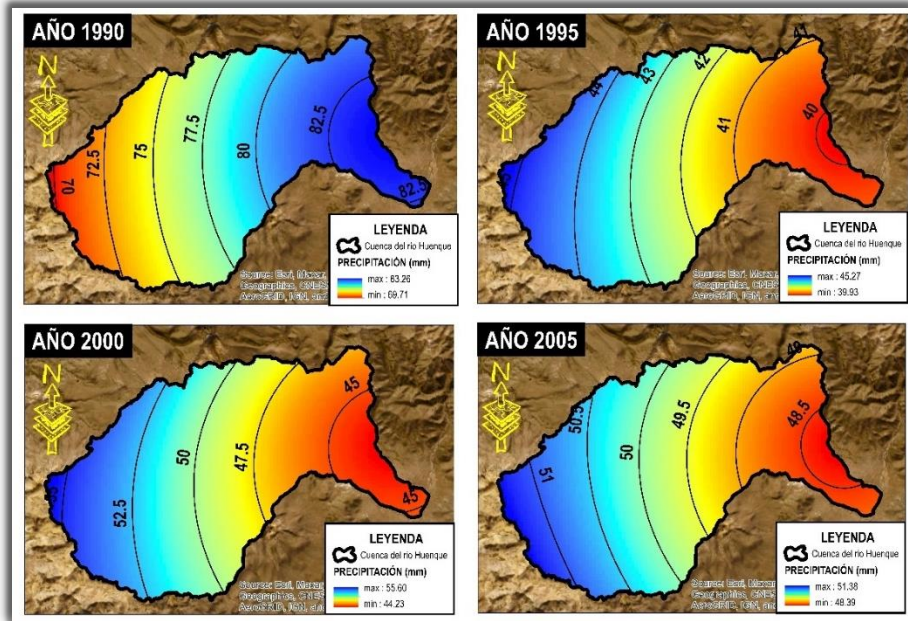
Análisis de consistencia de las variables climáticas						
Estación meteorológica		Mazocruz	Pampa Umalsu	Ichuña	Ilave	Juli
Datos dudosos	n1	48.00	36.00	36.00	72.00	48.00
	\bar{x}_1	18.02	11.01	15.78	16.46	15.43
	S1	1.33	6.52	1.41	0.94	1.51
	GL1	47.00	35.00	35.00	71.00	47.00
Datos confiables	N2	48.00	24.00	24.00	24.00	48.00
	X2	18.02	15.10	16.55	16.46	15.43
	S2	1.33	1.28	1.06	0.94	1.51
	GL2	47.00	23.00	23.00	23.00	47.00
Análisis de consistencia	Sp	1.33	5.13	1.28	0.94	1.51
	Sd	0.27	1.35	0.34	0.22	0.31
	Tc	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	Tt	1.99	1.99	1.99	1.99	1.99
	T de Sudent (Tc < Tt)	consistente	consistente	consistente	consistente	consistente
	Fc	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	Ft	1.62	1.93	1.93	1.85	1.62
F de Fisher (Fc > Ft)	consistente	consistente	consistente	consistente	consistente	

4.2.2. Datos climáticos de la cuenca del río Huenque

a) Precipitación

Figura 15

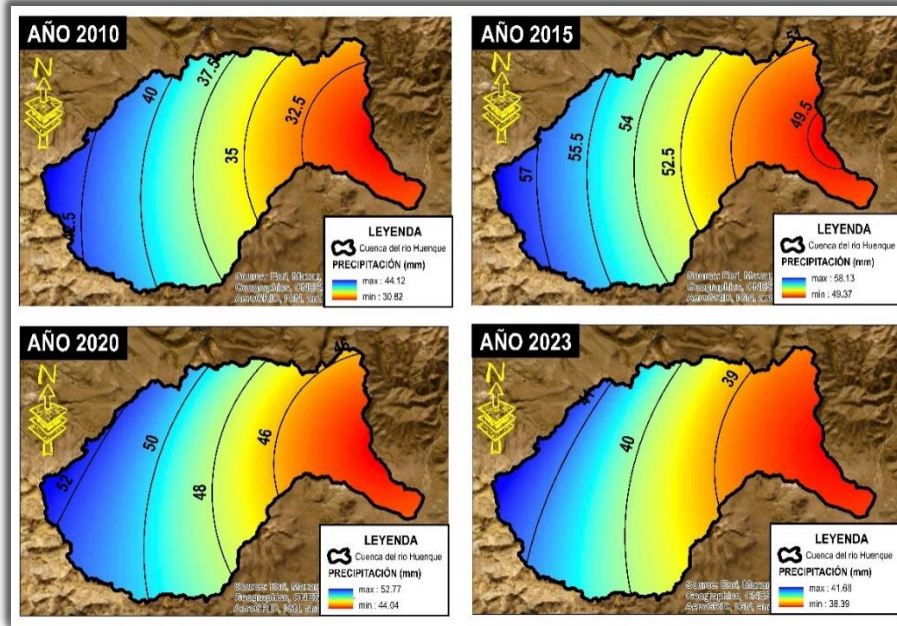
Precipitación en la cuenca del río Huenque (Periodo 1990 al 2005)



En la figura 15, se exhibe la precipitación en la cuenca del río Huenque en el periodo de 1990 al 2005; indicando que la precipitación al año 1990 fluctúa entre 69.71mm a 83.26mm; mientras que al año 1995 fluctúa entre 39.93mm a 45.27mm; así mismo al año 2000 fluctúa entre 44.23mm a 55.60mm; y al año 2005 fluctúa entre 48.39mm a 51.38mm, respectivamente.

Figura 16

Precipitación en la cuenca del río Huenque (Periodo 2010 al 2023)



En la figura 16, se exhibe la temperatura en la cuenca del río Huenque en el periodo de 2010 al 2023; indicando que la precipitación al año 2010 fluctúa entre 30.82mm a 44.12mm; mientras que al año 2015 fluctúa entre 49.37mm a 58.13mm; así mismo al año 2020 fluctúa entre 44.04mm a 52.77mm; y al año 2023 fluctúa entre 38.39mm a 41.68mm, respectivamente.

En la tabla 15 y figura 17, se aprecia el resumen de la precipitación en la cuenca del río Huenque – periodo 1990 al 2023; indicando que presentan una precipitación promedio de 37.47mm a 76.49mm; presentando una tendencia de decrecimiento de la precipitación para los periodos evaluados respectivamente.

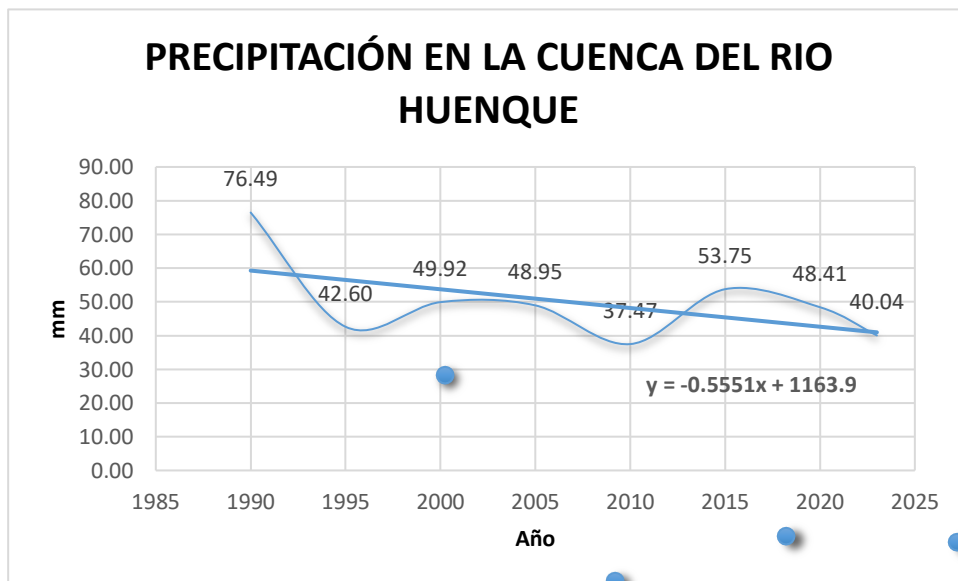
Tabla 15

Datos de precipitación de la cuenca del río Huenque – periodo 1990 al 2023

Precipitación (mm)			
Año	min.	máx.	media
1990	69.71	83.26	76.49
1995	39.93	45.27	42.60
2000	44.23	55.60	49.92
2005	46.52	51.38	48.95
2010	30.82	44.12	37.47
2015	49.37	58.13	53.75
2020	44.04	52.77	48.41
2023	38.39	41.68	40.04

Figura 17

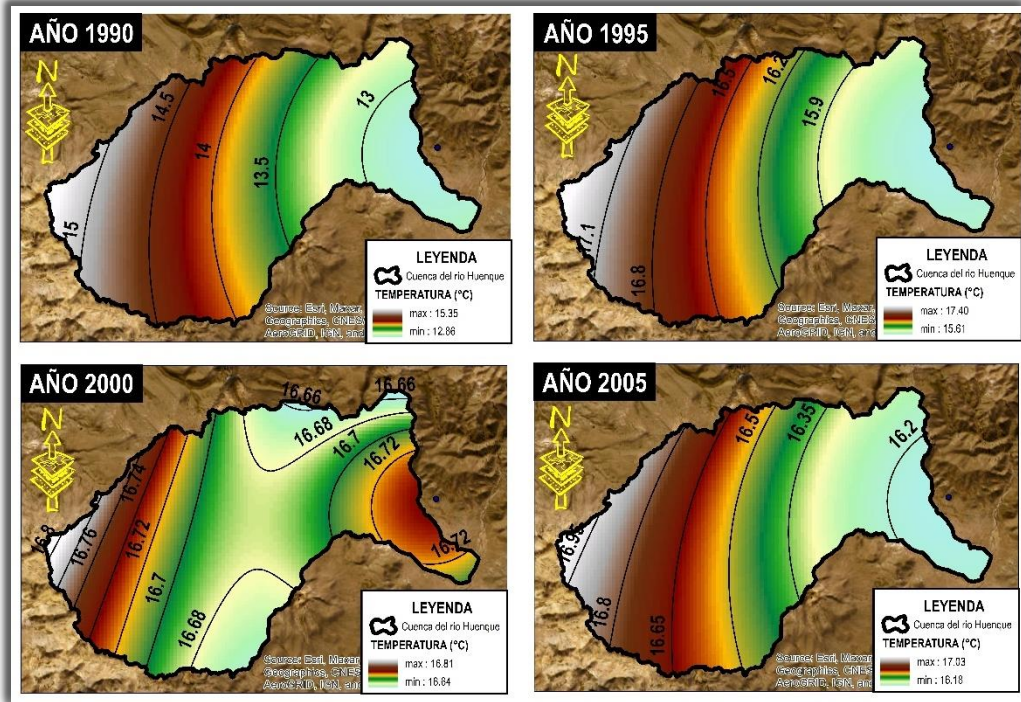
Datos de precipitación de la cuenca del río Huenque – periodo 1990 al 2023



