



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGRONÓMICA



**DETERMINACIÓN DE LA COBERTURA VEGETAL DE LOS
BOFEDALES EN LA MICROCUENCA DEL RIO ZAPATILLA, EL
COLLAO, PUNO**

TESIS

PRESENTADA POR:

Bach. EDITH YESMIRA HUANCA CALIZAYA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO AGRÓNOMO

PUNO - PERÚ

2024



NOMBRE DEL TRABAJO

**DETERMINACIÓN DE LA COBERTURA VE
GETAL DE LOS BOFEDALES EN LA MICR
OCUENCA DEL RIO ZAPATILLA, EL COLL
AO, PUNO**

AUTOR

EDITH YESMIRA HUANCA CALIZAYA

RECuento de palabras

30178 Words

RECuento de caracteres

147932 Characters

RECuento de páginas

163 Pages

Tamaño del archivo

12.9MB

Fecha de entrega

Jul 15, 2024 5:56 PM GMT-5

Fecha del informe

Jul 15, 2024 5:59 PM GMT-5

● **12% de similitud general**


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

- 12% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 6% Base de datos de trabajos entregados
- 2% 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 10 palabras)


DIRECTOR
F. ORTIZ


U.B.
Directo de la Sub-Elunidad 2007
2012. Cod. 82081
Dr. Manuel A. Callohuacaca

Resumen



DEDICATORIA

A dios

Dedico este trabajo a mi madre, Marina, y a mi padre, Julio, por su inquebrantable amor, apoyo y aliento. Les agradezco a ambos por ser una fuente de inspiración para mí y por enseñarme a seguir mis aspiraciones con fervor y determinación. Sin su aliento y su fe en mí, este logro no habría sido posible.

A mis queridos hermanos. Gilmer, Delia por su motivación constante y comprensión. Gracias por siempre creer en mí y por ser un apoyo incondicional en cada paso de este camino. Su Confianza y animo han sido fundamentales para alcanzar este logro.

Edith Yesmira Huanca Calizaya



AGRADECIMIENTOS

A la Escuela Profesional de Ingeniería Agronómica de la Universidad Nacional del Altiplano, docentes por ayudarme a formarme intelectualmente y por compartir sus conocimientos, que contribuyeron a moldear mi desarrollo profesional.

Mis agradecimientos al, Dr. Flavio Ortiz Calcina, asesor de la tesis, por la oportunidad y confianza brindada.

A los jurados D.Sc. Eleodoro Placido Chahuares Velásquez, Mg Eustaquio Victoriano Aguilar Ramos, Mg Mario Flores Aroni, cuyas observaciones críticas y apoyo han sido fundamentales en la culminación exitosa de esta investigación.

Además, hago extensivo mi agradecimiento a la Universidad Nacional del Altiplano por su excelente formación a lo largo de los años, que ha sido esencial para el avance de nuestra investigación.

A mis docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería Agronómica, la Facultad Ciencias Agrarias y la Universidad Nacional del Altiplano, que contribuyeron a conformar mi formación académica y ayudaron a dar forma a mi desarrollo profesional.

Por último, sólo quiero dar las gracias a todos los que han influido en mi vida de alguna manera y me han animado a seguir adelante y cumplir mis objetivos. Sin vuestra confianza y apoyo, este logro no habría sido posible.

Edith Yesmira Huanca Calizaya



ÍNDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA	
AGRADECIMIENTOS	
ÍNDICE GENERAL	
ÍNDICE DE TABLAS	
ÍNDICE DE FIGURAS	
ACRÓNIMOS	
RESUMEN	17
ABSTRACT.....	18
CAPÍTULO I	
INTRODUCCIÓN	
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	22
1.1.1. Problema general	24
1.1.2. Problemas específicos	24
1.2. HIPÓTESIS	24
1.2.1. Hipótesis general.....	24
1.2.2. Hipótesis específicas	24
1.3. JUSTIFICACIÓN	25
1.4. OBJETIVOS	25
1.4.1. Objetivo general.....	25



1.4.2. Objetivos específicos	26
------------------------------------	----

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN	27
2.1.1. Internacionales	27
2.1.2. Nacionales	29
2.1.3. Regionales	32
2.2. MARCO TEÓRICO.....	34
2.2.1. Ecosistema altoandino	34
2.2.2. Bofedales	35
2.2.2.1. Composición florística de los bofedales	37
2.2.2.2. Características de los bofedales	39
2.2.2.3. Servicios ecosistémicos de los bofedales.....	40
2.2.3. Imagen satelital Landsat	43
2.2.4. Índices espectrales para la delimitación de bofedales	48
2.2.4.1. Índice de Diferencia Normalizada de Vegetación (NDVI)	48
2.3. MARCO CONCEPTUAL	50
2.3.1. Cambio climático	50
2.3.2. Ecosistema	50
2.3.3. Cuenca	50
2.3.4. Cobertura vegetal.....	50



2.3.5.	Bofedal.....	50
2.3.6.	Sistema de Información Geográfica	51
2.3.7.	Análisis multitemporal.....	51
2.3.8.	Imágenes satelitales	51
2.3.9.	Landsat.....	51

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. ZONA DE ESTUDIO	52
3.1.1. Límites.....	53
3.1.2. Vías de comunicación y accesibilidad	53
3.2. TIPO DE INVESTIGACIÓN	53
3.3. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS.....	54
3.4. POBLACIÓN Y MUESTRA	55
3.4.1. Población	55
3.4.2. Muestra	55
3.5. PROCEDIMIENTO METODOLÓGICO.....	55
3.5.1. Determinar el cambio histórico multitemporal de los bofedales en la microcuenca del río Zapatilla.....	55
3.5.2. Determinar la relación existente entre la precipitación y temperatura en la superficie de los bofedales en la microcuenca del río Zapatilla.....	60
3.5.3. Determinar el estado de los bofedales de la microcuenca del río Zapatilla	65



CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. DETERMINAR EL CAMBIO HISTÓRICO MULTITEMPORAL DE LOS BOFEDALES EN LA MICROCUENCA DEL RIO ZAPATILLA	74
4.1.1. Extensión de la cobertura vegetal de bofedales	74
4.1.2. Tasa de cambio de la cobertura vegetal de los bofedales	83
4.1.3. Indicadores de validación	84
4.2. DETERMINAR LA RELACIÓN EXISTENTE ENTRE LA PRECIPITACIÓN Y TEMPERATURA EN LA SUPERFICIE DE LOS BOFEDALES EN LA MICROCUENCA DEL RIO ZAPATILLA	87
4.2.1. Consistencia de datos climáticos de las estaciones meteorológicas	87
4.2.1. Variables climáticas de la microcuenca del rio Zapatilla	102
4.2.2. Relación de la precipitación y temperatura en la superficie de los bofedales	113
4.3. DETERMINAR EL ESTADO DE LOS BOFEDALES DE LA MICROCUENCA DEL RIO ZAPATILLA.....	116
4.3.1. Determinación del rendimiento de materia seca de los bofedales	116
4.3.1. Estado de los bofedales	119
4.3.1.1. Condición del agua	119
4.3.1.2. Condición del suelo	119
4.3.1.3. Condición de la biota	121
4.3.1.4. Alteración del paisaje.....	122



V. CONCLUSIONES	127
VI. RECOMENDACIONES	128
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	130
ANEXOS.....	139
ANEXO 1. Descarga de imágenes satelitales	140
ANEXO 2. Índice Kappa de los bofedales de la microcuenca del rio Zapatilla	141
ANEXO 3. Valores de T de Student	144
ANEXO 4. Valores de F para niveles de significancia de 5%	145
ANEXO 5. Análisis de consistencia de los datos de precipitación	146
ANEXO 6. Análisis de consistencia de los datos de temperatura.....	150
ANEXO 7. Resultados de análisis de Suelos	154
ANEXO 8. Panel fotográfico	155

Área: Ingeniería y tecnología

Línea: Ordenamiento territorial y medio ambiente

FECHA DE SUSTENTACIÓN: 18 de Julio del 2024



ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1 Servicio ecosistémico de los bofedales	40
Tabla 2 Fecha de lanzamientos y fin de operación de las misiones landsat	44
Tabla 3 Valoración del índice Kappa.....	48
Tabla 4 Vías de comunicación y accesibilidad al área en estudio	53
Tabla 5 Atributos e indicadores para medir el estado del ecosistema bofedal	65
Tabla 6 Escala de valoración de la condición de agua.....	66
Tabla 7 Escala de valoración de la condición de suelo.....	68
Tabla 8 Escala de valoración de la condición de la biota	70
Tabla 9 Escala de valoración de la condición de suelo.....	71
Tabla 10 Escala de valoración de la condición de suelo.....	72
Tabla 11 Escala y valor relativo para estimar el estado de los ecosistemas de bofedal	73
Tabla 12 Extensión de la cobertura vegetal de bofedales entre los periodos de 1990 a 2023 de la microcuenca del río Zapatilla.....	83
Tabla 13 Validación de mapas mediante el Índice Kappa	84
Tabla 14 Datos de precipitación de la estación meteorológica Ilave	87
Tabla 15 Datos de precipitación de la estación meteorológica Juli	88
Tabla 16 Datos de precipitación de la estación meteorológica Masacruz	89
Tabla 17 Datos de precipitación de la estación meteorológica Taquile.....	89



Tabla 18	Datos de precipitación de la estación meteorológica Isuana.....	90
Tabla 19	Datos de precipitación de la estación meteorológica Urus	91
Tabla 20	Datos de precipitación de la estación meteorológica Desaguadero	91
Tabla 21	Datos de precipitación de la estación meteorológica Laraqueri	92
Tabla 22	Datos de precipitación de la estación meteorológica Puno.....	93
Tabla 23	Datos de temperatura de la estación meteorológica Ilave.....	94
Tabla 24	Datos de temperatura de la estación meteorológica Juli	94
Tabla 25	Datos de temperatura de la estación meteorológica Masacruz.....	95
Tabla 26	Datos de temperatura de la estación meteorológica Taquile	96
Tabla 27	Datos de temperatura de la estación meteorológica Isuana	96
Tabla 28	Datos de temperatura de la estación meteorológica Urus.....	97
Tabla 29	Datos de temperatura de la estación meteorológica Desaguadero.....	98
Tabla 30	Datos de temperatura de la estación meteorológica Laraqueri	98
Tabla 31	Datos de temperatura de la estación meteorológica Puno	99
Tabla 32	Análisis de consistencia de la precipitación de las estaciones meteorológicas más próximas al área en estudio	101
Tabla 33	Análisis de consistencia de la temperatura de las estaciones meteorológicas más próximas al área en estudio	102
Tabla 34	Variables climáticas (precipitación y temperatura) de la microcuenca del río Zapatilla – periodo 1990 al 2023	111
Tabla 35	Coordenadas de ubicación de los bofedales en estudio	116



Tabla 36	Rendimiento de materia seca de los bofedales en estudio	118
Tabla 37	Atributos e indicadores de condición del agua (indicador napa freática y conductividad eléctrica)	119
Tabla 38	Atributos e indicadores de condición del suelo (indicador profundidad de la turba y materia orgánica)	120
Tabla 39	Atributos e indicadores de condición del suelo (indicador densidad aparente y signos de erosión)	120
Tabla 40	Atributos e indicadores de condición de la biota (indicador especies nativas y riqueza de especies)	121
Tabla 41	Atributos e indicadores de condición de la biota (indicador cobertura vegetal y biomasa).....	122
Tabla 42	Atributos e indicadores de la alteración del paisaje (indicador presencia de factores de degradación y conectividad hidrológica).....	122
Tabla 43	Valores relativos de atributos e indicadores del ecosistema bofedal	124



ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1 Bofedales.....	36
Figura 2 Modelo de recarga de un bofedal.....	39
Figura 3 Mapa de ubicación de la zona en estudio.....	52
Figura 4 Imagen satelital Landsat	56
Figura 5 Imagen satelital con corrección atmosférica.....	57
Figura 6 Organigrama del procedimiento metodológico	59
Figura 7 T de Student	62
Figura 8 Descripción del grado de erosión de la superficie evaluada	69
Figura 9 Categorías por presencia de factores a partir de su abundancia e intensidad	71
Figura 10 Infraestructura o alteraciones que condicionan la conectividad hidrológica en el bofedal.....	73
Figura 11 Cobertura vegetal de los bofedales de la microcuenca del río Zapatilla al año 1990.....	75
Figura 12 Cobertura vegetal de los bofedales de la microcuenca del río Zapatilla al año 1995.....	76
Figura 13 Cobertura vegetal de los bofedales de la microcuenca del río Zapatilla al año 2000.....	77
Figura 14 Cobertura vegetal de los bofedales de la microcuenca del río Zapatilla al año 2005.....	78



Figura 15	Cobertura vegetal de los bofedales de la microcuenca del río Zapatilla al año 2010.....	79
Figura 16	Cobertura vegetal de los bofedales de la microcuenca del río Zapatilla al año 2015.....	80
Figura 17	Cobertura vegetal de los bofedales de la microcuenca del río Zapatilla al año 2020.....	81
Figura 18	Cobertura vegetal de los bofedales de la microcuenca del río Zapatilla al año 2023.....	82
Figura 19	Variables climáticas (precipitación y temperatura) de la microcuenca del río Zapatilla al año 1990.....	103
Figura 20	Variables climáticas (precipitación y temperatura) de la microcuenca del río Zapatilla al año 1995.....	104
Figura 21	Variables climáticas (precipitación y temperatura) de la microcuenca del río Zapatilla al año 2000.....	105
Figura 22	Variables climáticas (precipitación y temperatura) de la microcuenca del río Zapatilla al año 2005.....	106
Figura 23	Variables climáticas (precipitación y temperatura) de la microcuenca del río Zapatilla al año 2010.....	107
Figura 24	Variables climáticas (precipitación y temperatura) de la microcuenca del río Zapatilla al año 2015.....	108
Figura 25	Variables climáticas (precipitación y temperatura) de la microcuenca del río Zapatilla al año 2020.....	109



Figura 26	Variables climáticas (precipitación y temperatura) de la microcuenca del río Zapatilla al año 2023.....	110
Figura 27	Tendencia de la precipitación de la microcuenca del río Zapatilla – periodo 1990 al 2023.....	112
Figura 28	Tendencia de la temperatura de la microcuenca del río Zapatilla – periodo 1990 al 2023.....	113
Figura 29	Relación de la precipitación y temperatura en la superficie de los bofedales	114
Figura 30	Rendimiento de materia seca de los bofedales en estudio	117



ACRÓNIMOS

SENAMHI:	Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú
MINAM:	Ministerio del Ambiente
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.
GEI:	Gases de efecto invernadero
SCP:	Semi-Automatic Classification Plugin (Complemento de clasificación semiautomática)
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)
SHP:	Shapefile
PP:	Precipitación
°C:	Grados centígrados



RESUMEN

Hoy en día se vive las consecuencias del cambio climático a nivel local, regional, nacional e internacional, despertando interés en la preservación de los recursos hídricos, por ello surge la necesidad de estudiar los ecosistemas de montaña como son los bofedales, identificarlos, determinar su extensión y el estado en el que se encuentran; ante ello se plantea el objetivo de determinar la cobertura vegetal de los bofedales en la microcuenca del río Zapatilla, El Collao, Puno; con procedimiento mediante la descarga de imágenes satelitales Landsat entre los periodos 1990 al 2023, para aplicar el índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) y determinar el cambio multitemporal de los bofedales; para seguidamente determinar la relación existente de la precipitación - temperatura con su superficie y finalmente determinar el estado de los bofedales. Siendo resultante una superficie de 12.20km² de bofedales equivalente al 2.58% del área de la microcuenca al año 1990; además al año 1995 presentó una superficie de 14.35km²(3.35%), al año 2000, 10.78km²(2.52%), al año 2005, 10.37km²(2.42%), al año 2010, 12.10km²(2.83%), al año 2015, 11.66km² (2.72%), al año 2020, 12.26km² (2.86%), y al año 2023 presentó 11.04km² (2.58%), presentando una relación proporcional de la precipitación frente a la superficie de los bofedales, porque a medida que la precipitación disminuye la superficie de los bofedales también disminuye; y con respecto a la temperatura presento una relación inversamente proporcional, porque a medida que la temperatura incrementa, la superficie de los bofedales decrece; finalmente los bofedales presentaron un estado de conservación (regular, bueno, muy bueno). Concluyendo que la cobertura vegetal de los bofedales presenta una tasa de decrecimiento del -0.30% anual.

Palabras clave: Bofedales, Cobertura vegetal, Microcuenca, Precipitación, Temperatura.



ABSTRACT

The research arises because of the little interest given to the wetlands of the Zapatilla river micro-basin; being important because they are large water reservoirs that release water in times of drought; therefore, the objective is to determine the vegetation cover of the high Andean wetlands using satellite images in the Zapatilla river micro-basin; This is done by downloading Landsat satellite images from 1990 to 2023, to apply the normalized difference vegetation index (NDVI) and determine the multitemporal change of the wetlands, and then determine the relationship between precipitation - temperature with its surface and finally determine the state of the wetlands. As a result, there was an area of 12.20km² of wetlands equivalent to 2.58% of the area of the micro-watershed in 1990; in 1995 there was an area of 14.35km² (3.35%), to the year 2000, 10.78km²(2.52%), to the year 2005, 10.37km²(2.42%), to the year 2010, 12.10km²(2.83%), to the year 2015, 11.66km² (2.72%), to the year 2020, 12.26km² (2.86%), and to the year 2023 presented 11.04km² (2.58%), presenting a proportional relationship between precipitation and wetland surface area, because as precipitation decreases, the wetland surface area also decreases; and with respect to temperature, it presented an inversely proportional relationship, because as the temperature increases, the wetland surface area decreases; finally, the wetlands presented a state of conservation (regular, good, very good). In conclusion, the vegetation cover of the wetlands showed a decrease rate of -0.30% per year.

Keywords: Bofedales, Vegetation cover, Microbasin, Precipitation, Temperature.



CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

Los bofedales son formaciones herbáceas que están presentes en fondos de valles, a orillas de arroyos y ríos, o en zonas de laderas donde hay manantiales. Estas zonas se distinguen por estar en zonas húmedas todo el año; en temporada de estiaje, el bofedal exhibe un color amarillizo y las aguas están congeladas; siempre están constituidos por diversas plantas nativas (Castro, 2021), se encuentran en zonas altoandinas y altiplanos dispersos; presentan extensas áreas de vegetación y diversidad de fauna y flora, sirviendo como fuentes de reserva hídrica para las comunidades aledañas al área de estudio (Flores, 2017), así mismo generan diversos servicios ecosistémicos, de acuerdo a Imbaquingo (2021), se encargan de secuestrar carbono, controlar el agua, proporcionar alimento de alta calidad para el ganado que sustenta el sector socioeconómico y permite el crecimiento de la comunidad andina; no obstante, el sobrepastoreo, la quema y otras actividades antrópicas fomentan el deterioro y extinción de estos ecosistemas (Arteaga, 2018).

Según el MINAM (2016), el 70% de la biodiversidad mundial se encuentra en el Perú, donde los bofedales y bosques conforman la mayoría de ecosistemas; las investigaciones han indicado que los bofedales son susceptibles a la variación de temperatura y precipitaciones, ya que dichos factores modifican el régimen hidrológico de los bofedales (Justo, 2023), en este sentido, es fundamental conocer la extensión de los bofedales y sus características, entre las que se incluyen: la flora denominada acuática o adaptada a lugares muy húmedos; estas plantas dotan las características físico-químicas del agua-suelo, fijan el CO₂ atmosférico y actúan como barreras protectoras frente a la incidencia erosiva de los arroyos y corrientes hídricas (Poveda *et al.* 2020).



Sin embargo, debido a que estas comunidades dependen de este tipo de vegetación para propósitos vitales como el tratamiento de enfermedades, alimento, combustible, fibra y forraje, y debido a sus continuas relaciones socioculturales con estos ecosistemas, es crucial entender su estado actual de conservación (García, 2021).

Por ello, se han creado instrumentos para evaluar la cubierta vegetal; en este caso, mediante el análisis espectral de la cubierta vegetal se obtienen una serie de índices basados en la contradicción entre las bandas del espectro (Chariarse *et al.* 2021), Suelen mostrar más claramente las características de la vegetación y facilitan su distinción de otras cubiertas y la evaluación de su estado. Se calculan a partir de la combinación matemática de dos o más bandas de una imagen multiespectral de satélite; Uno de las mejores técnicas para evaluar los cambios históricos de las cualidades de la cubierta vegetal a gran escala y para los estudios de los cambios espaciotemporales de la vegetación ha sido el uso de índices de vegetación y productos elaborados a partir de estas técnicas de teledetección (Zhiminaicela *et al.* 2020).

Por ello es que surge el desarrollo de la presente investigación nombrada “Determinación de la cobertura vegetal de los bofedales en la microcuenca del río zapatilla, El Collao, Puno”.

De forma similar, la investigación se divide en los IV capítulos siguientes:

El problema de estudio se enuncia en el **Capítulo I**, Introducción, junto con la hipótesis, fundamentación y objetivos alcanzados que contempla el estudio.

En el **Capítulo II** se exhiben los argumentos del tema de estudio, las fuentes, los referentes teóricos y el marco jurídico, que han servido de cimiento para el presente trabajo.



El procedimiento metodológico se exhibe en el **Capítulo III**, que detalla el tipo y diseño empleado, instrumentos, población y muestra, metodologías y procedimientos y procesamiento de la información.

El **Capítulo IV** exhiben los resultados y la discusión, respectivamente. Finalmente, las sugerencias y conclusiones.



1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Los bofedales son ecosistemas importantes en el mundo actual, pero el 35% de ellos han desaparecido como consecuencia de factores como el incremento de la población, la urbanización, el cambio climático y la perturbación de los patrones de consumo (García, 2021). Debido a actividades antropogénicas como la ganadería, la quema de vegetación para el sembrío de pastos, la construcción en lugares inadecuados y los proyectos de captación de agua, los bofedales están experimentando un proceso de degradación muy grave que está cambiando la composición de la vegetación y, en consecuencia, su funcionalidad (Ramsar, 2020), 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).

Los Andes en el Perú exhibe una variedad de zonas de vida con peculiaridades eco climáticas extremadamente específicas y especies vegetales diferenciadas; estas comunidades vegetales ocupan 157.000 km², es decir, el 12,77% de la superficie total del país, e incluyen el bofedal, tólar, puna y pajonal (Estrada *et al.* 2021). Sin embargo, las investigaciones han dado cuenta de la pérdida de superficie de bofedales de 549156 ha en el 2012 a 548,174.41 ha (0.42% del territorio) al año 2019 (Toribio, 2023), así mismo, el área y el volumen de agua superficial de los bofedales son afectados por los cambios climáticos, ocasionando un impacto en la biodiversidad de este importante ecosistema que sustenta una variedad de actividades socioculturales, económicas y ambientales, así como la vida de la población local (MINAM, 2022).



En la región de Puno particularmente en los bofedales de la microcuenca del río Zapatilla, intervienen como reguladores del equilibrio del ecosistema y, dado que los suelos de los bofedales retienen grandes volúmenes de agua y la liberan durante los periodos de sequía, son sin duda la primordial fuente de agua para la población local que comprende un total de 13823 habitantes al año 2024. Sin embargo, el ecosistema está siendo perjudicado por la escasa atención prestada, y por el desconocimiento de los programas diseñados para conservar los bofedales.

Ante ello viendo la necesidad del cuidado de este ecosistema, buscando la manera de establecer la extensión de los bofedales presentes en el área en estudio con el fin de ser la base fundamental para establecer planes de gestión de dichos ecosistemas.

Es fundamental llevar a cabo un estudio exhaustivo para determinar con precisión la extensión de los bofedales en el área de estudio. Este análisis detallado servirá como base esencial para el diseño e implementación de planes de gestión efectivos y sostenibles para conservar y restaurar estos ecosistemas frágiles. Además, es crucial involucrar activamente a las comunidades locales, así como a expertos en conservación y autoridades gubernamentales, en este proceso. Se deben establecer políticas y regulaciones claras para proteger los bofedales de actividades humanas dañinas, y se debe promover la investigación continua para comprender mejor su funcionamiento y los impactos del cambio climático. La colaboración interdisciplinaria y la cooperación entre todos los actores involucrados son esenciales para garantizar el éxito a largo plazo en la conservación y gestión sostenible de los bofedales en la región de Puno.



1.1.1. Problema general

¿Cuál es la tasa de cambio de la cobertura vegetal de los bofedales en la microcuenca del río Zapatilla?

1.1.2. Problemas específicos

- ¿Cómo será el cambio histórico multitemporal de los bofedales en la microcuenca del río Zapatilla?
- ¿Qué relación presentara la precipitación y temperatura en la superficie de los bofedales en la microcuenca del río Zapatilla?
- ¿Cuál es el estado actual de los bofedales de la microcuenca del río Zapatilla?

1.2. HIPÓTESIS

1.2.1. Hipótesis general

La tasa de cambio de la cobertura vegetal de los bofedales en la microcuenca del río Zapatilla es decreciente

1.2.2. Hipótesis específicas

- El cambio histórico multitemporal de los bofedales en la microcuenca del río Zapatilla es variada
- La precipitación y temperatura presenta una relación significativa en la superficie de los bofedales en la microcuenca del río Zapatilla.



- El estado actual de los bofedales de la microcuenca del río Zapatilla varía entre regular, bueno y muy bueno

1.3. JUSTIFICACIÓN

La presente investigación se realizará debido a que actualmente se vive las consecuencias del cambio climático a nivel local, regional, nacional e internacional, despertando interés en la preservación de los recursos hidrológicos; por ello surge la necesidad de estudiar los ecosistemas altoandinos como es el caso de los bofedales, identificarlos, determinar su estado, su extensión, y su respuesta ante los impactos climáticos.

Así mismo, mediante la presente investigación permitirá a las autoridades encargadas de proteger estos ecosistemas delicados, incluidos los bofedales, tomar las mejores decisiones; la creación de planes de gestión adecuados y sugerencias para la restauración de dichos ecosistemas de montaña; aportando información trascendental para poder combatir los impactos del cambio climático en la región de Puno; poniendo énfasis en la preservación de los bofedales; y con ello generando una secuencia de beneficios tanto para la biota como para los pobladores de la zona, respectivamente.

Del mismo modo, el uso de técnicas de teledetección en este proyecto de investigación permitirá evaluar y supervisar los recursos naturales con enfoques menos complejos, lo que ahorrará tiempo y dinero y mostrará resultados de mayor calidad.

1.4. OBJETIVOS

1.4.1. Objetivo general

Determinar la cobertura vegetal de los bofedales en la microcuenca del río Zapatilla, El Collao, Puno



1.4.2. Objetivos específicos

- Determinar el cambio histórico multitemporal de los bofedales en la microcuenca del río Zapatilla.
- Determinar la relación de la precipitación y temperatura en la superficie de los bofedales en la microcuenca del río Zapatilla.
- Determinar el estado actual de los bofedales de la microcuenca del río Zapatilla.



CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

2.1.1. Internacionales

García (2021), cuantificó el carbono almacenado en las macrófitas y vegetación riparia de los dieciséis bofedales que conforman la Reserva Faunística Chimborazo. Se recolectó material vegetal mediante una técnica de muestreo disruptivo en tres cuadrantes de zona ribereña de un metro cuadrado cada uno, y en dos barridos de microcuena de dos metros; para medir la cantidad de carbono almacenado se emplea 2 técnicas: el primero consistió en pesar cada miembro individual de cada especie y utilizar la asociación peso seco/peso húmedo (S/H) para mantener un peso constante durante 72 horas. Después, el material vegetal seco se pesó una vez más. Y la 2da técnica utilizó la combustión directa “CD” Se trituraron 30 gr. por especie y las muestras se fraccionaron en 3 repeticiones de 10 gr. cada una. Las muestras se quemaron en la mufla durante seis horas a 450 °C hasta que la biomasa se oxidó por completo. En cambio, 3,56 ha. de microcuencas tenían un potencial de almacenamiento de 0,36 Ton/C por S/H y 0,24 Ton/C por C.D. Se comprobó que el carbono total almacenado en 31,41 hectáreas de la zona ribereña era de 127 Ton/C por S/H y 41,48 Ton/C por C.D. Sugiriendo que la cantidad de carbono almacenado varía en función de las técnicas utilizadas. También, la vegetación ribereña almacena unas 30 veces más carbono que los macrófitos. Para elaborar planes de conservación del ecosistema del bofedal, se



aconseja combinar los resultados del almacenamiento del carbono en la superficie “suelo” como en la vegetación del bofedal.