b) Temperatura

Figura 18

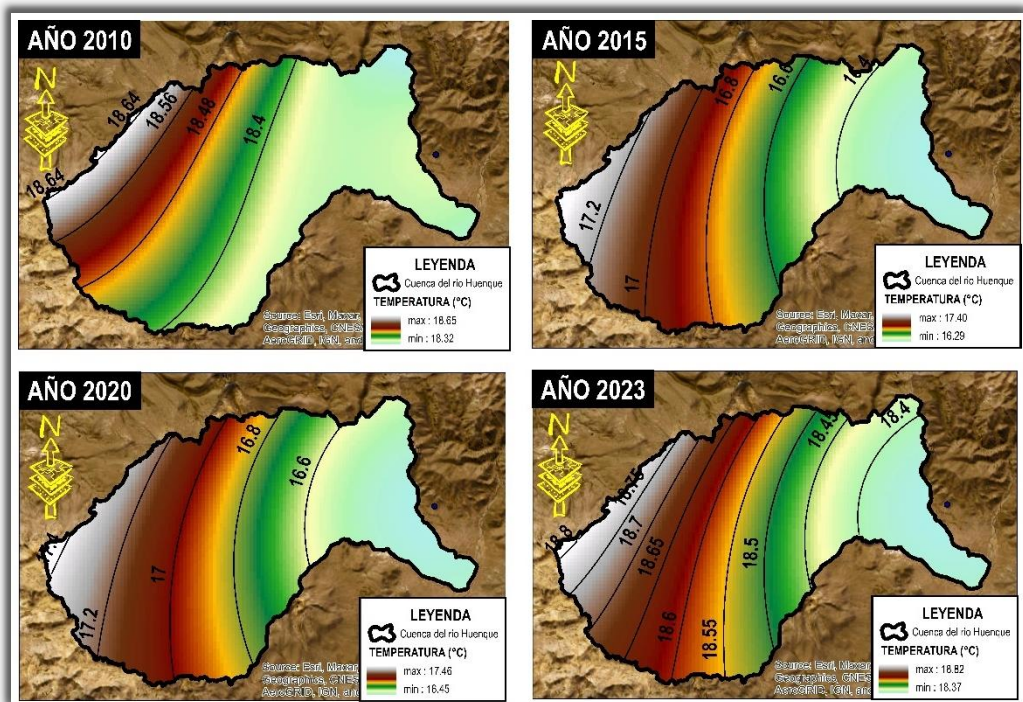
Temperatura en la cuenca del río Huenque (Periodo 1990 al 2005)



En la figura 18, se exhibe la temperatura en la cuenca del río Huenque en el periodo de 1990 al 2005; indicando que la temperatura al año 1990 fluctúa entre 12.86°C a 15.35°C ; mientras que al año 1995 fluctúa entre 15.61°C a 17.40°C ; así mismo al año 2000 fluctúa entre 16.81°C a 16.84°C ; y al año 2005 fluctúa entre 16.18°C a 17.03°C , respectivamente.

Figura 19

Temperatura en la cuenca del río Huenque (Periodo 2010 al 2023)



En la figura 19, se exhibe la temperatura en la cuenca del río Huenque en el periodo de 2010 al 2023; indicando que la temperatura al año 2010 fluctúa entre 18.32°C a 18.65°C ; mientras que al año 2015 fluctúa entre 16.29°C a 17.40°C ; así mismo al año 2020 fluctúa entre 16.45°C a 17.46°C ; y al año 2023 fluctúa entre 18.37°C a 18.82°C , respectivamente.

En la tabla 16 y figura 20, se aprecia el resumen de la temperatura en la cuenca del río Huenque – periodo 1990 al 2023; indicando que presentan una temperatura promedio de 14.11°C a 18.60°C ; presentando una tendencia de incremento de la temperatura para los periodos evaluados respectivamente.

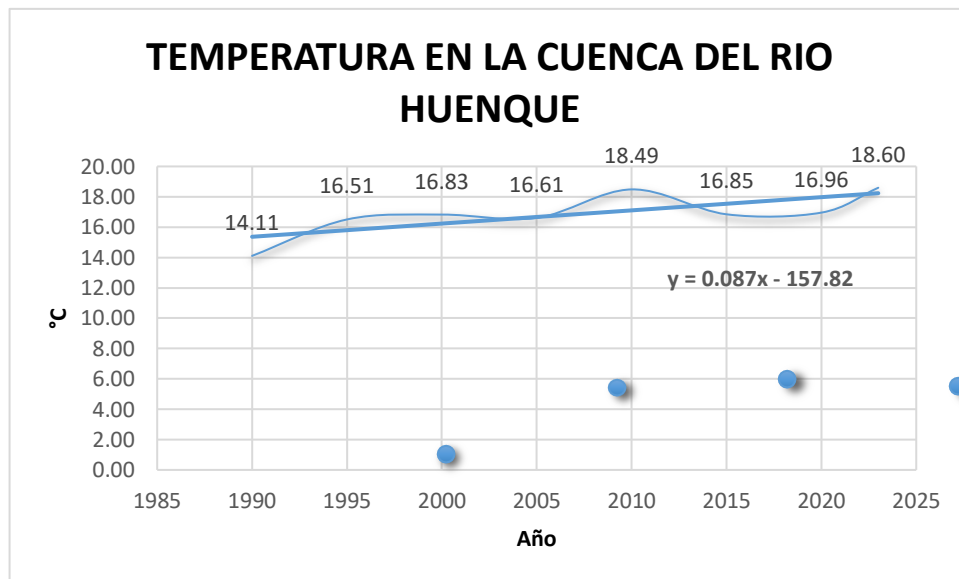
Tabla 16

Datos de temperatura de la cuenca del rio Huenque – periodo 1990 al 2023

Temperatura (°C)			
Año	min.	máx.	media
1990	12.86	15.35	14.11
1995	15.61	17.40	16.51
2000	16.81	16.84	16.83
2005	16.18	17.03	16.61
2010	18.32	18.65	18.49
2015	16.29	17.40	16.85
2020	16.45	17.46	16.96
2023	18.37	18.82	18.60

Figura 20

Datos de precipitación de la cuenca del rio Huenque – periodo 1990 al 2023



4.2.3. Correlación de las variables climáticas con respecto a la superficie de los bofedales

Las variables a considerar son las siguientes: **V. dependiente** superficie de los bofedales y la **V. independiente** las variables climáticas (precipitación y temperatura)

a) Prueba de normalidad - Shapiro Wilks

En la tabla 17, se muestra la prueba de normalidad para las variables de estudio, indicando que se empleó la prueba de normalidad de tipo Shapiro Wilks, el cual es aplicado para muestras temporales inferiores a 50; evidenciándose que todas las variables de estudio, las significancias superan el 0,05, al 95% de confianza, lo que indica presentan una distribución normal:

Tabla 17

Prueba de normalidad - Shapiro Wilks

Pruebas de normalidad Shapiro-Wilk			
	Estadístico	gl	Sig.
Bofedales vs	0,922	8	0,179
Temperatura -	0,954	8	0,560
Precipitación	0,854	8	0,085

Nota. Obtenido de la matriz de datos SPSS

a) Prueba de ANOVA

Una vez determinado la prueba de normalidad, se aplicó la prueba ANOVA de un factor para determinar la correlación de las variables climáticas (precipitación y temperatura); sobre los cambios con respecto a la superficie de los bofedales. Con relación a ello, la prueba de decisión indica que el p-value fue

inferior a 0,05, indicando la existencia de una correlación; caso contrario, reflejará la inexistencia de correlación de una variable sobre otra.

En la tabla 18, se aprecia la prueba de ANOVA entre la precipitación vs. Bofedales, evidenciándose que el nivel de significancia dio un valor 0,042 es menor a 0,05, el cual indica que la precipitación influye significativamente en las superficies de los bofedales de la cuenca del río Huenque.

Tabla 18

Prueba ANOVA precipitación vs. Bofedales

ANOVA					
	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	p-value
Entre grupos	26,929	8	8,976	2,952	0,042
Dentro de grupos	161,157	8	3,041		
Total	161,157	16			

Nota. Obtenido de la matriz de datos SPSS

En la tabla 19, se aprecia la prueba de ANOVA entre la temperatura vs. Bofedales, evidenciándose que el nivel de significancia dio un valor 0,019 es menor a 0,05, el cual indica que la temperatura influye significativamente en las superficies de los bofedales de la cuenca del río Huenque.

Tabla 19

Prueba ANOVA temperatura vs. Bofedales

ANOVA					
	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	p-value
Entre grupos	34,578	8	11,526	3,709	0,019
Dentro de grupos	136,748	8	3,108		
Total	171,326	16			

Nota. Obtenido de la matriz de datos SPSS



Dichos resultados con respecto a Justo (2023), presentan cierta coincidencia encontrando una dinámica de $0,067 \text{ km}^2/\text{año}$; de bofedales, siendo susceptibles a las fluctuaciones de temperatura y precipitación; donde la temperatura media ascendió a $0,053 \text{ }^\circ\text{C}/\text{año}$, pero las precipitaciones bajaron a $0,056 \text{ mm}/\text{año}$; demostrando en el ANOVA un valor p inferior a 0,05; donde la precipitaciones y la temperatura tuvieron un impacto significativo en la superficie de los bofedales; todo ello debido a que parece que hay menos agua disponible como resultado del incremento de las temperaturas en Huanza y la reducción de las precipitaciones; por lo tanto, se puede afirmar que los bofedales altoandinos de Huanza se ven afectados por la fluctuación del clima; Así mismo con respecto a Buitron (2020), los bofedales de la cuenca Chichlarazo están altamente influenciados por la precipitación acumulada, como lo demuestra la prueba estadística ANOVA. donde una de las variables clave que contribuyó a la disminución de 2022 hectáreas de 2656,28 fue el bajo nivel de precipitación; de igual manera con respecto a Javier *et al.*, (2021), encontrando que las variables (bofedales y precipitaciones) muestran una relación directa; también con respecto a Chanta (2019), encontró que los patrones de temperatura y el crecimiento del bofedal de Escotacay mostraron una tendencia a la baja en los datos examinados que afectan directamente a la expansión del bofedal de Escotacay. Se deduce que la cantidad de agua dada por la precipitación neta aumentará en los próximos años, lo que impactará positivamente en la expansión del bofedal de Escotacay; y finalmente Gutierrez (2018), donde la temperatura máxima es el componente climático que más afecta al comportamiento de los bofedales. Así lo indica la correlación, que es ($R^2 = 0,47$), lo que indica una asociación sustancial; Se encuentra que el área superficial de los bofedales se reduce o desaparece cuando aumenta la temperatura máxima anual, lo que sugiere que el cambio climático es sin duda las variables que inciden en la dinámica de los bofedales



4.3. ANALISIS Y EVALUACIÓN DEL ESTADO DE LOS BOFEDALES ALTOANDINOS PARA PROPONER ESTRATEGIAS DE CONSERVACIÓN DE BOFEDALES ALTOANDINOS QUE CONTRIBUYAN A SU PRESERVACIÓN Y LA SOSTENIBILIDAD EN LA CUENCA DEL RIO HUENQUE.

Para el análisis y la evaluación del estado de los bofedales, se tomó en consideración a 15 bofedales altoandinos de la cuenca del rio Huenque, principalmente las que presentan mayor extensión territorial.