Imbaquingo (2021), monitoreo mediante análisis multicriterio e imágenes del satélite Landsat 8, bofedales de la cuenca del río Chambo (2013 – 2020). Los cambios transpirados se examinaron mediante teledetección, que evaluó los cambios en la cobertura espacial y descubrió variaciones notables en la porción occidental de la subcuenca. La cobertura de los bofedales se calculó utilizando los NDVI, y NDWI y el espectro infrarrojo (NDII). Los resultados por año fueron los siguientes 135.033,48 ha (37,61%) en 2013, 119.254,00 ha (33,22%) en 2014, 129.674,22 ha (36,12%) en 2015, 87.989,44 ha (24,51%) en 2016, 128.251,48 ha (35,73%) en 2017, 127.596,32 ha (35,54%) en 2018, 144.706,08 ha (40,31%) en 2019 y 17.573,76 ha (4,90%) en 2020. Se observó que el ecosistema Pastizal de Páramo dominó el área, con promedios anuales de 13,86% de incremento, 11% de pérdida y 6,16% de persistencia. La distribución de los bofedales dentro de la subcuenca varió a lo largo de un período de ocho años, como se evidencia gráficamente. Se sugirió la tendencia a la pérdida y se atribuyó la vulnerabilidad de estos lugares tanto a la intervención antropogénica como al cambio climático. Para asegurar los servicios ecosistémicos esenciales en las regiones de abastecimiento de agua y la sostenibilidad ambiental del área investigada, se aconsejó poner en marcha planer de conservación y restauración de los bofedales

Jara *et al.* (2019), compararon las imágenes de Landsat-8 y Sentinel-2 para el cálculo del área de distribución, y nivel de mantenimiento del bofedal en la reserva del Chimborazo - Ecuador. Este procedimiento se creó mediante investigación in situ en dieciséis bofedales con distintos niveles de protección. Las imágenes Landsat-8 también Sentinel-2 se sometieron a corrección radiométrica,



lo que supuso restaurar las líneas o píxeles que faltaban y corregir el banding de la imagen. Además, se aplicó la corrección atmosférica, convirtiendo los valores digitales en niveles de radiancia. Estos procesos permitieron calcular varios índices de vegetación, siendo el NDVI, el SAVI, el EVI2 el NDWI el WDRI y el modelo Red Edge, exclusivo de Sentinel-2 para este estudio. Las variables más significativas para la clasificación del ecosistema bofedal de Landsat-8 utilizando Random Forest fueron EVI2 (37,73%) y SAVI (30,98%), pero para Sentinel-2, los valores más significativas fueron los índices WDRI (27,06%) y Red Edge (38,54%). Se identificaron dos categorías analíticas basadas en los índices computados: a) bofedal, que incluye los siguientes niveles: intervenido [1], algo mantenido [2] y b) otros, que incluye regiones que no se agrupan en ninguna de las categorías anteriores [4]. Según Landsat-8, el porcentaje de píxeles de la categoría bofedal que se clasificaron correctamente es [1] 72,76%, [2] 58,38%, y [3] 68,42%. Por el contrario, el 95,15% de los píxeles de la otra categoría [4] se clasificaron correctamente, siendo [1] 72,76%, [2] 58,38% y [3] 68,42%. Según Sentinel-2, la proporción de casos correctamente clasificados es [1] 95,00%, [2] 82,60%, [3] 96,25%, y 98,13% para la categoría otros [4]. Así, de las 52.560 ha que forman parte de la RPFCH, el bofedal constituye 21.708,54 ha (41,21%) según Landsat-8, y 20.518 ha (38,95%) según Sentinel-2. que Sentinel-2 logra resultados superiores en la clasificación de imágenes a razón de una mejor resolución espectral y a la adición de bandas Rojs.

2.1.2. Nacionales

Toribio (2023), examinó las consecuencias del retroceso glaciar del nevado Huaytapallana sobre los bofedales de la RCA Huaytapallana entre 1990 y 2020 en términos espaciales y temporales. El estudio empleó un diseño de



investigación descriptivo-correlacional y el método científico. Para alcanzar los objetivos, se creó un vínculo lineal entre el área de los bofedales y la cobertura glaciar utilizando técnicas de SIG que consintieron calcular el área de los bofedales utilizando el NDVI y la cobertura del nevado empleando los índices NDWI y NDSI. Finalmente, se calculó la superficie del ecosistema de bofedales, arrojando una superficie de 0,89 km² en 1990 y de 6,53 km² en 2020. Resultando que en la superficie glaciar se apreció en 27,74 km² en 1990 y para 2020 se estimó en 15,72 km², disminuyendo un 56,66% de la superficie nevada en 30 años; teniendo en cuenta los datos logrados sobre cobertura glaciar, se logró una proporción de 0,43 km²*año de disminución. En definitiva, el análisis del estudio llega a concluir que existe una relación negativa (inversa) entre ambas variables, lo que está respaldado por pruebas científicas. En consecuencia, la superficie de la reserva se ve afectada significativamente por el retroceso glaciar del nevado.

Pamo (2022), empleó imágenes satelitales y las herramientas de preprocesamiento y procesamiento ArcGis y Erdas Imagine, así como una altitud de 4194 msnm en Palca - Tacna, conocer el cambio histórico del bofedal de la comunidad de Ancomarca. La comunidad se sitúa entre las coordenadas 17°33' 18.59" LS y 69°35' 05.35" LW. Para ejecutar el proceso de categorización y clasificación y desarrollar categorías para el vigor vegetativo del bofedal, se calculó el NDVI para conocer el estado situacional del ecosistema del bofedal. Asimismo, se han aplicado algoritmos para determinar la tasa por año del cambio. Los resultados demuestran una reducción del área bofedal a lo largo de un período de estudio de 31 años, desde 1990 hasta 2021 (628,01 ha a 552,07 ha), con una tasa de variación anual de -0,43%, es decir, 2,67 ha anuales. Todo ello desarrollado por 3 etapas: primero, la compilación de las autorizaciones emitidas



por las autoridades; segundo, la interacción con la comunidad de Palca y sus parcialidades, como Ancomarca, que sirvió de sitio de estudio y recibió talleres de capacitación y sensibilización; y finalmente, la realización del trabajo en campo para completar el trabajo de gabinete y lograr resultados. Se recomienda que Palca y sus anejos creen políticas y planes de protección del medio ambiente, mantenimiento del capital humano, promoción del bienestar y salud, y el empleo de técnicas de la comunicación en la localización de una ventaja competitiva y de reproducción de ingresos.

Pamo *et al.* (2022), emplearon imágenes satelitales y las herramientas de preprocesamiento y procesamiento ArcGis y Erdas Imagine, así como una altitud de 4194 msnm en Palca - Tacna, conocer el cambio histórico del bofedal de la comunidad de Ancomarca. La comunidad se sitúa entre las coordenadas 17°33' 18.59" LS y 69°35' 05.35" LW. Para ejecutar el proceso de categorización y clasificación y desarrollar categorías para el vigor vegetativo del bofedal, se calculó el NDVI para conocer el estado situacional del ecosistema del bofedal. Asimismo, se han aplicado algoritmos para determinar la tasa por año del cambio. Los resultados demuestran una reducción del área bofedal a lo largo de un período de estudio de 31 años, desde 1990 hasta 2021 (628,01 ha a 552,07 ha), con una tasa de variación anual de -0,43%, es decir, 2,67 ha anuales. Todo ello desarrollado por 3 etapas: primero, la compilación de las autorizaciones emitidas por las autoridades; segundo, la interacción con la comunidad de Palca y sus parcialidades, como Ancomarca, que sirvió de sitio de estudio y recibió talleres de capacitación y sensibilización; y finalmente, la realización del trabajo en campo para completar el trabajo de gabinete y lograr resultados. Se recomienda que Palca y sus anejos creen políticas y planes de protección del medio ambiente,



mantenimiento del capital humano, promoción del bienestar y salud, y el empleo de técnicas de la comunicación en la localización de una ventaja competitiva y de reproducción de ingresos.

Machuca *et al.* (2021), evaluarón la salud de los bofedales mediante sensores remotos en la microcuenca Acocancha-Lima 2021, con énfasis en las características del agua, suelo, biota y paisaje alterado, así como el uso del NDVI y el (NDWI). El estudio tenía un énfasis cuantitativo aplicado y un enfoque de investigación no experimental, descriptivo y transversal. Además de analizar las propiedades de cada variable en el laboratorio con el apoyo de la guía de evaluación del estado del ecosistema Bofedal, se utilizó el programa ENVI para analizar imágenes de satélite Landsat 8 de las estaciones seca y lluviosa de 2013, 2017 y 2019. Los resultados muestran que el NDVI de los periodos definidos se determinó analizando fotos de satélite, con un valor entre 0 a 1 (mínimo) y un valor máximo de 0,082. El NDWI osciló entre un mínimo de 1 - 1 y un máximo de -1 a 0,008. La conservación regular se consiguió siguiendo los métodos de la guía. En conclusión, dado que los bofedales son el principal suministro de agua tanto para el río Chillón como para los habitantes de Huaros, es imperativo restaurarlos y conservarlos

2.1.3. Regionales

Gutiérrez (2018), estimó el grado de asociación entre la dinámica espaciotemporal de los bofedales entre los periodos de 1984 a 2016; 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.

Cruz *et al.* (2012), evaluó la dinámica de los bofedales en el altiplano peruano-boliviano mediante el cambio anual del NDVI y la cobertura aérea de los pastizales, se examinaron las variables de Cobertura y Uso del Suelo, cobertura aérea, escala geográfica de trabajo y tamaño de los bofedales a 2 resoluciones multiespectrales. Los satélites LANDSAT 2, 5, HRV de los satélites SPOT 4 y 5, MSS y TM de los satélites LANDSAT 11, 12 y 14, y el NDVI de las imágenes AVHRR de los satélites NOAA 11 y 14 constituyeron la variable principal de análisis. Se identificaron y cuantificaron las regiones de masas de agua, total, cultivos, saladar/suelo desnudo, total/Pajonal, pastizal (< 33% de cobertura) /Gramadal, pastizal bajo, pajonal, pastizal de uso intensificado/cultivo, y bofedales utilizando las fotos AVHRR NOAA. Los bofedales deben investigarse a resoluciones inferiores o iguales a 120 m, según un examen del NDVI a varias escalas espaciales adquirido a partir de fotos TM LANDSAT 5. El 62% de las 206431 hectáreas adquiridas a 1 km de resolución, o 127110 ha, eran bofedales a



una resolución de 30 m. Se comprobó que la biomasa vegetal aérea estaba relacionada con el NDVI de las fotos AVHRR NOAA 11 de la siguiente manera $Materia\ seca = 1,625 * NDVI - 1,3128$. El 90% de la varianza en materia seca verde a lo largo del periodo investigado se explicó por cambios en el NDVI. Los bofedales exhiben una capacidad de recuperación de biomasa, basada en la dinámica del NDVI derivado de las imágenes SPOT 4 y 5 Vegetación 1 - 2. Más concretamente, con las escenas LANDSAT 2 y 5 se aprecia una reducción de la superficie, lo que a su vez afecta a la capacidad de biomasa y regulación hídrica del ecosistema.

2.2. MARCO TEÓRICO

2.2.1. Ecosistema altoandino

De acuerdo Flores (2017), describe el ecosistema altoandino como una formación vegetal diversa, psicofítica, muy vellosa, herbácea y a menudo sin arboles, que se encuentra a elevaciones entre 2.800 y 4.800 m.s.n.m.

Ademas Andrade, (2016), señala que en los hábitats altoandinos se puede encontrar una importante diversidad de formas de vida y especies, que son especies de islas situadas en la cima de zonas altoandinas y divididas entre ambos por diversos ecosistemas. Asimismo, los ecosistemas de alta montaña se ven particularmente afectados por las actividades tectónicas, volcánicas, glaciares y antropogénicas, que alteran el medio ambiente circundante.

Debido a su ubicación geográfica, a los procesos biológicos que en ellos tienen lugar, como el contenido de carbono orgánico (CO₂), y a la presencia de flora endémica, que se categoriza por la presencia de plantas vasculares, podría



decirse que este tipo de ecosistemas engloba una notable biodiversidad; en contraste con la mínima presencia de fauna, que incluye reptiles, mamíferos y aves que viven en estos ecosistemas (Imbaquingo, 2021).

2.2.2. Bofedales

"Las zonas altoandinas, los valles, los cauces y riberas de los ríos y quebradas, o aquellos lugares de las laderas donde existen manantiales o nacientes de agua" albergan a los bofedales, que son formaciones vegetales. Estos lugares se distinguen por estar regados todo el año; en invierno (de mayo a junio), el bofedral muestra un color amarillento y las aguas se hielan. Siempre están formados por una variedad de plantas autóctonas muy nutritivas que se disponen en base de su menor o mayor contenido (Castro, 2021).

Imbaquingo (2021), la caracteriza como una región de terreno valioso con una extensión limitada. Su alto contenido en materia orgánica y su difícil drenaje contribuyen a su elevado contenido en humedad. El afloramiento superficial, el deshielo glaciar y las precipitaciones son las principales fuentes de su formación, y la vegetación hidrófita es la única flora que crece en él. Debido al nivel de agua que mantiene constantemente, su característico tono verde intenso hace que sea fácil distinguirlo de su entorno. Los bofedales se encuentran en las regiones altoandinas en superficies con poca pendiente y agua subterránea (Andrade, 2016).

Según la ANA (2021), también reciben el nombre de oqonales, que deriva de la palabra quechua oqo, que significa húmedo. Otros nombres para estas comunidades son turberas, praderas andinas, cenegales y bofedales altoandinos.

A diferencia de otras comunidades, estas comunidades están formadas por plantas perennes con una fisonomía herbácea cespitosa.

El bofedal sirve como un efectivo sistema natural de almacenamiento de agua; también, son filtros naturales que logran mejorar la calidad hídrica (Justo, 2023), sus zonas soportan una gran abundancia de fauna y flora, y su vegetación habita suelos permanentemente húmedos, lo cual es crucial para conservar el agua durante los periodos secos (Rondoy *et al.* 2020). La Convención RAMSAR (2015), reconoce a los bofedales como ecosistemas susceptibles vinculados a las variables climáticas, las sequías extensas y la intervención antrópica. En consecuencia, estos bofedales son reconocidos como ecosistemas tácticos porque sirven como fuentes de agua y regulan diversas actividades (Ramos *et al.* 2020).

Figura 1

Bofedales



Nota. Obtenido de (Gutierrez, 2018)

2.2.2.1. Composición florística de los bofedales

La mayor parte de los bofedales son complejos de varias comunidades vegetales, y su composición y riqueza florística o botánica varían mucho en base a los factores como la ubicación, la altura, la elevación, la humedad, la exposición, la latitud, el efecto del ganado, etc. (Castro, 2021), existen cuatro comunidades vegetales hidrófilas -turberas de *Distichia*, turberas con arbustos y musgos, praderas turbosas y pastizales de arroyo- que los lugareños de diversas zonas del país pueden identificar con los bofedales (Toribio, 2023).

- a) **Turberas de *Distichia* (*Distichia peatland*)-**. Cojines duros constituidos en su mayoría por especies de *Distichia*, carencia de arbustos, mínima presencia de hierbas y musgos y, la mayoría de las veces, ausencia de *Sphagnum* son las características de esta comunidad vegetal de puna. Las juncáceas (*Juncus capitatus*), las gramíneas (*Calamagrostis*, *Festuca* nativa y *Agrostis*) y las esponjas se presentan primordialmente en el centro y sur del Perú; esta comunidad, específicamente el área entre los 4000 y 4200 metros de elevación, es un bofedal (Maldonado, 2010).
- b) **Turberas con Musgos y Arbustos (*Peatland with mosses and shrubs*)-**. Esta clase de bofedal se distingue por "arbustos ericáceos dispersos y abundancia de musgos, en especial especies del género *Sphagnum*". No es muy común en Perú y se encuentra en el norte y oeste del país, en las regiones conocidas como "Jalca y Páramo". Se parece mucho al *Sphagnum* y es comparable a las comunidades vegetales de Ecuador y Colombia (Castro, 2021).



- c) **Prados Turbosos (*Peaty meadow*)**-. "La presencia de numerosas especies del genero Poaceae y la falta de Sphagnum" son características de las praderas turbosas. Se encuentran en las laderas occidentales del Perú y en los paisajes interandinos; las comunidades de plantas vasculares más comunes son las gramíneas altas, principalmente especies de Festuca y Calamagrostis, o Juncaceae (especies de Juncus, Eleocharis, Phylloscirpus y Scirpus), o Cyperaceae (especies de Eleocharis, Carex, Phylloscirpus y Scirpus). Sin embargo la calidad del forraje varía en función del compuesto única de la flora de cada lugar, la presencia de Ciperáceas y Juncáceas suele proporcionar un buen alimento para el pastoreo" (Castro, 2021).
- d) **Césped de Arroyo (*Stream grassland*)**-. El pasto de arroyo se distingue por "una alfombra de plantas muy diminutas presentes en la zona". Típicamente se encuentra alrededor de fuentes hidricas y riberas de ríos, así como en ambientes húmedos, el pasto de arroyo no está clasificado oficialmente como Sphagnum y se distribuye por las laderas occidentales e interandinas del país, de forma muy parecida a los prados turbosos. *Plantago tubulosa* Decne y *Werneria pygmaea* Gillies ex Hook. Y Arn. son dos de las especies características; también están presentes otras especies de Cyperaceae, Asteraceae y Juncaceae; *plantago tubulosa* es una planta indeseable para ovejas, llamas y alpacas; por lo tanto, cuando *P. tubulosa* es predominante, el nivel de esta comunidad vegetal para el ganado es menor que el de otros tipos de bofedales (Maldonado, 2010).

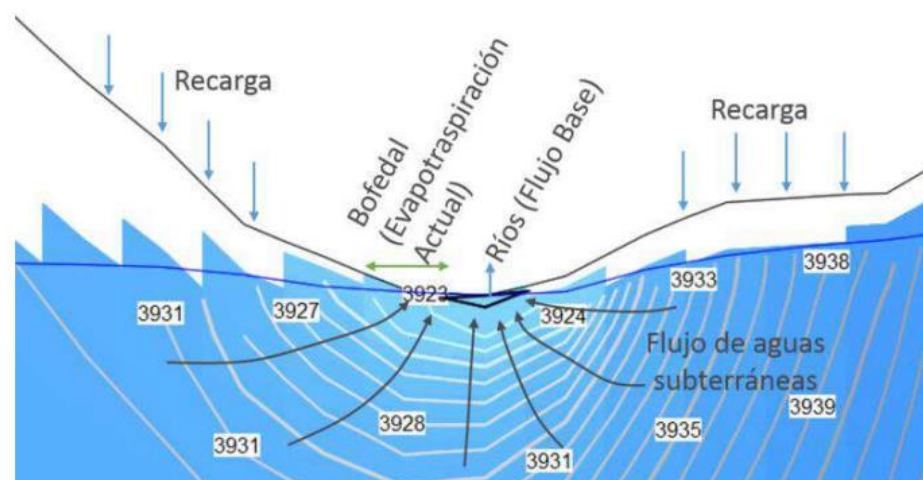
2.2.2.2. Características de los bofedales

Su característica distintiva es que son formas vegetales que surgen en suelos orgánicos que presentan un gradiente de humedad por estación o permanente. En estas condiciones, las praderas de especies herbáceas toman forma, apareciendo gruesas y planas como cojines (almohadillas) (Aduvire *et al.* 2021).

Dado que los bofedales y los manantiales están situados en zonas de descarga de aguas subterráneas, ningún bofedal se infiltrará en las aguas subterráneas. En su lugar, la descarga de los bofedales es evapotranspiración -es decir, el agua es liberada como vapor de transpiración por las plantas al transpirar a través de sus estomas-, mientras que los manantiales liberan flujo de agua superficial junto con una descarga de agua subterránea que actúa como flujo base para aumentar el caudal del curso de agua (Lacho, 2018).

Figura 2

Modelo de recarga de un bofedal



Nota. Obtenido de (Lacho, 2018)

Dado que el depósito de aguas subterráneas se llena tras la estación de lluvias, los bofedales alcanzan su máxima extensión en mayo, al comienzo de la estación seca. El depósito de aguas subterráneas se reduce a medida que avanza la estación seca, lo que hace descender el nivel freático y, en consecuencia, el tamaño de los bofedales. Cuando los bofedales alcanzan su menor longitud en octubre, la temporada de lluvias, que comienza en noviembre, empieza a revegetarlos (Montoya, 2017).

El ion primario en los bofedales grandes, que están ligados a manantiales en cuencas andinas con caudales mayores a 1 l/s, es el bicarbonato, mientras que el ion primario en los bofedales pequeños, que tienen caudales menores a 0,1 l/s, es el cloruro (Montoya, 2017).

2.2.2.3. Servicios ecosistémicos de los bofedales

Según el MINAM (2022), afirma que cuando los ecosistemas operan de manera óptima, las sociedades pueden beneficiarse directa o indirectamente de ventajas económicas, sociales y ambientales. Se pueden clasificar como proveedores, reguladores, de apoyo o culturales dependiendo del tipo de trabajo que realicen (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	



Servicios	Tipología Servicio Ecosistémico
Protección de procesos de erosión de la turba y el suelo	Regulación
Purificación del agua	
Almacén de agua	
Regulación hídrica	
Regulación del clima local	
Regulación climática global	Soporte
Refugio de fauna y de biodiversidad	
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)

A continuación, se enumeran los servicios que ofrecen los bofedales, según MINAM (2019):

a) Servicios de provisión:

- **Forraje para el ganado:** Las alpacas utilizan los bofedales como su alimento de manera natural, pero cuando hay presencia de ovinos, equinos y bovinos, estos animales utilizan diversas partes de los bofedales.
- **Turba:** Siendo un abono para los viveros de todo la nación y como medio para lograr el autoabastecimiento en lugares donde la población local carece de acceso a otras fuentes de abastecimiento.
- **Plantas medicinales:** Podrían observarse especies que desarrollan la humedad y que se utilizan en medicina natural.
- **Agua:** Se trata de uno de los recursos más valiosos pero menos estudiados de las regiones bajas de la cuenca.



b) Servicios de regulación:

- **Almacenamiento de carbono:** La turba, o también nombrado suelo orgánico, de los bofedales es crucial para almacenar y fijar el carbono.
- **Protección de procesos de erosión del suelo y la turba:** El agua es el primordial coeficiente de erosión. Mantener la cobertura herbácea saludable puede contribuir a reducir la velocidad del agua a su paso por el bofedal debido a la fricción.
- **Purificación hídrica:** Se ha demostrado que los bofedales reducen la proporción de metales, logrando mejorar 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:** Dado que la turba trabaja como una esponja, el agua no se libera durante toda la estación seca, sino también durante los periodos de precipitaciones.
- **Regulaciones climáticas locales:** Esto tiene que ver con la alta temperatura molecular del agua y el volumen de agua que retienen las turberas. 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 mediante la fotosíntesis y el 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 GEI y acelera el cambio climático.

c) Servicios de soporte:

- **Refugio de la vida silvestre y biodiversidad:** Los bofedales de los Andes son capaces de sustentar una gran diversidad de especies nativas en un entorno propicio para su adaptación.
- **Formación de turba:** Es el primordial procedimiento para mantener un bofedal y tiene lugar durante el hidroperiodo.
- **Mantenimiento del ciclo de nutrientes:** El ciclo primario en este procedimiento de mantenimiento es el carbono.

d) Servicios culturales: Los bofedales se encuentran en condiciones suficientes e ideales, se valoran por:

- Su belleza paisajística
- Su uso como destino turístico y de ocio.

2.2.3. Imagen satelital Landsat

Las fotos proceden de satélites denominados LANDSAT, que significa tierra y satélite. Se componen de siete u ocho bandas multiespectrales. Gracias a su gran resolución se puede detectar y rastrear la superficie terrestre (Espinoza, 2022). Siendo ultimamente la serie, el LandSat 9, tiene una mejor visualización radiométrica que detecta fluctuaciones más sutiles, principalmente en zonas oscuras, como bosques y agua (Nasa, 2021).

Dichos satélites vigilan la superficie del planeta cada quince días, recopilando datos en tiempo real en áreas de 180 a 170 kilómetros con una

resolución máxima de 15 mts por cada píxelada. Logrando ser mediante series temporales de fotografías, logrando detectar variaciones en vastas zonas de la superficie en largo lapso de tiempo. Las imágenes del LandSat son especialmente útiles para vigilar y recopilar datos sobre cualquier tipo de cubierta terrestre (Briones, 2018).

Estos satélites estadounidenses facilitan sustancialmente la elaboración de cartografía temática y métrica a partir de información geográfica (Córdova, 2019).

El USGS proporciona las fotos de satélite creadas y comercializadas por la NASA para las naves espaciales LandSat 7, 8 y 9, actualmente en uso y mantenimiento. La Tabla 1 proporciona acceso a las imágenes de la misión LandSat por intervalo de tiempo, abarcando desde LandSat 1 hasta el 9 más actual:

Tabla 2

Fecha de lanzamientos y fin de operación de las misiones landsat

Satélite	Fecha de Lanzamiento	Fin de operación
LandSat 1 (ERTS 1)	23/julio/1972	05/enero/0978
LandSat 2	22/enero/1975	27/julio/1983
LandSat 3	05/marzo/1978	07/septiembre/1993
LandSat 4	16/julio/1982	07/septiembre/1993
LandSat 5	01/marzo/1984	Enero/2013
LandSat 6	03/octubre/1993	Lanzamiento fallido
LandSat 7	15/abril/1999	En operación
LandSat 8	11/febrero/2013	En operación
LandSat 9	27/septiembre/2021	En operación

Nota. Obtenido de (Carvajal, 2022)

2.2.3.1. Clasificación

De acuerdo Cozo (2022), es la operación de clasificación o categorización de píxeles basado en niveles cuantificables, en ciertas expresiones, un píxel se coloca en una clase o categoría si satisface un conjunto específico de cualidades. La finalidad de la categorización es forjar mapas temáticos mediante fotos con datos.

❖ Clasificación no supervisada

Según Cozo (2022), un aspecto de este método es la interpretación de las clases espectrales exhibidas en la foto. dicho método se diferencia debido a que no necesita conocimientos previos en el campo de estudio o empleo. La interpretación de los resultados es el propósito principal de la intervención manual.

❖ Clasificación supervisada

Según Cozo (2022), la técnica de categorización supervisada presenta dos fases: entrenamiento y mapeo. Basándose en la comprensión de la cobertura de la imagen en cada categoría espectral.

2.2.3.2. Combinación de bandas

Es posible combinar las diversas bandas espectrales de cada imagen satelital para generar otras nuevas. Ciertas instrucciones de las aplicaciones de interpretación de imágenes permiten combinar bandas y asignarlas a distintos colores de visualización para realizar este proceso (Briones, 2018).



Combinando las bandas azul, verde y roja correspondientes, se pueden producir imágenes en color verdadero similares a las tomadas desde arriba. La imagen Landsat se compone de las bandas 1-2-3, cada una de las cuales tiene los correspondientes matices de rojo, verde y azul. La fotografía en falso color aplica los matices verde, azul, y rojo a muchas bandas espectrales para desviarse de esta tendencia (Chahua, 2019).

Las imágenes en falso color se crean combinando las bandas 2-3-4 de Landsat; estas imágenes se emplean frecuentemente para descifrar fotografías del satélite y dar un color específico a cada elemento, la banda 2 especifica la radiansa verde, la banda 3 especifica la radianaa verde y la banda 4 especifica la radiansa infrarroja. El azul se fija a la banda 2 y el verde a la banda 3 (Cozo, 2022).

Es posible crear nuevas imágenes combinando muchas bandas de fotografías de satélite. Las aplicaciones para interpretar imágenes vienen con instructivos específicas que consienten mezclar las bandas y brindar a todas un determinado color de exhibicion diferente. Combinando las bandas que representan el azul, el verde y el rojo, se logra producir una foto en color real que se asemeja a una fotografía aérea (Acosta, 2017).

Ante ello, las imágenes Landsat se combinan para formar una imagen con las bandas 1-2-3, a cada una de las cuales se le fija un color determinado, en dicho ejemplo, verde, azul, y rojo. Al asignar bandas espectrales distintas a los tonos verde, azul, y rojo, se obtiene una figura en falso color que se escapa de este patrón. Al fusionar las bandas 2-3-4

del Landsat, se origina una imagen en falso color que se usa con frecuencia en la evaluación de fotografías de satélite (Allcca, 2021).

Como consecuencia, se crea una imagen de color artificial, en la que la vegetación sometida a estrés (por enfermedad o sequía) aparece amarillenta y la vegetación de las zonas con bosque aparece de color rojo oscuro. Esto es así porque la mas importante proporción de la luz infrarroja cercana ingresada es reflejada por una vegetación viva. Los ríos con arena parecerán azules, mientras que las masas de agua aparecerán negras. En última instancia, la imagen mostrará el terreno como gris azulado, con el matiz de los campos y pastos de cultivo apareciendo de color rojo suave (Briones, 2018).

2.2.3.3. Índice Kappa

Morales *et al.* (2016), su finalidad es estimar si la clasificación, tal y como indica la ecuación, ha retratado de forma significativamente más precisa la categoría de interés que la producida por la asignación aleatoria. Además, el índice Kappa esta basada principalmente en la precisión de la categorización, descartando la producida por elementos aleatorios. Evalúa la variación entre el mapa presentado y la correspondencia entre lo que es real y la expectativa.

$$k = \frac{N \sum X_{ii} - \sum (X_{ii} * X_{+i})}{N^2 - \sum (X_i * X_{+i})}$$

Donde:

X_{ii} : indica el acuerdo observado y

N : es igual al total de datos muestreados,

$(X_i * X_{+i})$: es la semejanza esperada

Tabla 3

Valoración del índice 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	Casi perfecta

Nota. Obtenido de (Cozo, 2022)

2.2.4. Índices espectrales para la delimitación de bofedales

Para investigar la cobertura vegetal de una región a partir de fotos satelitales se han desarrollado muchas estrategias que permiten obtener datos cualitativos y cuantitativos sobre la salud de la vegetación (Lacho, 2018).

Los bofedales pueden distinguirse por su ubicación única, cantidad de biomasa (índice de vegetación) y rango de pendiente. Mediante el uso SIG y teledetección, podremos detectar los bofedales gracias a los criterios dados anteriormente (Lacho, 2018).

2.2.4.1. Índice de Diferencia Normalizada de Vegetación (NDVI)

El uso de índices vegetativos asociados al verdor es uno de los diversos enfoques para analizar las variaciones estacionales de la vegetación que tienen lugar en las imágenes de satélite. Aplicado directamente a las comunidades vegetales, el NDVI determina la incidencia entre la energía tomada y reflejada por los objetos del planeta. El índice proporciona niveles de la intensidad de verdor de una superficie



y establece la cantidad de vegetación exhibida, así mismo su salud o el vigor de las plantas (Imbaquingo, 2021).