En la tabla 20 y figura 21, se aprecia las coordenadas y extensión de los bofedales altoandinos de la cuenca del rio Huenque; indicando que el bofedal N° 1 presenta una extensión de 183.14Ha; además el bofedal N° 2 presenta una extensión de 248.89Ha; también el bofedal N° 3 presenta una extensión de 29.53Ha; de igual manera el bofedal N° 4 presenta una extensión de 398.26Ha; así mismo el bofedal N° 5 presenta una extensión de 120.39Ha; así también el bofedal N° 6 presenta una extensión de 61.47Ha; de igual forma el bofedal N° 7 presenta una extensión de 49.52Ha; como también el bofedal N° 8 presenta una extensión de 55.31Ha; además el bofedal N° 9 presenta una extensión de 306.6Ha; también el bofedal N° 10 presenta una extensión de 220.75Ha; de igual manera el bofedal N° 11 presenta una extensión de 143.35Ha; así mismo el bofedal N° 12 presenta una extensión de 49.67Ha; así también el bofedal N° 13 presenta una extensión de 55.188Ha; de igual forma el bofedal N° 14 presenta una extensión de 20.19Ha; y finalmente el bofedal N° 15 presenta una extensión de 23.26Ha

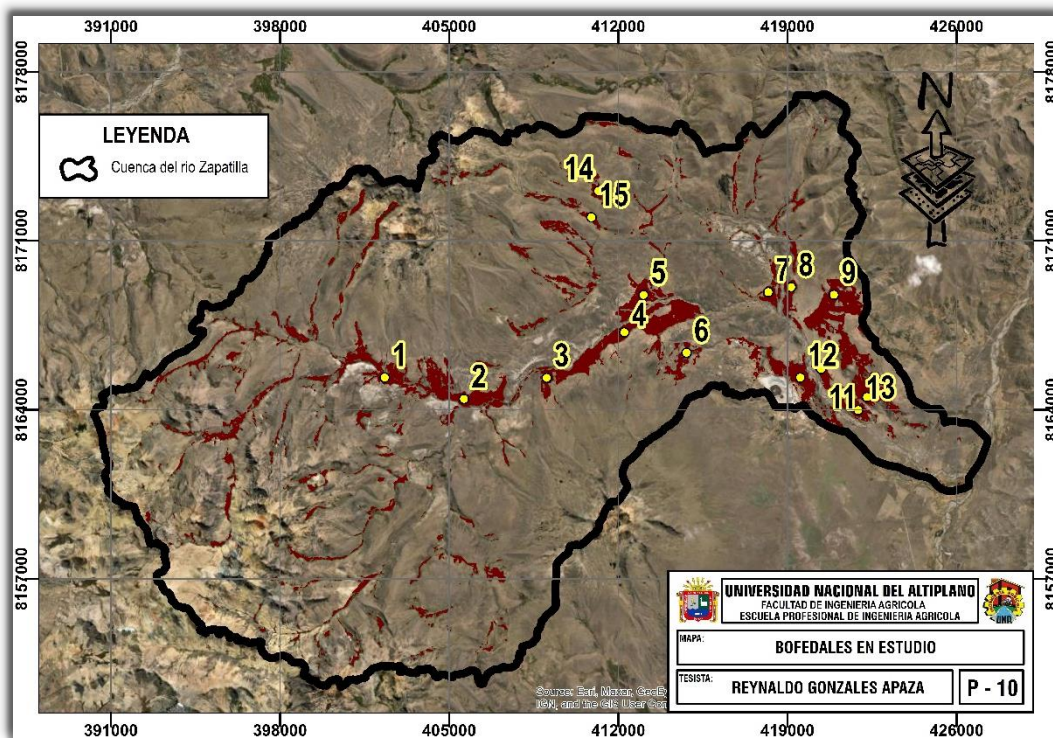
Tabla 20

Coordenadas y extensión de los bofedales altoandinos de la cuenca del río Huenque

N°	Coordenadas		Área del bofedal (Ha)
	Este	Sur	
1	402333.41	8165331.30	183.14
2	405612.21	8164443.29	248.89
3	409041.29	8165317.64	29.53
4	412251.79	8167202.95	398.26
5	413047.11	8168751.18	120.39
6	414824.73	8166356.37	61.47
7	418210.73	8168870.53	49.52
8	419153.82	8169073.94	55.31
9	420929.06	8168759.57	306.6
10	422293.93	8164522.80	220.75
11	420398.58	8165686.79	143.35
12	419534.67	8165330.47	49.67
13	421932.20	8163985.65	55.188
14	411178.36	8173055.77	20.19
15	410889.24	8171966.03	23.26

Figura 21

Bofedales altoandinos en estudio de la cuenca del río Huenque



4.3.1. Condición del agua

En la tabla 21, se aprecia la condición del agua de los bofedales en estudio de la cuenca del río Huenque; indicando que el atributo de la profundidad de la **napa freática en época seca**; para los bofedales 1, 2, 3, 6, 7, 8, 11, 12, 14 y 15 presentan valores de 20.5; por estar a una profundidad entre 5 a 20cm; mientras que los bofedales 4, 5, 9, 10, 13 presentan valores de 30.8; por estar a una profundidad entre 0 a 5cm; así mismo con respecto al atributo de **conductividad eléctrica**; todos los bofedales presentan valores de 8.8; por presentar una conductividad eléctrica entre 0 a 52 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Tabla 21

Condición de la biota de los bofedales en estudio

Condición del agua		
Bofedal	Napa freática en época seca (valor)	Conductividad eléctrica (valor)
1	20.5	8.8
2	20.5	8.8
3	20.5	8.8
4	30.8	8.8
5	30.8	8.8
6	20.5	8.8
7	20.5	8.8
8	20.5	8.8
9	30.8	8.8
10	30.8	8.8
11	20.5	8.8
12	20.5	8.8
13	30.8	8.8
14	20.5	8.8
15	20.5	8.8



4.3.2. Condición del suelo

En la tabla 22, se aprecia la condición del agua de los bofedales en estudio de la cuenca del río Huenque; indicando que el atributo de la **profundidad de la turba**; para los bofedales 1, 2, 3, 6, 7, 8, 9, 12, 14 y 15 presentan valores de 6.1; por estar a una profundidad entre 100 a 200cm; mientras que los bofedales 4, 5, 10, 11 y 13 presentan valores de 9.2; por estar a una profundidad mayor a 200cm; así mismo con respecto al atributo de **materia orgánica**; para los bofedales 1, 3, 6, 7, 8, 9, 12, 13 y 14 presentan valores de 3.0; por estar con un porcentaje de materia orgánica entre 37 a 55%; mientras que los bofedales 4, 5, 10, 11 presentan valores de 5.9; por estar con un porcentaje de materia orgánica entre 55 a 75%; y además los bofedales 2 y 15 presentan valores de 0; por estar con un porcentaje de materia orgánica menores al 37%; también con respecto al atributo de **densidad aparente**; para los bofedales 1, 2, 3, 6, 7, 8, 9, 12 y 15 presentan valores de 1.2; por estar en un rango de densidad aparente entre 0.3 a 0.9 g/cm³; mientras que los bofedales 5, 10, 11, 12 y 14 presentan valores de 2.3; por estar en un rango de densidad aparente entre 0.2 a 0.3 g/cm³; y además el bofedal 4 presenta un valor de 3.5 por estar en un rango de densidad aparente menor a 0.2 g/cm³; de igual forma con respecto al atributo de **signos de erosión**; para los bofedales 1, 2, 3, 6, 7, 8, 9, 14 y 15 presentan valores de 1.9; por presentar una erosión en menos del 25% del área; mientras que los bofedales 4, 5, 8, 9, 12, 14 y 15 presentan valores de 2.9; por presentar una erosión en menos del 10% del área; y además el bofedal 7 y 10 presentan un valor de 1.0 por presentar una erosión severa en el área.

Tabla 22*Condición del suelo de los bofedales en estudio*

Condición del suelo				
Bofedal	Profundidad de la turba (valor)	Materia orgánica (valor)	Densidad aparente (valor)	Signos de erosión (valor)
1	6.1	3.0	1.2	1.90
2	6.1	0.0	1.2	1.90
3	6.1	3.0	1.2	1.90
4	9.2	5.9	3.5	2.90
5	9.2	5.9	2.3	2.90
6	6.1	3.0	1.2	1.90
7	6.1	3.0	1.2	1.00
8	6.1	3.0	1.2	1.90
9	6.1	3.0	1.2	1.90
10	9.2	5.9	2.3	1.00
11	9.2	5.9	2.3	2.90
12	6.1	3.0	2.3	2.90
13	9.2	3.0	1.2	2.90
14	6.1	3.0	2.3	1.90
15	6.1	0.0	1.2	1.90

4.3.3. Condición de la biota

En la tabla 23, se aprecia la condición de la biota de los bofedales en estudio de la cuenca del río Huenque; indicando que el atributo de **especies nativas**; para los bofedales 1, 2, 3, 6, 8, 9, 12, 14 y 15 presentan valores de 5.8; por presentar un porcentaje entre 60 a 79% de especies nativas en el área; mientras que los bofedales 4, 5, 10, 11 y 13 presentan valores de 8.7; por presentar un porcentaje mayor al 79% de especies nativas en el área; también el bofedal 7 presenta el valor de 2.9; por presentar un porcentaje mayor al 31 a 60% de especies nativas en el área; así mismo con respecto al atributo de **riqueza de especies**; para los bofedales 1, 2, 6, 7, 9, 12, 14 y 15 presentan valores de 2.1; por presentar una cantidad de 8 a 10 especies vegetales en un transecto; mientras que los bofedales

3, 4, 5, 10, 11 presentan valores de 3.1; por presentar más de 10 especies vegetales en un transecto; y además los bofedales 8 y 10 presentan valores de 1; por presentar una cantidad de 5 a 7 especies vegetales; también con respecto al atributo de **cobertura vegetal**; para los bofedales 1, 2, 4, 6, 7, 8, 9, 10, 12, 13, 14 y 15 presentan valores de 2; por presentar un porcentaje de 89 a 98% de cobertura vegetal; y además el bofedal 3, 5 y 11 presentan un valor de 3.0 por presentar un porcentaje del 100% de cobertura vegetal; de igual forma con respecto al atributo de biomasa; para los bofedales 1, 2, 3, 6, 7, 8, 9, 12, 13, 14 y 15 presentan valores de 3.4; por presentar una biomasa 650 a 999 kg MS/ha; mientras que los bofedales 4, 5, 10, y 11 presentan valores de 5.1; por presentar una biomasa mayor a 999 kg MS/ha.

Tabla 23*Condición de la biota de los bofedales en estudio*

Condición de la biota				
Bofedal	Especies nativas (valor)	Riqueza de especies (valor)	Cobertura vegetal (valor)	Biomasa (valor)
1	5.8	2.1	2.0	3.4
2	5.8	2.1	2.0	3.4
3	5.8	3.1	3.0	3.4
4	8.7	3.1	2.0	5.1
5	8.7	3.1	3.0	5.1
6	5.8	2.1	2.0	3.4
7	2.9	2.1	2.0	3.4
8	5.8	1.0	2.0	3.4
9	5.8	2.1	2.0	3.4
10	8.7	3.1	2.0	5.1
11	8.7	3.1	3.0	5.1
12	5.8	2.1	2.0	3.4
13	8.7	1.1	2.0	3.4
14	5.8	2.1	2.0	3.4
15	5.8	2.1	2.0	3.4

4.3.4. Alteraciones del paisaje

En la tabla 24, se aprecia la alteración del paisaje de los bofedales en estudio de la cuenca del río Huenque; indicando que el atributo de **presencia de factores de degradación**; para la totalidad de bofedales en estudio presentan valores de 5.3; por presentar factores de degradación en baja abundancia e intensidad; así mismo con respecto al atributo de **conectividad hidrológica**; para los bofedales 1, 2, 3, 6, 7, 8, 9, 12, 14 y 15 presentan valores de 5.3; por presentar carreteras o infraestructura que está cambiando la permeabilidad del agua hacia el bofedal y/o contaminantes en las partes altas de la quebrada; mientras que los bofedales 4, 5, 10, 11 y 13 presentan valores de 8.0; porque no se ha encontrado ningún problema o alteración en la fuentes de agua que alimentan directamente el bofedal.

Tabla 24

Alteración del paisaje de los bofedales en estudio

Alteración del paisaje		
Bofedal	Presencia de factores de degradación	Conectividad hidrológica
1	5.30	5.30
2	5.30	5.30
3	5.30	5.30
4	5.30	8.00
5	5.30	8.00
6	5.30	5.30
7	5.30	5.30
8	5.30	5.30
9	5.30	5.30
10	5.30	8.00
11	5.30	8.00
12	5.30	5.30
13	5.30	8.00
14	5.30	5.30
15	5.30	5.30

4.3.5. Estado de los bofedales altoandinos de la cuenca del río Huenque

En la tabla 25, se aprecia el estado de los bofedales de la cuenca del río Huenque, indicando que el bofedal 1, 2, 3, 6, 7, 8, 9, 12, 14, y 15 están en un estado bueno, mientras que el bofedal 4, 5, 10, 11, 13 se encuentran en un estado muy bueno respectivamente.