Además, la vegetación sana tiene un color verde oscuro y valores de reflectividad bajos en las bandas roja y azul, una reflectividad alta en la banda verde y una reflectancia extremadamente alta en el espectro infrarrojo cercano. Por el contrario, la vegetación que está muerta tiene un color verde parduzco y no emite reflectividad en cualquiera de las bandas. Por el contrario, la vegetación poco saludable tiene un color verde amarillento y presenta una reflectividad baja en las bandas roja y azul, una reflectividad alta en la banda verde y una reflectividad pobre en el rango del infrarrojo (Tafur, 2017).

$$NDVI (L8) = \frac{\rho_{b4} - \rho_{b3}}{\rho_{b4} + \rho_{b3}}$$

Donde:

ρ_{b5} : Reflectancia en la banda 3 (rojo).

ρ_{b2} : Reflectancia en la banda 4 (infrarrojo).

El NDVI tiene un rango de valores entre (-1) y (+1), solo los niveles positivos manifiestan zonas de vegetación; no obstante, el rango típico de la vegetación verde está entre 0,2 y 0,8 (Tafur, 2017).



2.3. MARCO CONCEPTUAL

2.3.1. Cambio climático

La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) distingue entre "variabilidad del clima" atribuida a sucesos naturales y "cambio climático" atribuida a la actividad humana que modifica la composición atmosférica (Lacho, 2018).

2.3.2. Ecosistema

Complejo dinámico de poblaciones vegetales, animales y microbianas junto con su entorno no vivo que trabajan juntos para servir a la población mediante la producción de servicios y bienes (MINAM, 2019).

2.3.3. Cuenca

Área cubierta por una unidad territorial de drenaje cuando el agua ingresa a un mismo cauce (Chavez, 2015).

2.3.4. Cobertura vegetal

Son todas aquellas que conciernen el crecimiento de plantas con la intención de mejorar el potencial productivo de la tierra y contribuir en la reducción de la erosión del suelo (Córdova *et al.* 2020).

2.3.5. 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).



2.3.6. Sistema de Información Geográfica

Este instrumento facilita la comprensión, exposición y planificación de los acontecimientos que ocurren en la superficie del planeta. Es un sistema integrado de procesamiento de información, captura, almacenamiento, manejo y visualización de datos con enfoque y significado geográfico. Vector y ráster son las dos formas fundamentales de los SIG (Pamo, 2022).

2.3.7. Análisis multitemporal

La comparación de las temporalidades de una zona o ambiente a lo largo del tiempo permite la interpretación de coberturas, posibilitando la evaluación de cambios en el tiempo y la inferencia de efectos ambientales resultantes de fuentes antrópicas o naturales (Jara, 2019).

2.3.8. Imágenes satelitales

A una altitud de unos 700 km, los satélites para visualizar recursos naturales se desplazan de norte a sur y transportan un conjunto de sensores que miden la irradiancia solar reflejada desde variadas regiones de la superficie y la dividen en varias bandas del satélite. Así mismo el satélite "observa" líneas de piezas microscópicas que, colocadas una al lado de la otra, proporcionan imágenes del satélite mientras viaja por el espacio (Pamo, 2022)

2.3.9. Landsat

Son varios los satélites utilizados para la observación terrestre. Lanzado en abril de 1999, el satélite LANDSAT 7 está equipado con un novedoso sensor conocido como ETM+ (Enhanced Thematic Mapper Plus) (Pamo, 2022).

CAPÍTULO III

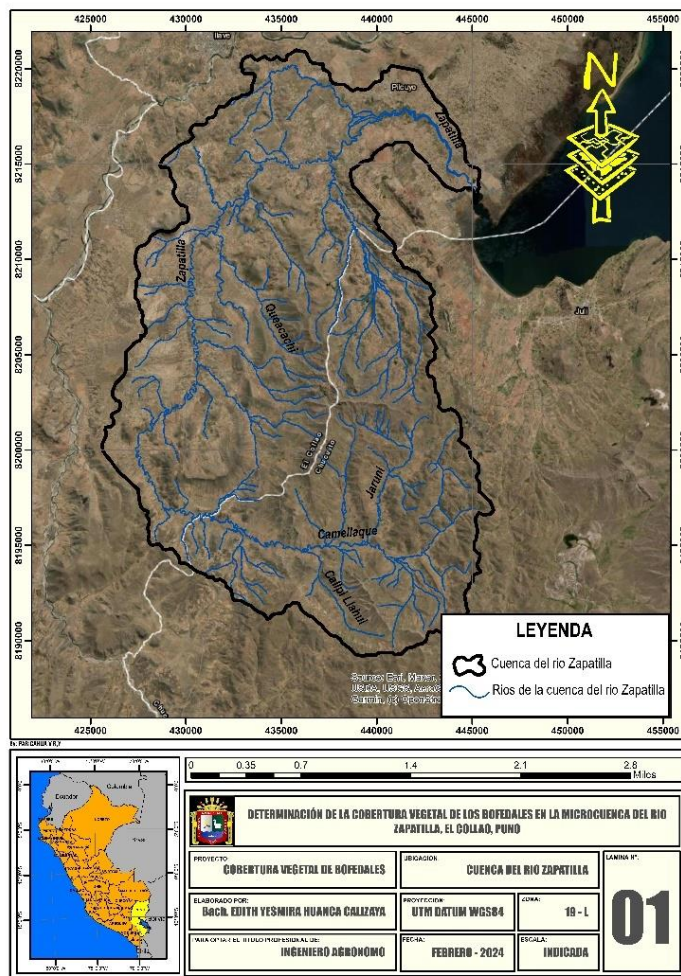
MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. ZONA DE ESTUDIO

Está localizada en el departamento de Puno, abarcando parte de la jurisdicción de la provincia de El Collao y Juli, comprendiendo los distritos de Pilcuyo, Ilave y Juli, siendo la microcuenca del río Zapatilla que está situado en las siguientes Coordenadas Geográficas, Latitud: $14^{\circ}46'13.63''S$ Longitud: $70^{\circ}54'9.62''O$, y a 3975 m.s.n.m. de altitud, exhibida en la **figura 3**.

Figura 3

Mapa de ubicación de la zona en estudio



3.1.1. Límites.

La cuenca del río Zapatilla limita por el norte con la cuenca Aguas Calientes; por el sur con la cuenca Unicachi, por el este con el Lago Titicaca; y por el oeste igualmente con la cuenca Aguas Calientes.

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 (tabla 4).

Tabla 4

Vías de comunicación y accesibilidad al área en estudio

Partida	Fin	Distancia	Tiempo	Tipo de vía	Medio de transporte
Puno	Ilave	130.00 km	1:30 h.	Carretera asfaltada	Bus/Automóvil
Ilave	Pilcuyo	18.6 km	0:31 h	Carretera asfaltada	Bus/Automóvil
Pilcuyo	Cuenca del río Zapatilla	10.0 km	0:10 h	Carretera asfaltada	Bus/Automóvil

3.2. TIPO DE INVESTIGACIÓN

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 incidencia entre 2 o más variables (Hernández *et al.* 2018).

El nivel de investigación aplicado en el desarrollo del presente proyecto 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 *et al.* 2018).

Así mismo la investigación es correlacional ya que tiene como objetivo identificar y analizar la relación o asociación entre dos o más variables sin manipularlas; enfocándose principalmente en determinar si existe una correlación y en qué dirección se presenta (Hernández *et al.* 2018).

3.3. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS

a) Técnicas

La técnica principal de recogida de datos para este estudio es la observación; otras técnicas incluyen una evaluación bibliográfica de tesis, libros, publicaciones científicas, sitios web y otros materiales.

b) Instrumentos

- Ficha de observación
- GPS
- Software Microsoft Excel
- Software Microsoft Office
- Software ArcGIS
- Imágenes satelitales Landsat del sitio web EarthExplorer del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS)



3.4. POBLACIÓN Y MUESTRA

3.4.1. Población

La población se presenta por todos los bofedales presentes en toda la extensión que comprende la microcuenca del río Zapatilla.

3.4.2. Muestra

Se ha especificado un muestreo no probabilístico a juicio del investigador; ante ello la muestra está establecida por 8 bofedales de la microcuenca del río Zapatilla.

3.5. PROCEDIMIENTO METODOLÓGICO

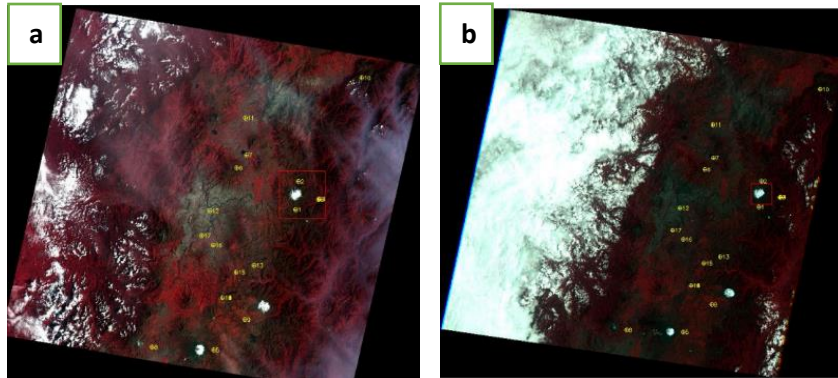
3.5.1. Determinar el cambio histórico multitemporal de los bofedales en la microcuenca del río Zapatilla

a) Descarga de imágenes satelitales

Para el cumplimiento del presente objetivo se adquirió imágenes satelitales Landsat, que fueron descargadas de la web EarthExplorer del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS), dentro de las cuales se escogió el cuadrante que abarca la microcuenca; 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 2023 (total 33 años) para la región en estudio.

Figura 4

Imagen satelital Landsat



NOTA: a) Baja nubosidad

b) alta nubosidad

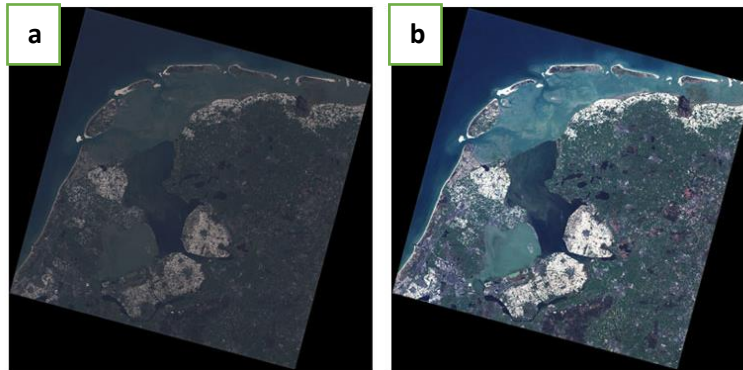
Nota. Obtenido de (Cabrera *et al.* 2022)

b) Corrección atmosférica de las imágenes satelitales

Consecutivamente se realizó la corrección atmosférica a cada imagen satelital obtenida; para la eliminar cualquier perturbación atmosférica; ante ello, 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 visualizar con más precisión y mejor nitidez sobre la cobertura vegetal en bofedales.

Figura 5

Imagen satelital con corrección atmosférica



a) Sin corrección atmosférica b) Con corrección atmosférica

Nota. Obtenido de (Cabrera *et al.* 2022)

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).

Ante 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).

Produjo niveles ráster de -1 a +1, que luego se categorizaron de acuerdo con los criterios apropiados para cada índice vegetativo. Además, según Álvarez (2018), los valores umbral del NDVI para la vegetación normalmente se sitúan entre 0,2 y 1, la cubierta vegetal densa que se encuentra en excelentes condiciones se encuentra superior a 0,6, los valores por debajo de 0 se asocian a masas de agua, y los rangos entre 0 y 0,09-0,1 se asocian a nubosidad y sombras.

Así mismo según Subia (2020), explica cómo la vegetación verde responde a la reflexión de la luz roja e infrarroja aumentando la cantidad de clorofila, que aumenta la absorción de la luz roja entrante, y el volumen de las hojas, que aumenta la reflectancia de la luz infrarroja. La utilización de una sola banda puede dar lugar a imprecisiones, ya que podría haber otras coberturas con una fuerte reflectancia infrarroja o una elevada absorción del rojo. Sin embargo, sólo las plantas vivas provocan sistemáticamente ambas reacciones.

d) Determinación de la tasa de cambio de la cobertura vegetal de los bofedales

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

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

Donde:

T.C. : Tasa de cambio de cobertura vegetal (%)

s₂ : Superficie de año final (km²)

s₁ : Superficie de año inicial (km²)

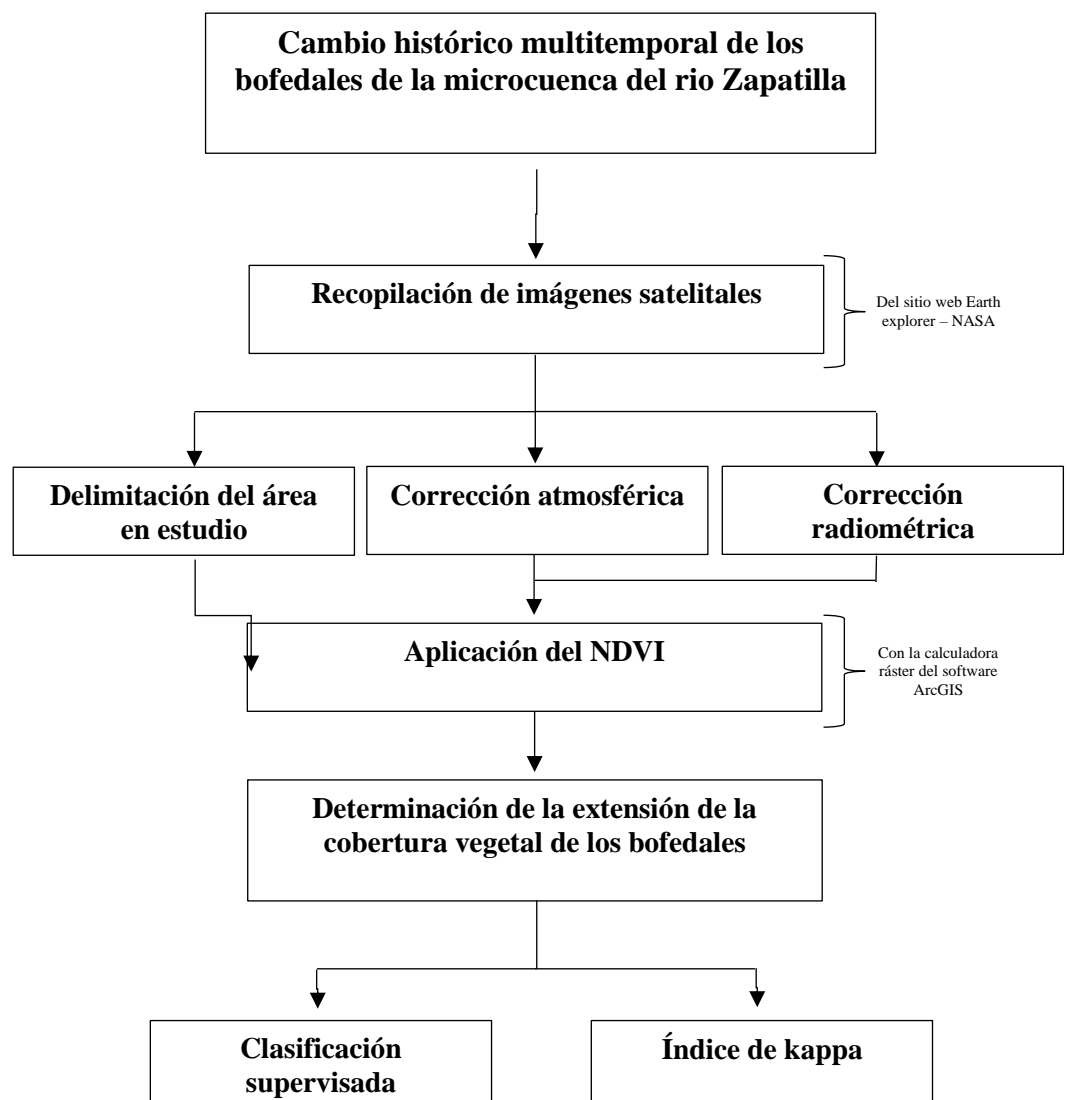
t₂ - t₁ : tiempo transcurrido (años)

e) Clasificación supervisada

Mediante la creación de puntos de control con la herramienta Train Maximum Likelihood Classifier (clasificación de máxima verosimilitud), cada bofedal se clasifico de forma supervisada para poder verificar sobre el terreno que se trata de la cobertura vegetal de los bofedales descubierta mediante el procedimiento en el software ArcGIS; además fueron validadas por medio del índice Kappa.

Figura 6

Organigrama del procedimiento metodológico





3.5.2. Determinar la relación existente entre la precipitación y temperatura en la superficie de los bofedales en la microcuenca del río Zapatilla

Para determinar la relación existente entre la precipitación-temperatura y la superficie de bofedales en la microcuenca del río Zapatilla; se realizó la descarga de datos de precipitación y temperatura de las estaciones meteorológicas más próximas a la zona en estudio del sitio web del SENAMHI; debidamente con la prueba de consistencia para el conocimiento de la confiabilidad de la información:

a) Análisis de la consistencia de los datos meteorológicos

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 realiza a partir de la información de que se dispone actualmente, 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.

Para ello, se empleó el análisis de doble masa debidamente dicho, que consiste en determinar las fuentes de los sucesos naturales o si han sido provocados por errores sistemáticos a partir de las "rupturas" que aparecen en los diagramas. En tal caso, permite estimar el rango de tiempos dudosos y fiables de la estación investigada, que debe ajustarse en función de determinadas normas estadísticas. En este caso, se observan los protocolos subsiguientes:

Consistencia de la media

- **Cálculo de la media y de la desviación estándar para las submuestras, según:**

Se realizó mediante la siguiente ecuación:

$$\bar{X}_1 = \frac{1}{n_1} \sum_{i=1}^{n_1} x_i \quad ; \quad S_1(x) = \left[\frac{1}{n_1 - 1} \sum_{i=1}^{n_1} (x_i - \bar{x}_1)^2 \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$\bar{X}_2 = \frac{1}{n_2} \sum_{j=1}^{n_2} x_j \quad ; \quad S_2(x) = \left[\frac{1}{n_2 - 1} \sum_{j=1}^{n_2} (x_j - \bar{x}_2)^2 \right]^{\frac{1}{2}}$$

Donde:

x_i : Valores de la serie del período 1 (datos posibles dudosos)

x_j : Valores de la serie del período 1 (datos confiables)

\bar{X}_1 , \bar{X}_2 : Promedio en los períodos 1 y 2

$S_1(x)$, $S_2(x)$: desviación estándar en los períodos 1 y 2

n : Muestra

n_1 , n_2 : Tamaño de las submuestras

$n = n_1 + n_2$

- **Cálculo del “t” calculado (tc) según:**

Se realizó mediante la siguiente ecuación:

$$S_{\bar{d}} = S_p \left[\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right]^{\frac{1}{2}}$$

Además:

$$S_p = \left[\frac{(n_1 - 1)S_1^2 + (n_2 - 1)S_2^2}{n_1 + n_2 - 2} \right]^{\frac{1}{2}}$$

Donde:

$S_{\bar{d}}$: Desviación de las diferencias de los promedios

S_p : Desviación estándar

Cálculo de la “t” calculada:

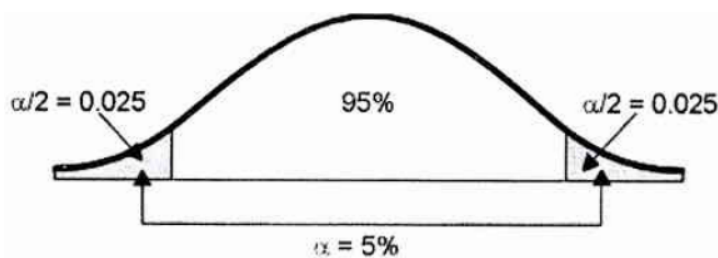
$$t_c = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{S_{\bar{d}}}$$

- **Cálculo del “t” tabulada (t_t):**

El valor t crítico con una probabilidad del 95% y un umbral de significación del 5%, o con $\alpha/2 = 0,025$ y grados de libertad, puede consultarse en la tabla t de Student (**anexo 3**) $v = n_1 + n_2 + 2$

Figura 7

T de Student



Nota. Obtenido de Villon (2005)

- **Comparación del t_c con el t_t :**

- Si $t_c \leq t_t$ (95%) $\rightarrow \bar{X}_1 = \bar{X}_2$ (Estadísticamente)

Ante ello, siendo las medias $\bar{X}_1 = \bar{X}_2$, no se debe efectuar un proceso de corrección; por ende, los datos son estadísticamente consistentes u confiables



- Si $t_c > t_t$ (95%) $\rightarrow \bar{X}_1 \neq \bar{X}_2$ (Estadísticamente)

Ante ello, siendo las medias $\bar{X}_1 \neq \bar{X}_2$, se debe corregir los datos; por ende,

los datos no son estadísticamente consistentes u confiables

Consistencia de la Desviación Estándar

- **Cálculo del F calculado (F_c), según:**

$$F_c = \frac{S_1^2(x)}{S_2^2(x)} , \text{ Si } S_1^2(x) > S_2^2(x)$$

$$F_c = \frac{S_2^2(x)}{S_1^2(x)} , \text{ Si } S_2^2(x) > S_1^2(x)$$

- **Cálculo del F tabulada (F_t), según:**

Se obtiene a partir de las tablas F (**Anexo 3**) con grados de libertad y una probabilidad al 95%, o a un nivel significativo del 5%, es decir, con $\alpha/2 = 0,025$.

$$G. L. N. = n_1 - 1] , \quad \text{Si } S_1^2(x) > S_2^2(x)$$

$$G. L. D. = n_1 - 1] , \quad \text{Si } S_1^2(x) > S_2^2(x)$$

$$G. L. N. = n_2 - 1] , \quad \text{Si } S_2^2(x) > S_1^2(x)$$

$$G. L. D. = n_1 - 1] , \quad \text{Si } S_1^2(x) > S_2^2(x)$$

Donde:

$G. L. N.$: Grados de libertad del denominador

$G. L. N.$: Grados de libertad del numerador

- **Comparación del F_c con el F_t :**

- Si $F_c \leq F_t$ (95%) $\rightarrow S_1(x) = S_2(x)$



Estadísticamente, no se debe realizar proceso de corrección; por ende, los datos son estadísticamente consistentes u confiables.

$$- \text{ Si } F_c > F_t (95\%) \rightarrow S_1(x) \neq S_2(x)$$

Estadísticamente, se debe efectuar proceso de corrección; por ende, los datos no son estadísticamente consistentes u confiables.

Corrección de los datos

Cuando existen parámetros de media y desviación típica estadísticamente equivalentes entre las submuestras de las series temporales, la información original sigue siendo coherentes con una probabilidad del 95%, incluso en presencia de desviaciones menores en la masa doble. Por consiguiente, no es necesaria **ninguna corrección**. En caso contrario, se utilizan las fórmulas siguientes para ajustar los valores de las submuestras:

$$X'_t = \frac{x_t - \bar{x}_1}{S_1(x)} \cdot S_2(x) + \bar{x}_2$$

$$X'_t = \frac{x_t - \bar{x}_2}{S_2(x)} \cdot S_1(x) + \bar{x}_1$$

Donde:

X'_t : Valor corregido de saltos

x_t : Valor a ser corregido

La primera ecuación se emplea cuando se deben corregir los niveles de la submuestra de tamaño n_1 la segunda expresión, se utiliza si se logran corregir la submuestra de tamaño n_2 .

Finalmente, las variables climáticas (precipitación y temperatura) al ser estadísticamente consistentes; se interpolaron al Software ArcGIS y mediante la herramienta ArcToolbox > Spatial Analyst Tools > interpolate> Kriging; generar la modelación de la precipitación y temperatura en la zona en estudio.

La metodología Kriging es una técnica de interpolación espacial para estimar valores desconocidos en ubicaciones no muestreadas a partir de datos recopilados en puntos de muestreo conocidos. Esta técnica se basa en el análisis estadístico de la distribución espacial de los datos para generar una superficie continua que representa la variable de interés.

3.5.3. Determinar el estado de los bofedales de la microcuenca del río Zapatilla

Para determinar el estado de los bofedales de la microcuenca del río Zapatilla, se siguieron los procedimientos descritos por la guía de evaluación del estado del ecosistema bofedal del MINAM (2019), el cual indica los siguientes procedimientos:

Tabla 5

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 ($\text{kg MS}/\text{ha}$)

Atributos	Indicadores
Alteraciones en el paisaje	Presencia de factores de degradación (cualitativo) Conectividad hidrológica del bofedal (cualitativo)

Nota. Obtenido de (MINAM, 2019)

a) Condición del agua

- **Nivel de la napa freática durante la época seca:** En cuanto a la superficie del suelo, describe la profundidad a la que se encuentra la capa freática. La medida en que el bofedal se ve afectado por la estacionalidad puede determinarse midiéndolo durante la estación seca. Esto podría deberse a que se trata de una turbera estacional, lo que significa que su turba es igualmente poco profunda, o si su turba es profunda, podría deberse a cambios en el suministro de agua de la turbera. En cualquier caso, permite comprender el equilibrio que existe entre la descomposición de la turba, que sólo se produce cuando el suelo no presenta saturación de agua durante la estación seca, y la acumulación de turba, que siempre tiene lugar durante la estación húmeda.
- **Conductividad eléctrica:** Muestra la cantidad de iones presentes en el agua. Los niveles elevados de conductividad sugieren perjuicios de sales cuando el pH es alcalino. Un pH ácido puede indicar un elevado contenido en metales. Ambos aluden problemas con la calidad del agua.

Tabla 6

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

Indicador	Rango de valores de referencia	Puntaje
	< 52	8.8
Conductividad eléctrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	52 - 110	5.9
	110 - 215	2.9
	> 215	0.0

Nota. Obtenido de (MINAM, 2019)

b) Condición del suelo

- **Profundidad de turba:** Conocer la profundidad a la que se encuentra el lecho rocoso o el suelo mineral y a la que desaparece la turba puede ser útil para determinar el potencial de un bofedal para el almacenamiento de carbono y agua. Está demostrado que, en las turberas permanentes, la edad y la profundidad de la turba están directamente correlacionadas. Es decir, los bofedales más antiguos se caracterizan por una turba más profunda. Sin embargo, se desconoce si esta asociación se aplica a los bofedales estacionales. La comparación de este indicador con los datos de profundidad del nivel freático es crucial para identificar cualquier cambio en el bofedal.
- **Materia orgánica superficial:** el material orgánico acumulado en el horizonte superficial de la superficie es un reflejo de la capacidad de la turba para acumular carbono. El potencial de la turbera para almacenar carbono aumenta con los valores más altos.
- **Densidad aparente en la capa superficial:** el potencial de la turba para acumular agua se muestra por su densidad. La capacidad de almacenamiento aumenta con la disminución de los niveles de densidad. Dado que las lecturas de densidad aparente extremadamente altas en el

horizonte superficial sugerirían perjuicios de compactación -posiblemente provocados por la pisada de animales-, se mide en la capa superficial.

- **Signos de erosión:** Evalúa gráficamente los procesos de erosión hídrica en la turba. El pisoteo del ganado suele favorecer estos procesos al eliminar la vegetación superficial, dejando expuesta la turba, y las corrientes de agua superficiales potencian su erosión.

Tabla 7

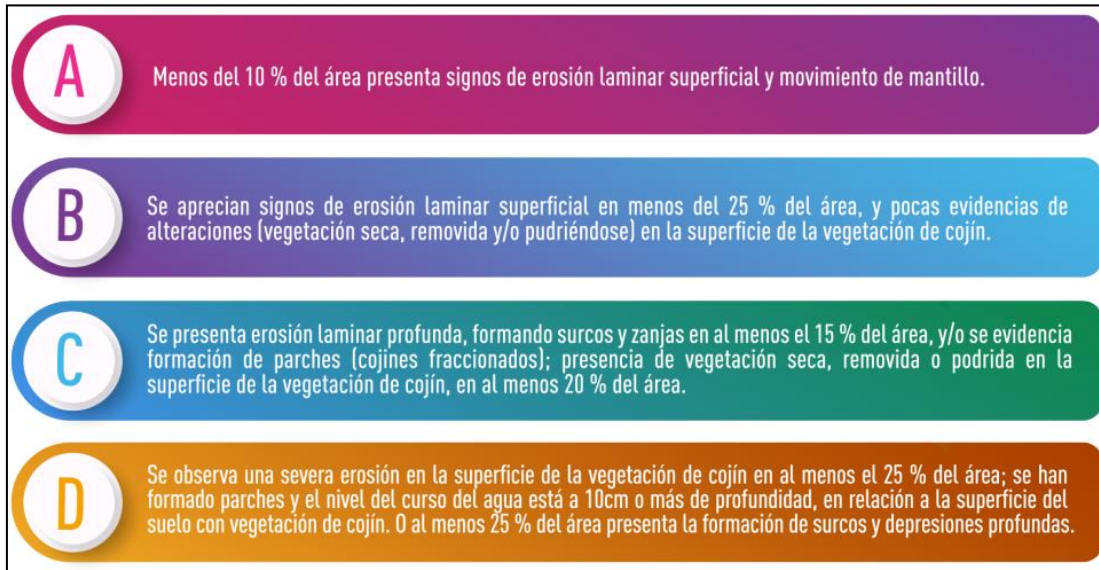
Escala de valoración de la condición de suelo

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 8

Descripción del grado de erosión de la superficie evaluada



Nota. Obtenido de (MINAM, 2019)

c) Condición de la biota

Dado que no se dispone de datos suficientes para vincular la existencia o carencia de determinadas especies vegetales con un estado concreto del bofedal, los indicadores que se han elegido están relacionados con la vegetación.