Tabla 25

Estado de los bofedales en estudio

Estado del bofedal	
Bofedal	Presencia de factores de degradación
1	Bueno
2	Bueno
3	Bueno
4	Muy bueno
5	Muy bueno
6	Bueno
7	Bueno
8	Bueno
9	Bueno
10	Muy bueno
11	Muy bueno
12	Bueno
13	Muy bueno
14	Bueno
15	Bueno

4.3.6. Estrategias de conservación de bofedales altoandinos que contribuyan a su preservación y la sostenibilidad

a) Zanjas de infiltración

- Pendiente de cada zanja



Las zanjas de infiltración deben tener una pendiente de 1% hasta 2 % adecuándose a la topografía del terreno; ante ello para el presente estudio se asume una pendiente de 1.00%.

- **Distanciamiento entre zanjas**

La pendiente del terreno en las partes altas u nacimiento del río principal de la cuenca del río Huenque, está dado a un 5% aproximadamente y según los criterios del MINAGRI (2014), para este tipo de pendiente con cobertura vegetal le corresponde un distanciamiento entre zanjas de 2.00 metros.

- **Ancho de base y profundidad de la zanja de infiltración**

Según las recomendaciones de Mamani (2023), para el tipo de suelo del altiplano puneño, establece que el ancho de base será de 0.5 m con una profundidad de 0.40m para la zanja de infiltración; por ello se asume dichos datos para el presente estudio.

- **Cálculo del distanciamiento entre zanjas**

$$d = b + e$$

Donde:

b: base (0.50m)

e: espaciamiento (2.00m; según pendiente de terreno)

Reemplazando:

$$d = 0.50 + 2.00$$

$$d = 2.50m$$



El distanciamiento de cada lateral de las zanjas estará dado por 2.50m para la cuenca del río Huenque.

- **Cálculo de la superficie de captación**

$$S = l * d$$

Donde:

l: Largo (5.00m según MINAGRI)

d: Distanciamiento

Reemplazando:

$$S = 5.00 * 2.50$$

$$S = 12.50 \text{ m}^2$$

La superficie de captación de las aguas de lluvia estará dada en un área aproximada de 12.50m² para cada zanja de infiltración propuesta.

- **Coefficiente de escorrentía**

Según Tabla de Ven TE Chow, Hidrología Aplicada, en suelos con una pendiente mayor a 7% y precipitaciones de 150mm a 200mm el coeficiente de escorrentía “e” es igual a **0.5**.

- **Determinación del volumen de aportación a la zona de impluvio**

$$V_{ai} = P * S * e$$

Donde:

P: Precipitación (190.36mm de precipitación máxima en un mes según la modelación en el área en estudio o 0.190)



S: Superficie de captación

e: Coeficiente de escorrentía

Reemplazando:

$$V_{ai} = 0.190 * 12.50 * 0.5$$

$$V_{ai} = \mathbf{1.19\ m^2}$$

El volumen de aportación a la zona de impluvio es de 1.19m² para la cuenca del rio Huenque.

- **Determinación del volumen de captura – zona de zanjas (m³)**

$$V_{cz} = b * h * l$$

Donde:

b: base de la zanja (0.50m)

h: altura de la zanja (0.40m)

l: largo de la zanja (5.00m)

Reemplazando:

$$V_{cz} = 0.50 * 0.40 * 5.00$$

$$V_{cz} = \mathbf{1\ m^3}$$

El volumen de captura de agua estará dado en un volumen de 1m³ para cada zanja de infiltración.

- **Determinación de la infiltración de la zanja (m²/hr)**

$$V_{in} = b * v * l$$

Donde:

b: base de la zanja (0.50m)



v : velocidad de infiltración de la zanja (0.08m/h)

l : largo de la zanja (5.00m)

Reemplazando:

$$V_{in} = 0.50 * 0.08 * 5.00$$

$$V_{in} = \mathbf{0.2m3/hora}$$

La infiltración de la zanja estará dada a un tiempo de 0.2m3/hora para la cuenca del rio Huenque.

- **Verificación del diseño de la zanja de infiltración**

$$V_{ai} \leq V_{cz} + V_{in}$$

Verificando:

$$1.19 \leq 1.00 + 0.20$$

$$\mathbf{1.19 \leq 1.20}$$

Indicando que si cumple la condición para la construcción de la zanja de infiltración con estos datos.

- **Distanciamiento corregido entre zanjas**

$$d = \frac{b * (h + v)}{P * e}$$

Corrección:

$$d = \frac{0.5 * (0.4 + 0.08)}{0.158 * 0.60}$$

$$\mathbf{d = 12.53m}$$



El distanciamiento corregido entre zanjas estará dado a una distancia de 13 metros.

b) Forestación con especies nativas

Se plantea la forestación en las partes altas de la cuenca el río Huenque con especies nativas como es la Queñua, Colle y Tola; endémicas del altiplano puneño; ya que prosperan en dichas condiciones climáticas; las cuales ayudaran a la restauración de suelos dañados, mejoraran la infiltración del suelo, mejoraran la disponibilidad hídrica y disminuirán significativamente la escorrentía superficial.

Dichos resultados con respecto a Flores (2017), presentan cierta coincidencia, encontrando que los bofedales en la Reserva de Producción de Fauna Chimborazo, a través del tratamiento de imágenes satelitales Landsat; presentan una tasa de decrecimiento; pronosticado en los 16 años, por ello dicho ecosistema presenta un estado crítico, que requiere ser preservado; por los muchos servicios ecosistémicos que ofrece; así mismo con respecto al estudio realizado por Gózar (2024), presentan cierta similitud, encontrando que el estado de los bofedales alto andinos en la cuenca Cochabamba, este de ser vegetación sana (año 2002) a una vegetación marchita (año 2023), evidenciándose que se está desarrollando un cambio de cobertura de bofedal a morrenas con parches de pajonal respectivamente.

Además, según Mamani (2023), presentan cierta coincidencia al presente estudio, por que propuso el diseño e implementación de zanjas de infiltración para prevenir mejorar la disponibilidad hídrica en condiciones del altiplano puneño; y con ello mantener los ecosistemas que son dependientes de los recursos hídricos.



V. CONCLUSIONES

PRIMERA: Según los resultados se concluye que la extensión de los bofedales altoandinos empleando imágenes satelitales en la cuenca del río Huenque, al año 1990 es de 45.49km²; también al año 1995 es de 36.86km²; así mismo al año 2000 es de 27.56km²; de igual manera al año 2005 es de 39.81km²; también al año 2010 es de 32.82km²; así también al año 2015 es de 40.93km²; además al año 2020 es de 38.16km²; y finalmente al año 2024 es de 37.87km²; presentando una dinámica de cambio del -0.5224%.

SEGUNDA: Según los resultados se concluye que existe una tendencia de decrecimiento de la precipitación y un aumento de la temperatura en la cuenca del río Huenque; existiendo una correlación significativa en donde las variables climáticas (precipitación y temperatura) influyen en la superficie de los bofedales de la cuenca del río Huenque por presentar un nivel de significancia menor a 0,05.

TERCERA: Según los resultados se concluye que la mayor parte de los bofedales en estudio de la cuenca del río Huenque se encuentran en un estado de conservación bueno; y en menor proporción en un estado muy bueno; todo ello debido principalmente a que presenta pequeños signos de erosión, ganadería, a la variabilidad climática y a los factores antrópicos.



VI. RECOMENDACIONES

- PRIMERA:** Se recomienda realizar estudios para de delimitación de los bofedales que se presentan en las cuencas de la región y del país y que por sus características son difíciles de zonificar, por ende, también divulgar la ejecución de planes de conservación.
- SEGUNDA:** Se recomienda a las autoridades municipales implementar las estrategias de conservación de bofedales altoandinos propuestos (zanjas de infiltración y reforestación con especies nativas) las cuales ayudaran a su preservación y la sostenibilidad en la cuenca del rio huenque
- TERCERA:** Se recomienda utilizar los resultados de esta investigación como base para estudios posteriores que tengan como objetivo el estudio de los bofedales de las cuencas del país y de la región, teniendo en cuenta las evidencias científicas y el uso de la teledetección y los SIG mediante el procesamiento de datos raster y vectoriales. Adicionalmente, se prevé que otros investigadores complementen este documento con sus investigaciones y que sirva como punto de partida.
- CUARTA:** Se recomienda proseguir con la investigación utilizando métodos de teledetección para identificar posibles estados futuros que nos ayuden a gestionar adecuadamente la ecología de los bofedales altoandinos.



VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguilar, H., Mora, R., & Vargas, C. (2014). Metodología para la corrección atmosférica de imágenes Aster, RapidEye, Spot 2 y Landsat 8 con el módulo FLAASH del software ENVI. *Revista Geográfica de América Centra*, 39-59.
- Álvarez, M. (2018). *Variación de la cobertura vegetal en el parque nacional Machalilla, mediante la evaluación de índices de vegetación, provincia de Manabí*. Guayaquil: Universidad de Guayaquil.
- Aquino, W., Condo, F., Romero, J., & Illaconza, R. (2018). Composición florística del distrito de Huarochirí, provincia de Huarochirí (Lima, Perú). *Arnaldoa*, 877 - 922.
- Araque, M., Váconez, M., Manchero, A., Álvarez, C., Prehn, C., Cevallos, C., & Ortiz. (2019). *Cuencas Hidrográficas*. Quito.
- Aybar, C., Lavado, W., Huerta, A., Fernández, C., Vega, F., Sabino, E., & Felipe, O. (2017). *Uso del Producto Grillado PISCO de precipitación en Estudios, Investigaciones y Sistemas Operacionales de Monitoreo y Pronóstico*. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.12542/260>
- Buitron, L. (2020). *Influencia de la variabilidad climática en la dinámica espacio temporal de los bofedales altoandinos en la microcuenca Chicllarazo, periodo 1988- 2022*. Lima: Universidad Privada del Norte.
- Cabrera, E., & Vega, J. (2022). *Análisis del retroceso glaciar en los andes del norte del Ecuador durante un período de 30 años empleando teledetección*. Ibarra: Universida Tecnica del Norte.



- Castro, J. (2021). *Variación de cobertura vegetal de los bofedales en los centros poblados de Tinyaclla y Pueblo Libre en los años 2016-2018-Huancavelica*. Huancavelica: Universidad Nacional de Huancavelica.
- Castro, J. (2021). *Variación de cobertura vegetal de los bofedales en los centros poblados de Tinyaclla y Pueblo Libre en los años 2016-2018-Huancavelica*. Huancavelica: Universidad Nacional de Huancavelica.
- Cervantes, R., Sánchez, J., Alegre, J., Rendón, E., Baiker, J., Locatelli, B., & Bonnesoeur, J. (2021). Contribución de los ecosistemas altoandinos en la provisión del servicio ecosistémico de regulación hídrica. *Ecología Aplicada*, 137 - 146.
- Chanta, C. (2019). *Escenarios climáticos y su influencia en la extensión del bofedal Escotacay al 2030, Huaros - Canta*. Lima: Universidad Cesar Vallejo.
- D.S. N° 006-2021-MINAM. (2021). *Aprueban las Disposiciones generales para la gestión multisectorial y descentralizada de los humedales*. Lima: Ministerior del Ambiente.
- Díaz, P. (2015). *Caracterización ecológica de los Bofedales, como hábitat vital de las vicuñas en la Reserva de Producción de Fauna Chimborazo con la aplicación de herramientas de SIG y Teledetección*. Quito: Universidad de Chimborazo.
- Flores, V. (2017). *Predicción de bofedales en la reserva de producción de fauna chimborazo a través del tratamiento de imágenes satelitales*. Riobamba: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.



- Flores, V. (2017). *Predicción de bofedales en la reserva de producción de fauna Chimborazo a través del tratamiento de imágenes satelitales*. Riobamba: Escuela Superior Politecnica del Chimborazo.
- Funes, M., & Laura, F. (2017). *Análisis del cambio multitemporal en los bofedales de la subcuenca peñas, con técnicas de percepción remota*. La Paz, Bolivia: Universidad Mayor de San Andrés.
- Gonzales, V., & Alejo, R. (2008). *Desarrollo de cuencas de alta montaña*.
- Gózar, S. (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*. Lima: Universidad Nacional Mayor de San Marcos .
- Granada, N., & Olave, J. (2023). *Análisis multitemporal de cambios en la cobertura vegetal y en el espejo de agua del Humedal Laguna de la Herrera entre 1962, 2019 y 2023*. Bogotá: Universidad Antonio Nariño.
- Gutierrez, Y. (2018). *Determinación de la dinámica espacial de bofedales mediante imágenes satelitales landsat frente a escenarios del cambio climático en la cuenca del río coata durante el período de 1984-2016*. Puno: Universidad Nacional del Altiplano de Puno.
- Hernández, R., & Mendoza, C. (2018). *Metodología de la investigación Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*. Mexico: Mc Graw Hill Education.



- Imbaquingo, J. (2021). *Monitoreo de bofedales en la subcuenca del río Chambo mediante el análisis multicriterio usando imágenes satelitales landsat 8 para el periodo 2013-2020*. Riobamba: Escuela superior politecnica de chimborazo.
- Imbaquingo, J. (2021). *Monitoreo de bofedales en la subcuenca del río Chambo mediante el análisis multicriterio usando imágenes satelitales Landsat 8 para el periodo 2013-2020*. Riobamba : Escuela Superior Politecnica del Chimborazo .
- IPCC. (2022). *Climate Change. Impacts, adaptation and vulnerability. Summary for Policymakers*. Obtenido de https://report.ipcc.ch/ar6/wg2/IPCC_AR6_WGII_FullReport.pdf
- Jara, C. (2019). Estudio de bofedales en los Andes ecuatorianos a través de la comparación de imágenes Landsat-8 y Sentinel-2. *Revista de Teledetección*, 45 - 57.
- Javier, L., Portal, E., & Alcantara, F. (2021). Evaluación de la cobertura vegetal en bofedales altoandinos en función de la napa freática y precipitación utilizando imágenes de satélite. *Universidad Nacional Mayor de San Marcos*, 1 - 8.
- Justo, L. (2023). *Influencia de la precipitación y la temperatura sobre la variabilidad espacio temporal de las superficies de los bofedales de Huanza, Huarochiri durante el período 1986-2022*. Lima: Universidad Privada del Norte.
- Lacho, R. (2018). *Análisis multitemporal de las variaciones superficiales de glaciares y bofedales debido a la precipitación en la cuenca Callancocha en el departamento de Huancavelica*. Huancayo: Universidad Alas Peruanas.



- Lacho, R. (2018). *Análisis multitemporal de las variaciones superficiales de glaciares y bofedales debido a la precipitación en la cuenca Callancocha en el departamento de Huancavelica desde 1988 al 2017*. Huancayo: Universidad Alas Peruanas.
- Lange, G. (2018). *Análisis multitemporal de la deforestación y cambio de la cobertura del suelo de la ciudad de puerto Ayora – Santa Cruz mediante el uso de la teledetección y sistemas de información geográfica*. Guayaquil: Universidad de Guayaquil.
- Maldonado, M. (2019). *Bofedales: Extracción de Turba y su Implicancia frente al Cambio Climático*. Lima, Perú. .
- Mamani, F. (2023). *Evaluación de la disponibilidad hídrica bajo las condiciones de cambio climático y propuesta de mejora hídrica en la microcuenca Huenque – Ilave*. Puno: Universidad Nacional del Altiplano.
- Mamani, W., & Cuba, D. (2019). *Bases teóricas para operatividad del sistema de bombeo de abastecimiento de agua potable con suministro de energía fotovoltaica en Collana-Taraco-Huancane-Puno-2019*. Trujillo: Universidad Privada de Trujillo.
- MINAM. (2019). *Guía de evaluación del estado del ecosistema bofedal* . Lima: Ministerio del Ambiente.
- MINAM. (03 de Marzo de 2022). *Estrategia Nacional de Humedales*. Obtenido de <https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2015/01/Anexo-Decreto-Supremo-N%C2%B0-004-2015>



- NASA. (2022). Dióxido de carbono. Signos Vitales – Cambio Climático: Signos Vitales del Planeta. *Global Climate Change*.
- NASA. (2022). *Los efectos del cambio climático – Cambio Climático: Signos Vitales del Planeta*. Lima: Global Climate Change. Obtenido de <https://climate.nasa.gov/efectos/>
- Rana, G., Shua, S., Nazc, I., Abdul, A., Javidd, K., Mustafa, F., & Aeman, H. (2024). Monitoreo del cambio de uso de la tierra en los lagos de humedales Uchhali y Khabeki, Pakistán, utilizando datos de teledetección. *Investigación de Gondwana*, 252 - 267.
- Subia, Y. (2020). Multitemporal analysis of vegetation cover and land use change in Bahuaja Sonene national park and its buffer zone. *Uniciencia*, 1 - 10.
- Tafur, M. (2017). *Variación de la cobertura vegetal boscosa del santuario histórico bosque de Pomac - Shbp, del año 2008 al año 2015*. Lambayeque: Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo.
- Toribio, S. (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*. Huancayo: Universidad Continental.
- Toribio, S. (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. Huancayo:
Universidad continental.

USGS. (2022). *Landsat 9 Data Users Handbook*. Obtenido de https://d9-wret.s3.us-west-2.amazonaws.com/assets/palladium/production/s3fs-public/media/files/LSDS_2082_L9-Data-Users-Handbook_v1.pdf

USGS/NASA. (25 de septiembre de 2017). *Servicio Geológico de los Estados Unidos*.
Obtenido de <https://earthexplorer.usgs.gov/>

Valeria, F. (2017). *Predicción de bofedales en la Reserva de Producción de Fauna Chimborazo a través del tratamiento de imágenes satelitales*. Chimborazo:
Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Velásquez, P., & Pérez, M. (2022). Análisis de la dinámica espaciotemporal de humedales tropicales a través de imágenes SAR Sentinel-1: Caso de estudio en Colombia. *Universidad Complutense de Madrid*, 1 - 34.

Veneros, J., García, L., Morales, E., Gómez, V., Torres, M., & López, F. (2020). Aplicación de sensores remotos para el análisis de cobertura vegetal y cuerpos de agua. *IDESA*, 99-107.

Villón, M. (2005). *Hidrología estadística*. Lima-Peru: Instituto Tecnológico de Costa Rica - Escuela de ingeniería Agrícola.

Wang, M., Mao, D., Wang, Y., Li, H., Zheng, J., Xiang, H., . . . Zongming, K. (2024). Cambios interanuales de los humedales urbanos en las principales ciudades de China de 1985 a 2022. *Revista ISPRS de fotogrametría y teledetección*, 383 - 397.



- Albarracin, M., Ramon, G., Gonzales, J., Iñiguez, C., Zakaluk, T., & Rosillo, S. (2021). The Ecohydrological Approach in Water Sowing and Harvesting Systems: The Case of the Paltas Catacocha Ecohydrology Demonstration Site, Ecuador. *Ecohydrology & Hydrobiology*, 1-13.
- Bonnesoeur, V., Locatelli, B., Guariguata, M. R., Ochoa-Tocachi, B. F., Vanacker, V., Mao, Z., ... & Mathez-Stiefel, S. L. (2019). Impacts of forests and forestation on hydrological services in the Andes: A systematic review. *Forest Ecology and Management*, 433, 569-584.
- Cassin, J., & Ochoa-Tocachi, B. F. (2021). Learning from indigenous and local knowledge: the deep history of nature-based solutions. In *Nature-based solutions and water security* (pp. 283-335). Elsevier.
- Cervantes, R., Sánchez, J. M., Alegre, J., Rendón, E., Baiker, J. R., Locatelli, B., & Bonnesoeur, V. (2021). Contribución de los ecosistemas altoandinos en la provisión del servicio ecosistémico de regulación hídrica. *Ecología Aplicada*, 20(2), 137-146.
- Locatelli, B., Homberger, J., Tocachi, B., Bonnesoeur, R., Drenkhan, F., & Buytaert, W. (2020). Impactos de las zanjas de infiltración en el agua y los suelos: ¿Qué sabemos? *Hal open science*, 1-17.
- Monge-Salazar, M. J., Tovar, C., Cuadros-Adriazola, J., Baiker, J. R., Montesinos-Tubée, D. B., Bonnesoeur, V., ... & Buytaert, W. (2022). Ecohydrology and ecosystem services of a natural and an artificial bofedal wetland in the central Andes. *Science of The Total Environment*, 838, 155968.



- Ochoa-Tocachi, B. F., Bardales, J. D., Antiporta, J., Pérez, K., Acosta, L., Mao, F., ... & Buytaert, W. (2019). Potential contributions of pre-Inca infiltration infrastructure to Andean water security. *Nature Sustainability*, 2(7), 584-593.
- Ochoa-Tocachi, B. F., Buytaert, W., Antiporta, J., Acosta, L., Bardales, J. D., Célleri, R., ... & De Bièvre, B. (2018). High-resolution hydrometeorological data from a network of headwater catchments in the tropical Andes. *Scientific data*, 5(1), 1-16.
- Somers, L., Mckenzie, J., Zipper, S., Mark, B., Lagos, P., & Baraer, M. (2018). Does hillslope trenching enhance groundwater recharge and baseflow in the Peruvian Andes? *Special Issue Canadian Geophysical Union 2018*, 1-14.
- Villar Acevedo, F. J. (2023). Desarrollo de un sistema de monitoreo para la evaluación de bofedales por medio de la observación terrestre. Universidad de Tecnología e Ingeniería.