- **Abundancia de especies nativas:** El porcentaje de especies autóctonas en el conjunto de la vegetación sirve como indicador fiable de la salud ecológica del bofedal. La existencia de especies alóctonas sugiere variaciones que podrían estar causadas por un descenso de la humedad, ajustes en la presencia de nutrimentos o animales, que pueden propagar especies alóctonas. Una evaluación del porcentaje de especies importadas o alóctonas en el bofedal serviría de indicación comparable. En ambas situaciones, es necesaria una lista que distinga entre especies autóctonas e invasoras, pero por ahora no existe ninguna. A partir de la información

descubierta a lo largo del estudio bibliográfico, se ha creado, no obstante, una lista.

- **Cobertura vegetal viva:** directamente ligada a la capacidad de la vegetación para proteger la turba de los procesos erosivos. La protección que proporciona la turba aumenta con la cantidad de cubierta vegetal. El mantillo no se tiene en cuenta porque la atención se centra en la flora viva. En un bofedal sano se prevé una elevada proporción de cubierta vegetal viva.
- **Biomasa aérea:** Este parámetro muestra la principal capacidad de productividad de dicho ecosistema. dicho indicador por sí solo proporciona una función ecológica, que se ve disminuida, sobre todo cuando se produce pastoreo en el lugar.
- **Riqueza de especies:** Habla de la variedad que se encuentra en una región o muestra específica contando el número de especies (flora) que están en ella.

Tabla 8

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
Cobertura vegetal (%)	< 5	0.0
	100	3.0
	90 - 99	2.0
	89 - 75	1.0
	< 75	0.0

Indicador	Rango de valores de referencia	Puntaje
Biomasa (kg MS/ha)	> 1000	5.1
	651 - 999	3.4
	301 - 650	1.7
	< 300	0.0

Nota. Obtenido de (MINAM, 2019)

d) Alteración del paisaje

Tabla 9

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 9

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



Nota. Obtenido de (MINAM, 2019)

Tabla 10

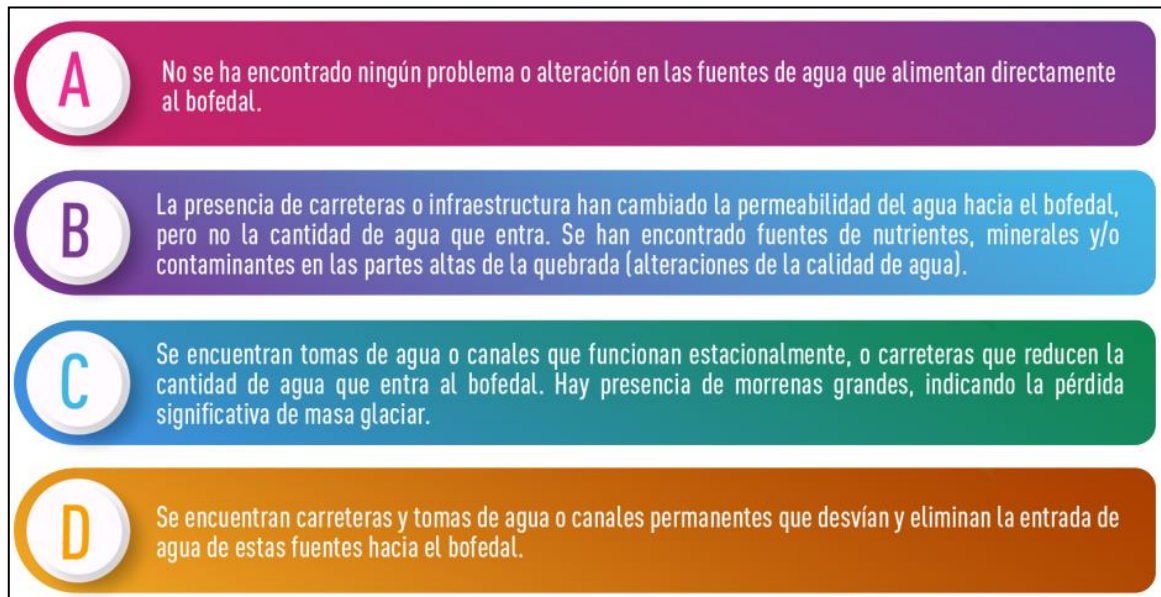
Escala de valoración de la condición de suelo

Factor de degradación	Nivel	Abundancia	Intensidad
Alteraciones hidrológicas dentro del bofedal	Alta (3)	Las zanjas de infiltración o canales cubren una alta proporción del área (al menos 30 %)	La diferencia entre la superficie del suelo y el curso del agua es de 25 cm a más
	Baja (1)	Las zanjas de infiltración o canales cubren una baja proporción del área	La diferencia entre la superficie del suelo y el curso del agua es menos de 25 cm
Ganadería	Alta (3)	Presencia de más de 3 unidades animal por hectárea. O alta abundancia de estiércol de ganado.	El pastoreo continuo en el área de bofedal (si hay algún informante local)
	Baja (1)	Presencia de menos de 3 unidades animal por hectárea. Baja presencia de estiércol de ganado	El pastoreo es estacional en el área de bofedal (si hay algún informante local)
Cosecha de turba	Alta (3)	En más del 15 % del área se ha cosechado turba.	Se ha drenado el bofedal y cosechado más de 30 cm de profundidad de turba
	Baja (1)	En menos del 15 % del área se ha cosechado turba.	No se ha drenado el bofedal y se ha cosechado menos de 30 cm de turba
Quemas	Alta (3)	Evidencia de quema reciente en al menos el 25 % del área.	La quema siempre es de alta intensidad.
	Baja (1)	Evidencia de quema en menos del 25 % del área	

Nota. Obtenido de (MINAM, 2019)

Figura 10

Infraestructura o alteraciones que condicionan la conectividad hidrológica en el bofedal



Nota. Obtenido de (MINAM, 2019)

El valor relativo adquirido para la región investigada está representado por el total de las puntuaciones de los indicadores; este valor puede comprobarse en el cuadro n° 15 y debe determinarse su estado correspondiente. Ante ello se exhiben cinco niveles, equivalentes a un rango de 0 a 10, presentando la escala de 8 a 10 el mejor estado ecológico.

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)



CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

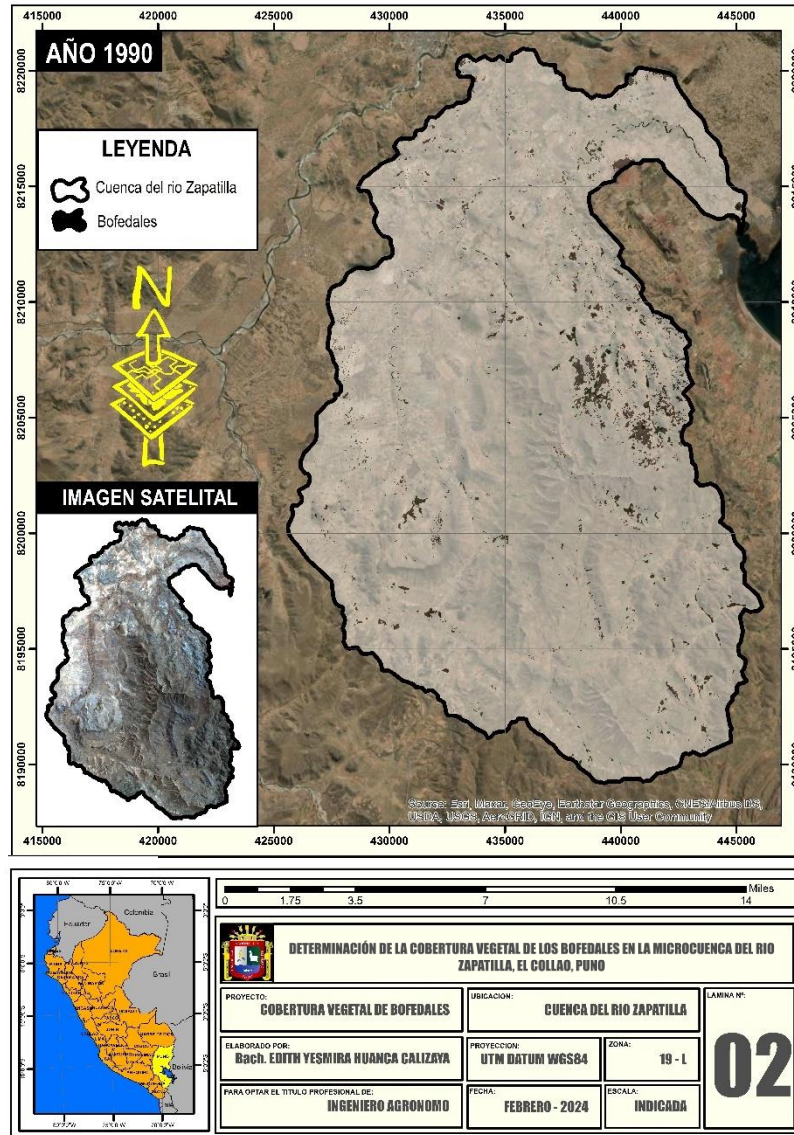
4.1. DETERMINAR EL CAMBIO HISTÓRICO MULTITEMPORAL DE LOS BOFEDALES EN LA MICROCUENCA DEL RIO ZAPATILLA

Con respecto al objetivo específico 1; determinar el cambio histórico multitemporal de los bofedales en la microcuenca del rio Zapatilla; 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; siendo el valor de menores a 0; las cobertura vegetales presentes en los bofedales; presentando los siguientes resultados:

4.1.1. Extensión de la cobertura vegetal de bofedales

Figura 11

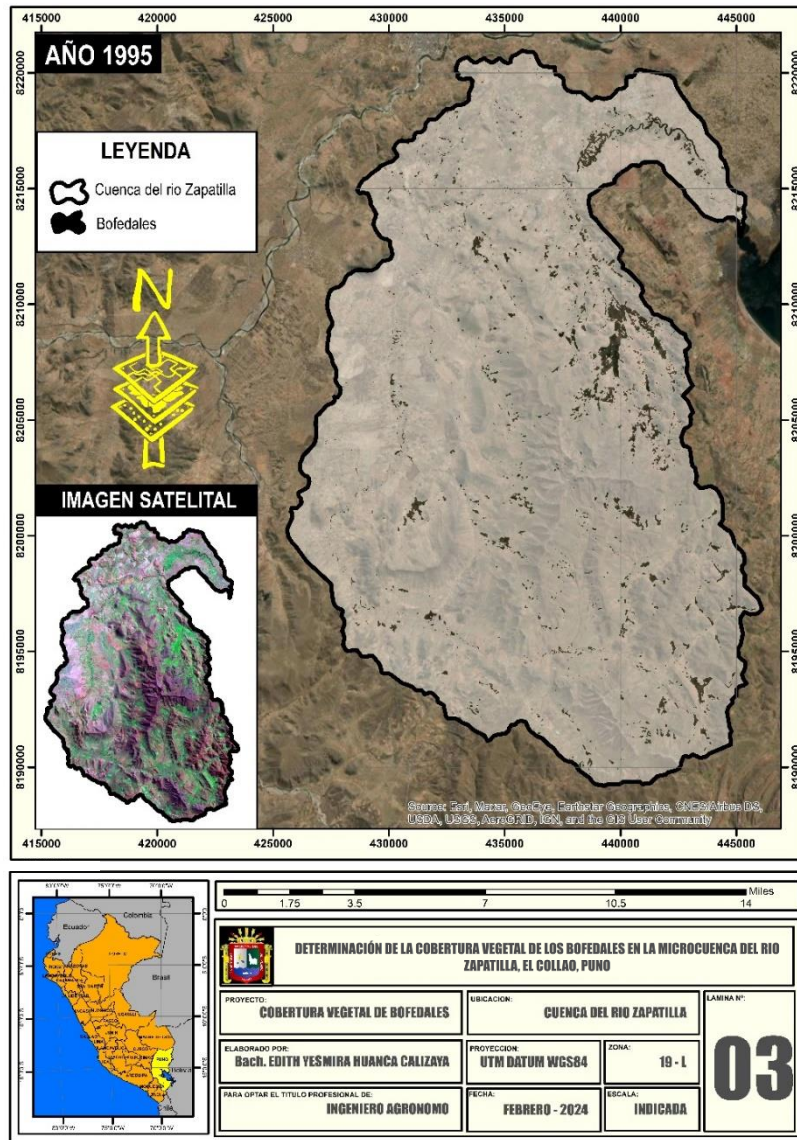
Cobertura vegetal de los bofedales de la microcuenca del río Zapatilla al año 1990



En la figura 11, se exhibe la cobertura vegetal de los bofedales de la microcuenca del río Zapatilla al año 1990; indicando que la extensión territorial de la cobertura vegetal de los bofedales de la microcuenca del río Zapatilla es de 12.20km², mientras que las demás coberturas vegetales que no competen a los bofedales abarcan una extensión territorial de 416.41km² respectivamente.

Figura 12

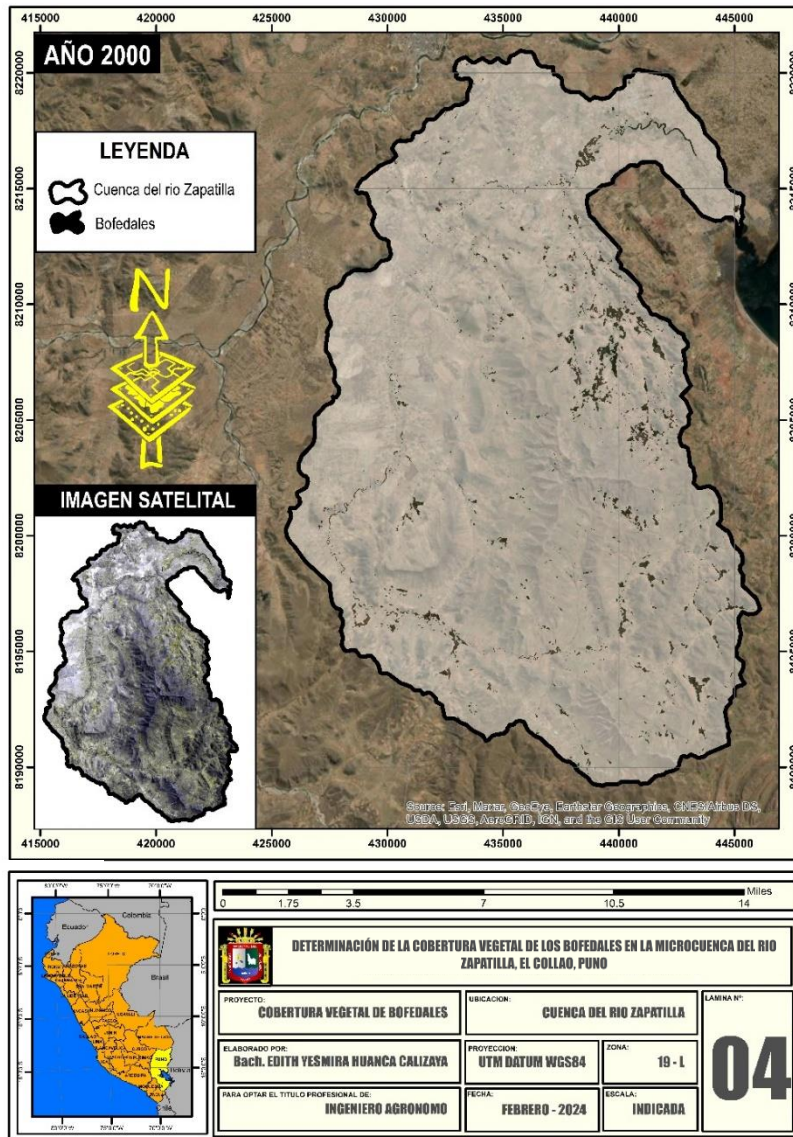
Cobertura vegetal de los bofedales de la microcuenca del río Zapatilla al año 1995.