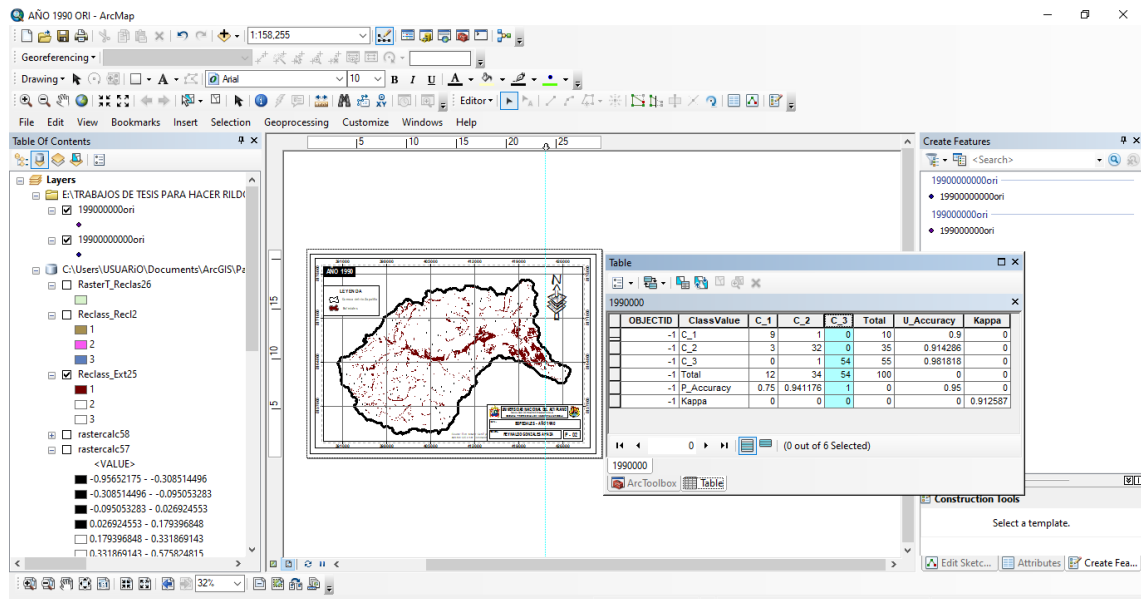


ANEXOS

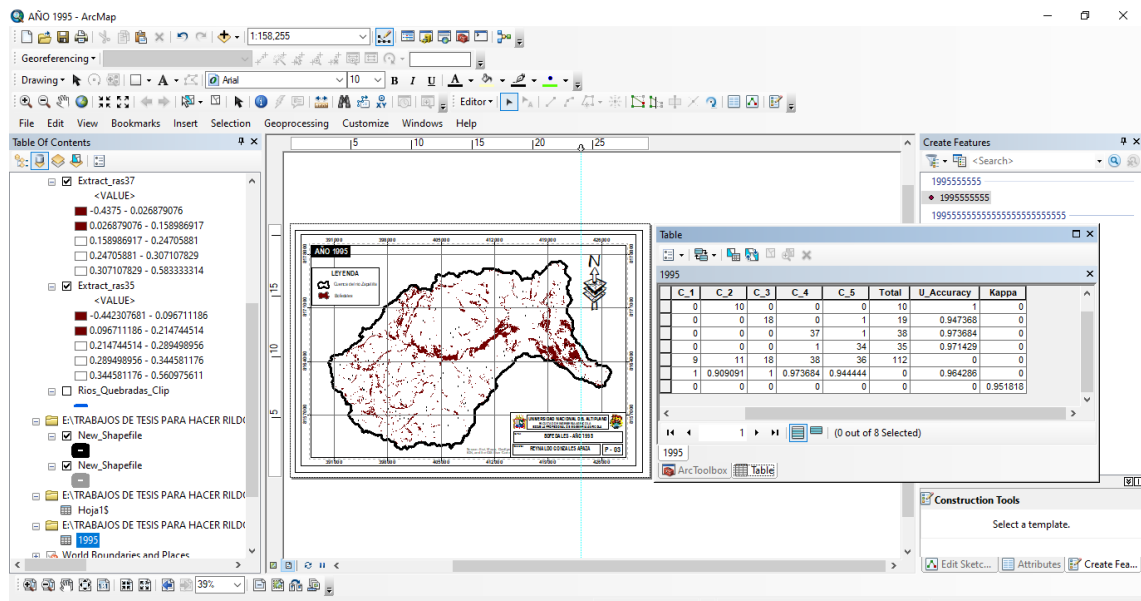


de conservación de bofedales altoandinos que contribuyan a su preservación y la sostenibilidad en la cuenca del río Huenque?	de conservación de bofedales altoandinos que contribuyan a su preservación y la sostenibilidad en la cuenca del río Huenque	estrategias de conservación de bofedales altoandinos que contribuyan a su preservación y la sostenibilidad en la cuenca del río Huenque	Estrategias de conservación de bofedales	Forestación	---	---
--	---	---	--	-------------	-----	-----

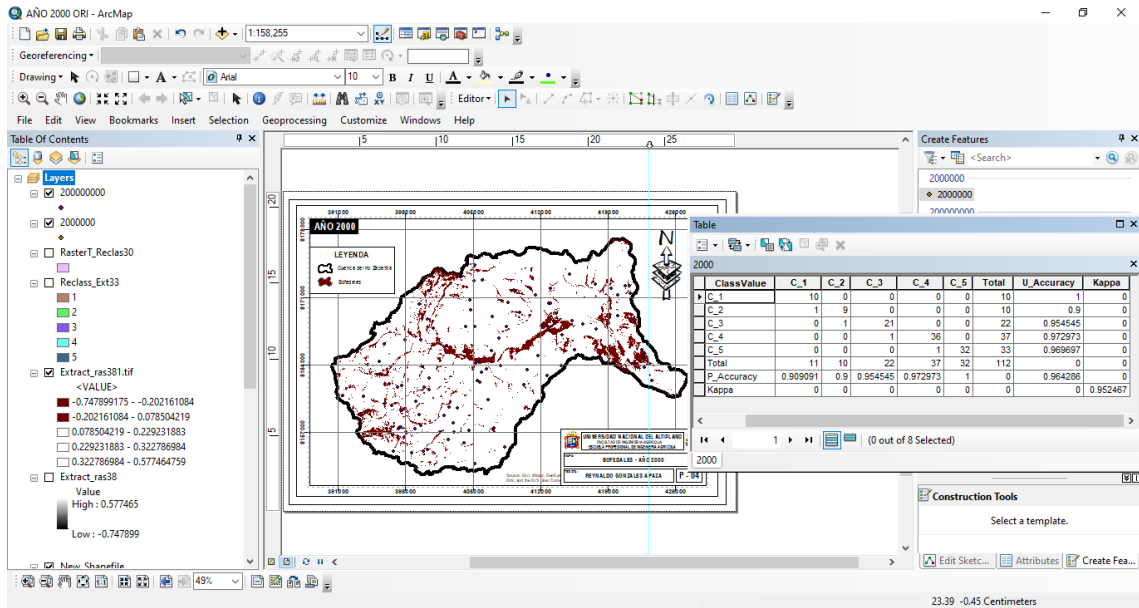
ANEXO 2. Índice kappa de los bofedales de la cuenca del río Huenque



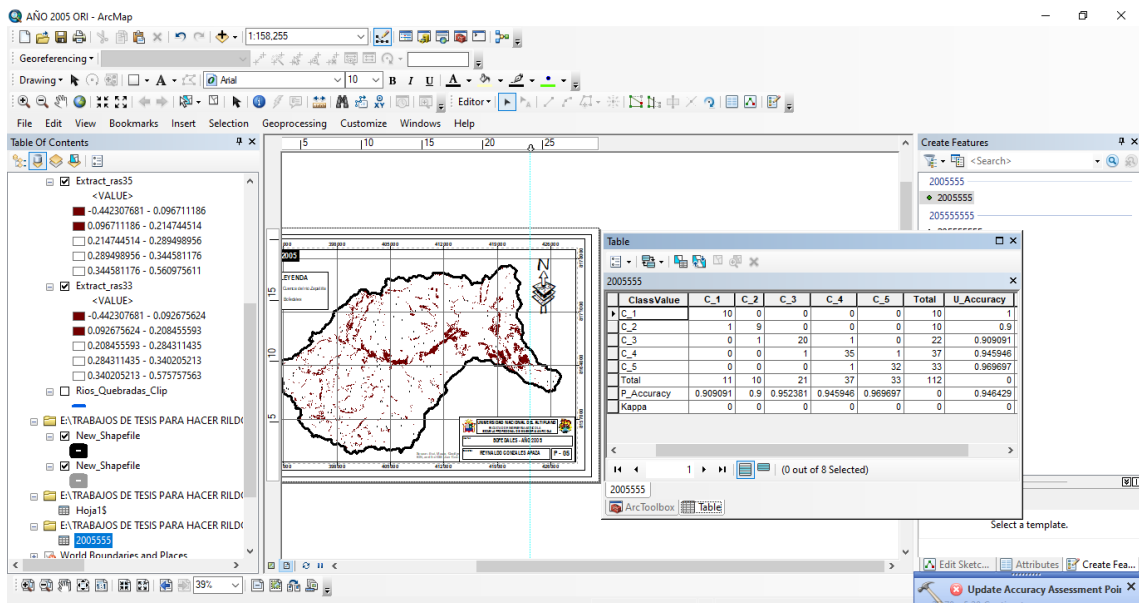
Nota. Año 1990



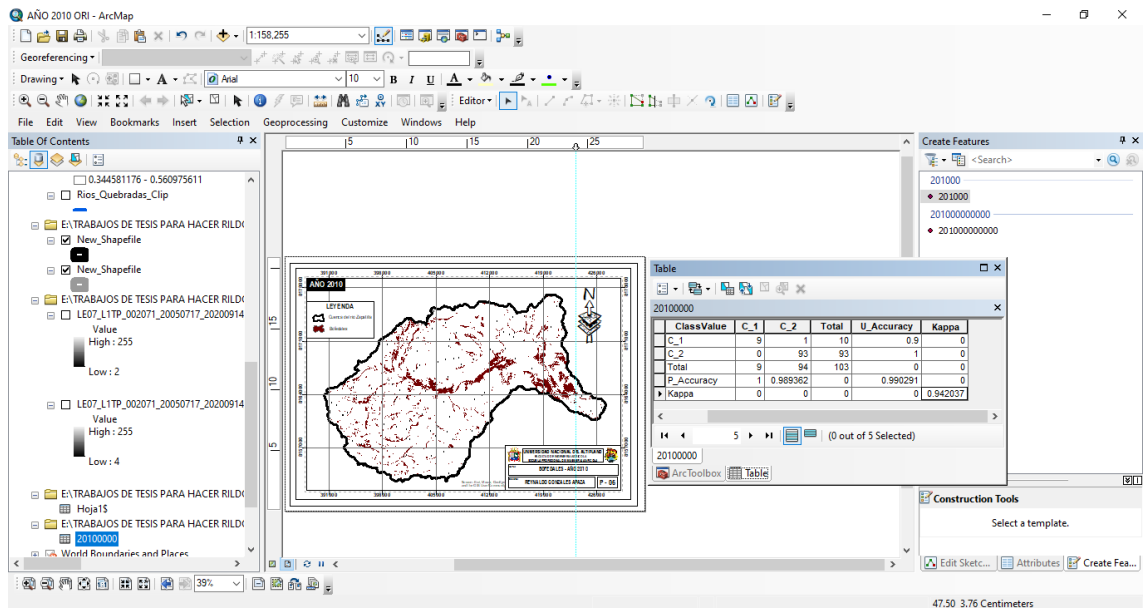
Nota. Año 1995



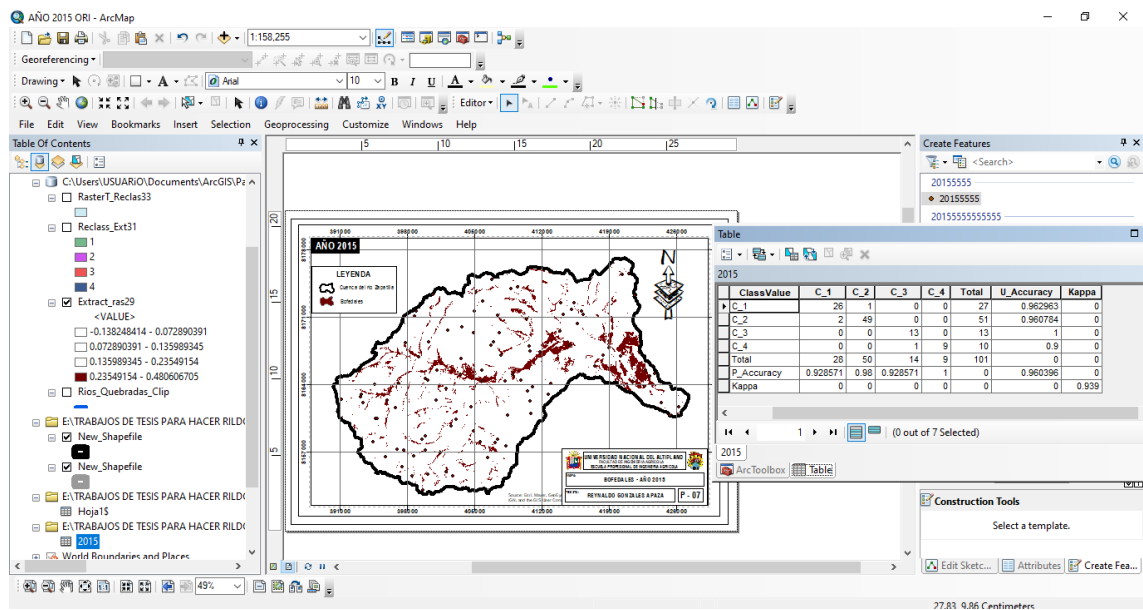
Nota. Año 2000



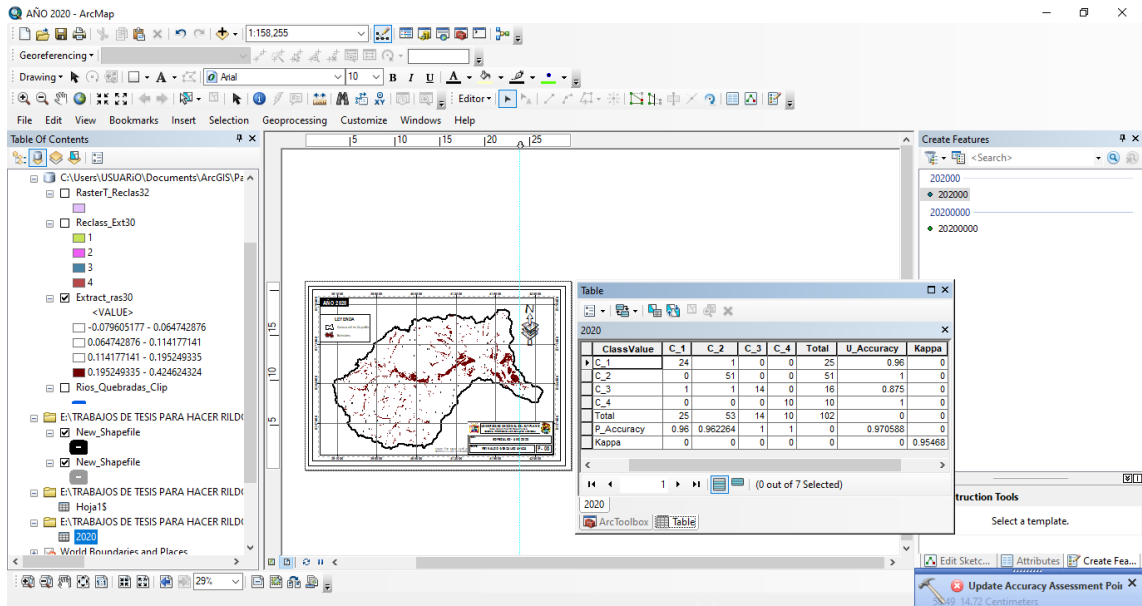
Nota. Año 2005



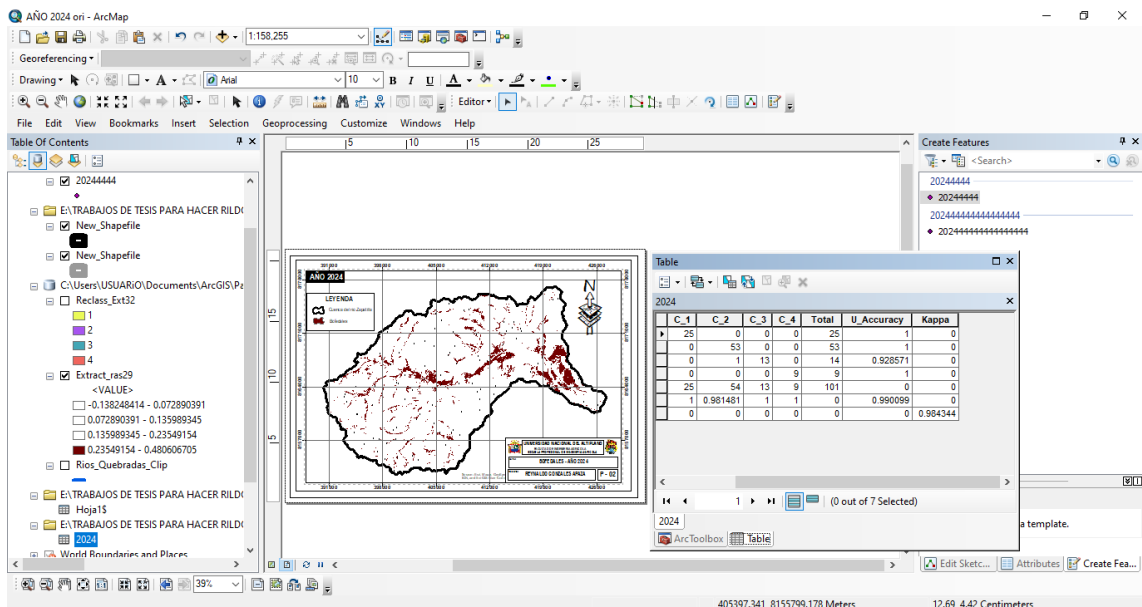
Nota. Año 2010



Nota. Año 2015



Nota. Año 2020



Nota. Año 2024

ANEXO 3. Variables climáticas de la estación Mazocruz

Precipitación (mm)								
AÑO	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2023
ENERO	241.50	177.00	179.50	109.20	103.52	142.40	202.61	74.40
FEBRE.	314.00	88.20	135.81	187.50	61.41	101.60	103.70	77.50
MAR.	238.00	29.00	64.10	40.00	40.61	103.00	92.80	52.11
ABRI.	0.00	19.50	22.90	42.81	44.21	61.50	5.80	0.00
MAY.	0.00	13.60	6.40	0.00	20.50	1.20	8.01	0.00
JUN.	3.60	0.00	1.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
JUL.	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.00	2.20	0.00
AGOS.	0.00	14.20	1.20	0.00	0.00	14.40	7.50	0.00
SEPT.	0.00	0.00	0.60	18.20	0.80	9.00	7.00	8.40
OCTU.	59.21	1.00	28.30	6.60	9.40	51.10	11.80	35.20
NOV.	117.60	34.10	7.90	18.00	6.30	18.00	10.61	45.00
DIC.	25.80	102.30	82.20	158.30	82.40	87.80	75.92	168.00
PROMEDIO	83.31	39.91	44.18	48.38	30.76	49.33	44.00	38.38

Temperatura (°C)								
AÑO	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2023
ENERO	15.48	14.57	15.31	16.68	17.40	16.21	16.42	16.25
FEBRE.	13.93	15.95	15.59	14.63	17.69	16.73	16.30	15.42
MAR.	16.46	14.07	16.08	17.08	18.75	16.25	16.43	15.33
ABRI.	12.58	16.05	17.63	16.69	18.85	15.89	16.18	15.35
MAY.	15.12	15.10	17.06	16.11	16.82	16.77	15.43	15.35
JUN.	11.94	15.41	14.69	14.59	17.59	17.75	16.63	15.46
JUL.	14.30	15.72	14.07	15.06	16.96	16.45	16.36	16.34
AGOS.	13.36	17.23	15.96	15.92	18.81	17.19	17.16	15.92
SEPT.	15.63	16.19	18.09	15.05	19.53	18.57	16.42	17.53
OCTU.	16.95	15.24	17.38	17.54	19.45	11.05	16.48	18.80
NOV.	11.91	15.98	20.70	18.11	20.72	14.96	16.20	18.52
DIC.	14.37	15.76	18.28	16.74	17.85	16.57	17.34	17.33
PROMEDIO	12.85	15.61	16.74	16.18	18.37	16.29	16.45	18.37

ANEXO 4. Variables climáticas de la estación Juli

Precipitación (mm)								
AÑO	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2023
ENERO	192.00	128.90	275.30	139.10	236.20	163.82	135.60	71.40
FEBRE.	50.80	105.90	236.30	189.20	217.60	210.50	126.10	109.90
MAR.	51.40	134.50	138.41	78.70	107.00	120.90	110.10	119.20
ABRI.	47.71	19.90	16.70	29.50	25.10	12.20	82.60	41.40
MAY.	13.60	6.10	10.90	1.50	42.50	33.70	16.90	21.00
JUN.	48.50	0.00	14.30	0.00	0.00	40.40	12.80	0.00
JUL.	0.00	0.60	0.61	0.00	0.01	9.10	0.00	4.50
AGOS.	18.90	7.20	17.00	1.00	9.10	10.20	0.00	0.00
SEPT.	19.90	17.80	1.20	24.70	5.30	2.10	36.00	0.00
OCTU.	69.30	26.70	62.20	61.20	62.50	73.01	65.70	0.00
NOV.	64.30	71.60	1.90	54.00	13.10	58.90	16.30	27.10
DIC.	173.70	117.20	119.50	164.20	117.00	165.00	250.40	21.30
PROMEDIO	62.51	53.03	74.53	61.93	69.62	74.99	71.04	34.65

Temperatura (°C)								
AÑO	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2023
ENERO	13.64	14.29	12.99	14.35	14.77	14.01	15.17	17.54
FEBRE.	13.99	15.16	12.87	13.81	15.36	13.89	15.31	16.39
MAR.	14.39	14.09	13.03	15.08	15.37	14.77	14.92	16.22
ABRI.	14.29	15.36	13.51	14.77	15.69	14.93	15.25	16.91
MAY.	13.92	14.55	13.69	14.15	14.43	13.87	14.90	16.27
JUN.	11.30	13.29	11.99	12.90	14.30	12.44	14.24	16.75
JUL.	12.23	13.51	11.88	13.43	13.90	12.82	14.34	18.14
AGOS.	12.73	14.84	12.77	13.11	14.43	13.18	15.76	16.82
SEPT.	14.02	14.29	14.42	13.98	15.33	14.80	14.64	17.14
OCTU.	14.74	15.61	13.98	14.30	15.11	15.08	15.25	19.31
NOV.	15.01	15.10	16.32	14.59	16.10	15.48	17.22	18.20
DIC.	14.13	14.30	14.39	14.71	14.75	13.99	15.38	19.54
PROMEDIO	13.70	14.53	13.49	14.10	14.96	14.10	15.20	17.44

ANEXO 5. Variables climáticas de la estación Pampa Umalsu

Precipitación (mm)								
AÑO	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2023
ENERO	28.70	125.30	213.50	91.90	89.51	121.64	195.20	154.43
FEBRE.	13.20	124.35	148.33	125.80	53.30	154.32	265.50	161.92
MAR.	25.30	42.80	142.52	71.40	14.50	27.90	95.70	122.95
ABRI.	0.00	7.10	2.51	15.20	4.60	8.70	0.00	9.02
MAY.	0.00	4.20	6.30	0.00	0.00	0.00	0.00	2.38
JUN.	0.00	0.00	3.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.83
JUL.	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
AGOS.	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	9.15
SEPT.	0.00	0.00	0.00	9.50	0.00	0.00	0.00	0.00
OCTU.	0.00	0.00	0.02	0.00	0.50	0.00	0.00	4.05
NOV.	6.10	2.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
DIC.	162.00	113.54	27.01	56.20	150.35	50.32	0.00	61.43
PROMEDIO	47.06	49.24	67.90	61.67	52.13	72.58	46.37	43.93

Temperatura (°C)								
AÑO	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2023
ENERO	14.10	13.80	16.80	14.50	17.00	15.20	16.40	16.40
FEBRE.	14.00	13.80	15.10	16.00	16.70	15.80	15.80	16.70
MAR.	14.50	14.00	16.20	16.10	15.40	15.40	15.40	16.80
ABRI.	15.00	14.50	16.60	16.00	15.80	16.80	15.60	17.60
MAY.	15.30	14.70	17.00	15.70	16.30	16.30	16.10	16.90
JUN.	14.70	15.30	15.90	15.60	16.30	16.00	16.10	17.20
JUL.	14.30	15.50	16.30	15.50	15.40	15.80	15.60	16.90
AGOS.	15.10	13.80	16.80	16.70	17.40	16.90	16.80	17.80
SEPT.	15.70	15.70	16.80	17.50	15.90	18.10	18.30	18.90
OCTU.	17.90	17.50	17.60	18.10	18.20	18.00	19.30	18.70
NOV.	16.20	17.30	18.40	17.80	17.80	19.50	18.30	20.10
DIC.	15.40	18.80	17.70	18.50	17.10	17.20	18.00	17.50
PROMEDIO	15.75	17.33	16.77	16.50	16.61	16.75	16.81	17.63

ANEXO 6. Variables climáticas de la estación Ichuña

Precipitación (mm)								
AÑO	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2023
ENERO	111.40	120.36	198.42	114.11	129.81	218.31	160.00	56.23
FEBRE.	142.32	110.65	142.70	168.65	191.00	115.40	145.40	48.67
MAR.	83.65	111.20	54.41	58.68	30.51	161.20	84.70	25.14
ABRI.	20.10	16.60	21.10	27.13	38.73	15.11	5.64	29.84
MAY.	10.80	0.02	3.11	0.00	10.50	24.71	7.91	7.53
JUN.	42.90	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	2.22	0.20
JUL.	0.00	0.00	0.00	0.00	1.70	0.00	0.00	2.66
AGOS.	8.90	0.20	4.71	0.00	0.00	0.01	0.02	10.95
SEPT.	0.00	0.23	0.01	17.73	0.01	4.80	3.61	16.53
OCTU.	22.01	1.91	30.00	4.71	8.60	8.50	10.61	8.11
NOV.	73.20	25.72	5.11	27.41	5.21	1.30	9.70	11.89
DIC.	46.10	81.61	118.42	77.03	168.60	129.85	173.30	140.09
PROMEDIO	46.78	39.04	48.17	41.29	48.72	56.60	50.26	29.82

Temperatura (°C)								
AÑO	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2023
ENERO	17.65	20.40	19.52	19.62	20.40	19.55	19.43	20.37
FEBRE.	19.14	20.55	16.27	17.91	20.55	22.44	18.49	20.00
MAR.	18.88	21.82	16.83	19.75	21.82	20.75	19.23	21.10
ABRI.	19.41	21.42	16.21	19.71	21.42	20.46	18.56	22.12
MAY.	19.09	19.88	17.01	19.65	19.88	19.58	19.62	19.62
JUN.	18.36	20.83	17.62	18.28	20.83	19.53	18.86	17.32
JUL.	18.50	19.50	14.72	18.61	19.50	19.50	19.51	18.25
AGOS.	19.57	21.67	17.51	19.68	21.67	21.23	20.45	19.45
SEPT.	20.63	22.22	19.36	18.58	22.22	22.01	21.55	21.67
OCTU.	21.91	22.76	19.57	21.13	22.76	22.50	22.45	22.42
NOV.	21.48	23.24	20.55	21.70	23.24	22.56	22.88	23.13
DIC.	21.95	20.49	20.94	20.62	20.49	22.40	20.25	21.02
PROMEDIO	19.71	21.23	18.01	19.60	21.23	20.56	20.11	20.54

ANEXO 7. Variables climáticas de la estación Ilave

Precipitación (mm)								
AÑO	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2023
ENERO	151.20	162.54	269.90	125.11	212.90	116.84	269.30	182.00
FEBRE.	115.34	110.65	161.10	142.50	116.90	155.81	146.80	143.86
MAR.	86.62	115.36	135.60	78.71	64.46	139.91	163.91	106.14
ABRI.	48.90	23.85	14.40	23.62	42.10	36.01	83.52	29.43
MAY.	25.02	5.70	4.90	8.30	37.22	31.30	12.21	12.07
JUN.	67.70	0.00	4.40	0.00	0.00	19.90	0.02	0.19
JUL.	0.01	0.00	9.30	0.00	0.00	4.20	9.90	7.55
AGOS.	15.50	4.20	6.40	0.01	8.70	1.00	20.10	6.23
SEPT.	7.41	9.60	3.20	26.22	1.20	16.10	38.50	26.96
OCTU.	65.90	11.20	51.50	58.73	39.03	25.62	29.10	21.85
NOV.	101.10	89.51	52.31	55.73	7.80	140.51	23.40	30.56
DIC.	127.80	120.63	109.80	88.51	140.41	51.70	47.91	114.68
PROMEDIO	67.71	54.44	68.57	50.62	55.89	61.58	70.39	56.79

Temperatura (°C)								
AÑO	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2023
ENERO	14.21	15.34	14.16	15.32	16.35	13.97	16.42	16.25
FEBRE.	14.99	15.61	14.10	14.63	16.27	10.52	16.30	15.42
MAR.	15.04	14.19	14.21	16.04	16.10	16.00	16.43	15.33
ABRI.	15.01	15.69	15.47	15.89	16.83	16.33	16.18	15.35
MAY.	14.58	15.34	15.54	15.19	15.70	15.13	15.43	15.35
JUN.	11.59	13.93	13.51	13.96	16.07	14.05	16.63	15.46
JUL.	12.90	14.68	13.23	14.77	15.97	14.53	16.36	16.34
AGOS.	13.60	16.10	14.64	14.75	17.17	15.00	17.16	15.92
SEPT.	15.11	15.64	15.92	15.01	17.47	16.47	16.42	17.53
OCTU.	15.76	17.30	15.24	15.58	17.74	16.43	16.48	18.80
NOV.	15.42	16.71	17.49	16.45	18.91	17.11	16.20	18.52
DIC.	14.66	15.12	15.58	16.50	14.50	15.50	17.34	17.33
PROMEDIO	14.41	15.47	14.92	15.34	16.59	15.09	16.45	16.47



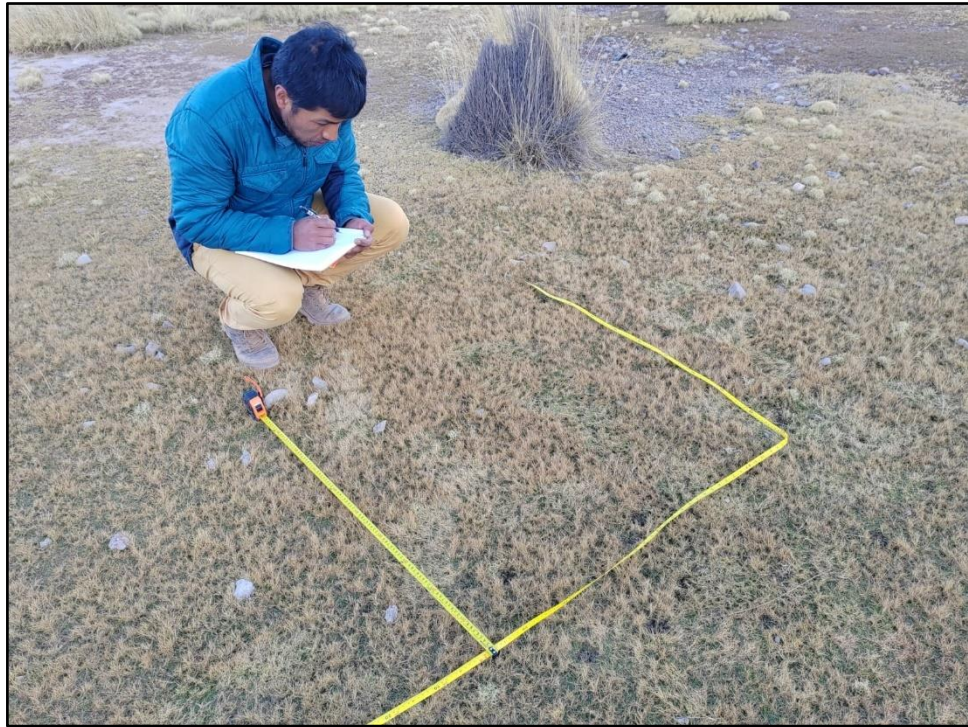
ANEXO 8. Plantilla de cálculo de zanjas de infiltración

Parámetros básicos de diseño	Código	Datos	Unidad	Fuente
Separacion de espacios (Paralelas)	Se	12.00	m	MINAGRI (2014)
Distancia del material extraido	Dme	20.00	cm	MINAGRI (2014)
Apertura de canaleta	Ac	10.00	cm	MINAGRI (2014)
Pendiente de la zanja	S	1.00	%	MINAGRI (2014)

Parámetros básicos de diseño	Código	Datos	Unidad	Fuente
Longitud de la zanja	L	5.00	m	MINAGRI (2014)
Pendiente del terreno	St	5.00	%	Insi tu
Distanciamiento entre zanjas	Dz	2.00	m	Sgn pendi. del terre.
Ancho de base de la zanja de infiltracion	b	0.50	m	Mamani (2017)
Profundidad de la zanja de infiltracion	h	0.40	m	Mamani (2017)

Parámetros básicos de diseño	Código	Formula	Resultado	Unidad	Fuente
Precipitacion	PP		190.36	mm	SENAMHI (2022)
Precipitacion	P		0.190	m	Se asume
Largo	L		5.00	m	MINAGRI (2014)
Espaciamiento	e		2.00	m	Sgn pendi. del terre.
Base	b		0.50	m	Mamani (2017)
Distanciamiento	d	b+e	2.50	m	
Superficie de Captacion	S	L*d	12.50	m²	
Coefficiente de escorrentia	e		0.50	c	Según Tabl. Ven TE Chw
Volumen de aportacion a la zona de impl	Vai	P*S*e	1.19	m²	
Volumen de Captura zona de zanjas	Vcz	b*h*L	1.00	m³	
Velocidad de Infiltracion de la zanja	v		0.08	m/hora	gn. prueba d infiltracion
Infiltracion de la zanja	Vin	b*v*I	0.20	m ³ /hora	
Verificacion del diseño de la zanja		Vai≤Vcz+Vin	1.19≤1.20		Si cumple condic.
Distanciamiento corregido de zanjas	d	b*(h+v)/P*e	12.53	m	
Distanciamiento corregido de zanja	d		13.00	m	Se asume

ANEXO 9. Panel fotográfico



Nota. Determinación del cuadrante para el conocimiento del estado del bofedal



Nota. Transecto para conocer la condición de la biota



Nota. Transecto para conocer la condición de la biota



Nota. Condición de la biota de los bofedales (Identificación de especies nativas)



Nota. Condición de la biota de los bofedales (Identificación de especies nativas)



Nota. medición de la profundidad de la turba



DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD DE TESIS

Por el presente documento, Yo REYNALDO GONZALES APAZA
identificado con DNI 41888225 en mi condición de egresado de:

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

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

“ DETERMINACIÓN DE LA DINÁMICA DE CAMBIO DE LOS BOFEDALES
ALTOANDINOS EMPLEANDO IMÁGENES SATELITALES EN LA CUENCA
DEL RIO HUENQUE EN EL PERIODO (1990-2024) ”

Es un tema original.

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

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

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

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

Puno 03 de SEPTIEMBRE del 20 24

FIRMA (obligatoria)



Huella



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

Por el presente documento, Yo REYNALDO GONZALES APAZA
identificado con DNI 41888225 en mi condición de egresado de:

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

INGENIERIA AGRICOLA

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

“ DETERMINACIÓN DE LA DINÁMICA DE CAMBIO DE LOS BOFEDALES ALTOANDINOS EMPLEANDO IMÁGENES SATELITALES EN LA CUENCA DEL RIO HUENQUE EN EL PERIODO (1990-2024) ”

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

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

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

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

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

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

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

En señal de conformidad, suscribo el presente documento.

Puno 03 de SEPTIEMBRE del 20 24

FIRMA (obligatoria)



Huella