En la figura 12, se exhibe la cobertura vegetal de los bofedales de la microcuenca del río Zapatilla al año 1995; indicando que la extensión territorial de la cobertura vegetal de los bofedales de la microcuenca del río Zapatilla es de 14.35km^2 , mientras que las demás coberturas vegetales que no competen a los bofedales abarcan una extensión territorial de 414.26km^2 respectivamente.

Figura 13

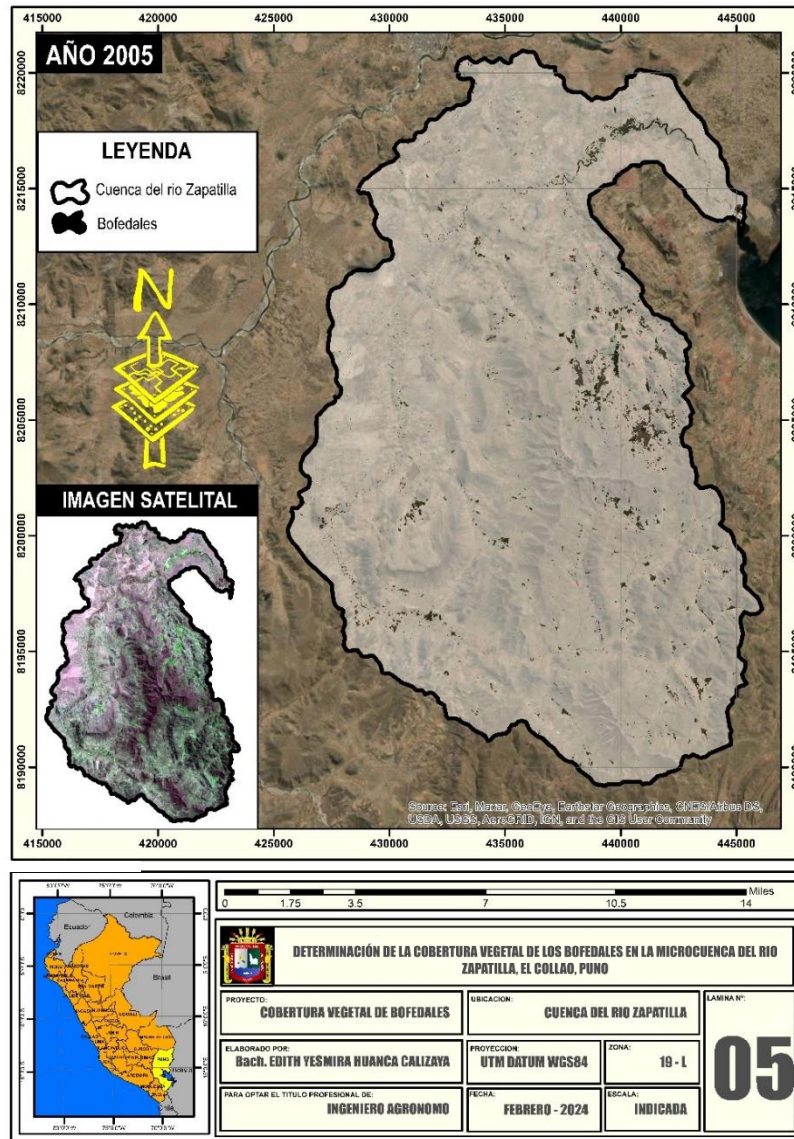
Cobertura vegetal de los bofedales de la microcuenca del río Zapatilla al año 2000.



En la figura 13, se exhibe la cobertura vegetal de los bofedales de la microcuenca del río Zapatilla al año 2000; indicando que la extensión territorial de la cobertura vegetal de los bofedales de la microcuenca del río Zapatilla es de 10.78km², mientras que las demás coberturas vegetales que no competen a los bofedales abarcan una extensión territorial de 417.83km² respectivamente.

Figura 14

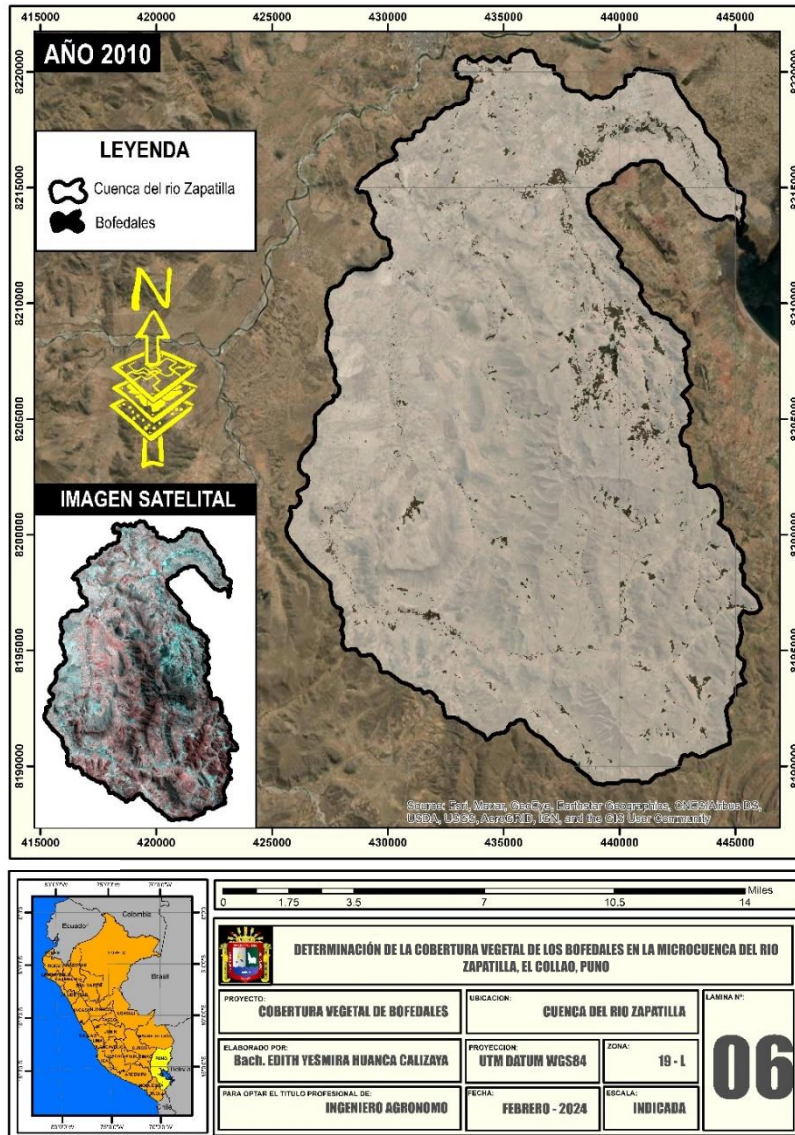
Cobertura vegetal de los bofedales de la microcuenca del río Zapatilla al año 2005.



En la figura 14, se exhibe la cobertura vegetal de los bofedales de la microcuenca del río Zapatilla al año 2005; indicando que la extensión territorial de la cobertura vegetal de los bofedales de la microcuenca del río Zapatilla es de 10.37km², mientras que las demás coberturas vegetales que no competen a los bofedales abarcan una extensión territorial de 418.24km² respectivamente.

Figura 15

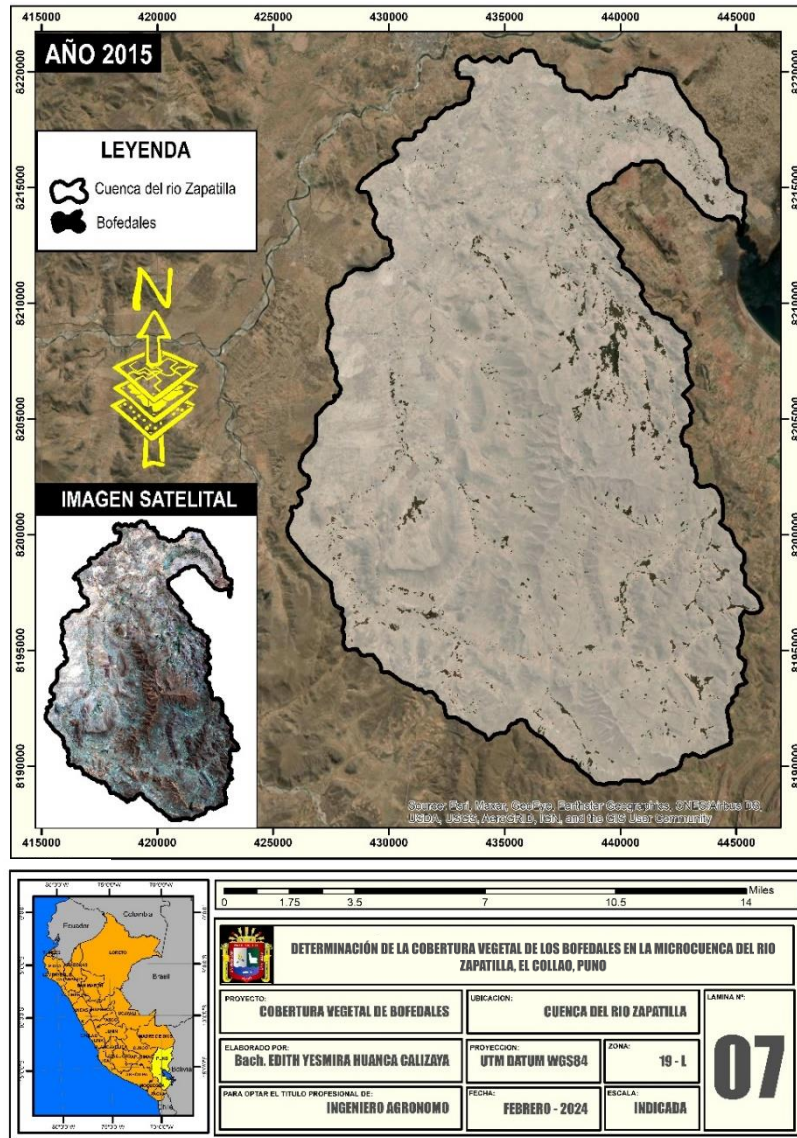
Cobertura vegetal de los bofedales de la microcuenca del río Zapatilla al año 2010.



En la figura 15, se exhibe la cobertura vegetal de los bofedales de la microcuenca del río Zapatilla al año 2010; indicando que la extensión territorial de la cobertura vegetal de los bofedales de la microcuenca del río Zapatilla es de 12.11km², mientras que las demás coberturas vegetales que no competen a los bofedales abarcan una extensión territorial de 416.50km² respectivamente.

Figura 16

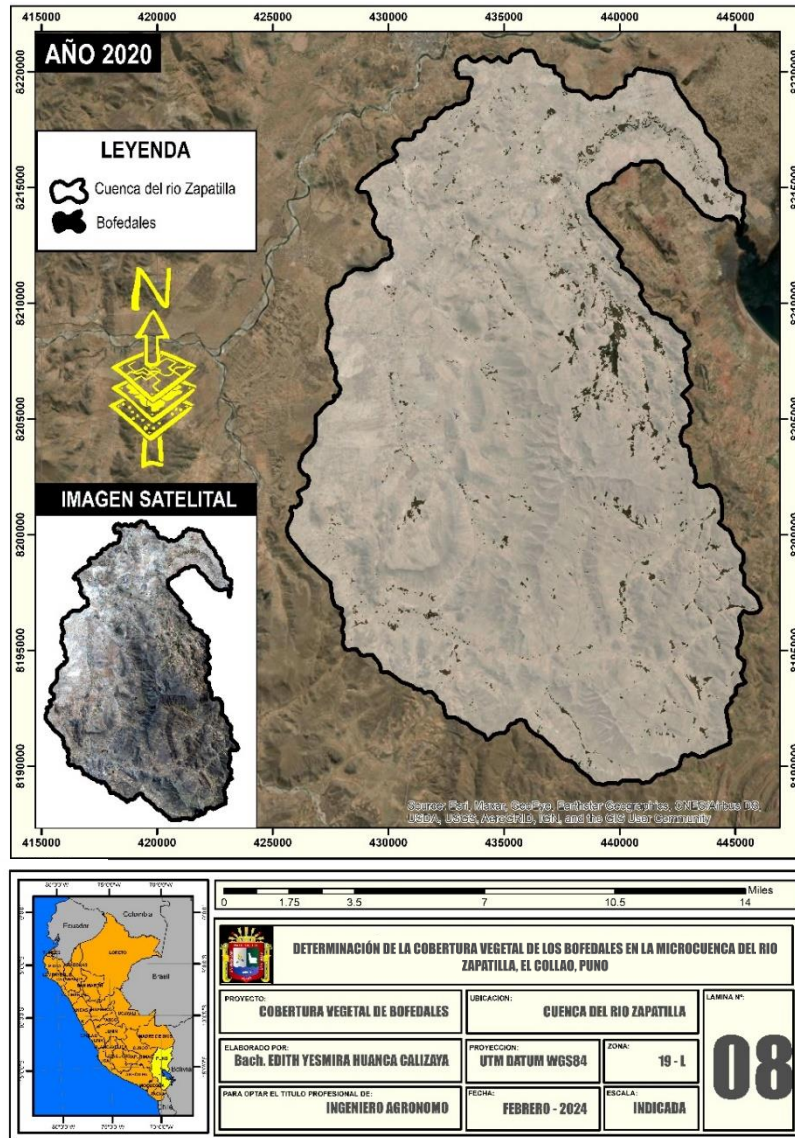
Cobertura vegetal de los bofedales de la microcuenca del río Zapatilla al año 2015.



En la figura 16, se exhibe la cobertura vegetal de los bofedales de la microcuenca del río Zapatilla al año 2015; indicando que la extensión territorial de la cobertura vegetal de los bofedales de la microcuenca del río Zapatilla es de 11.66km², mientras que las demás coberturas vegetales que no competen a los bofedales abarcan una extensión territorial de 416.95km² respectivamente.

Figura 17

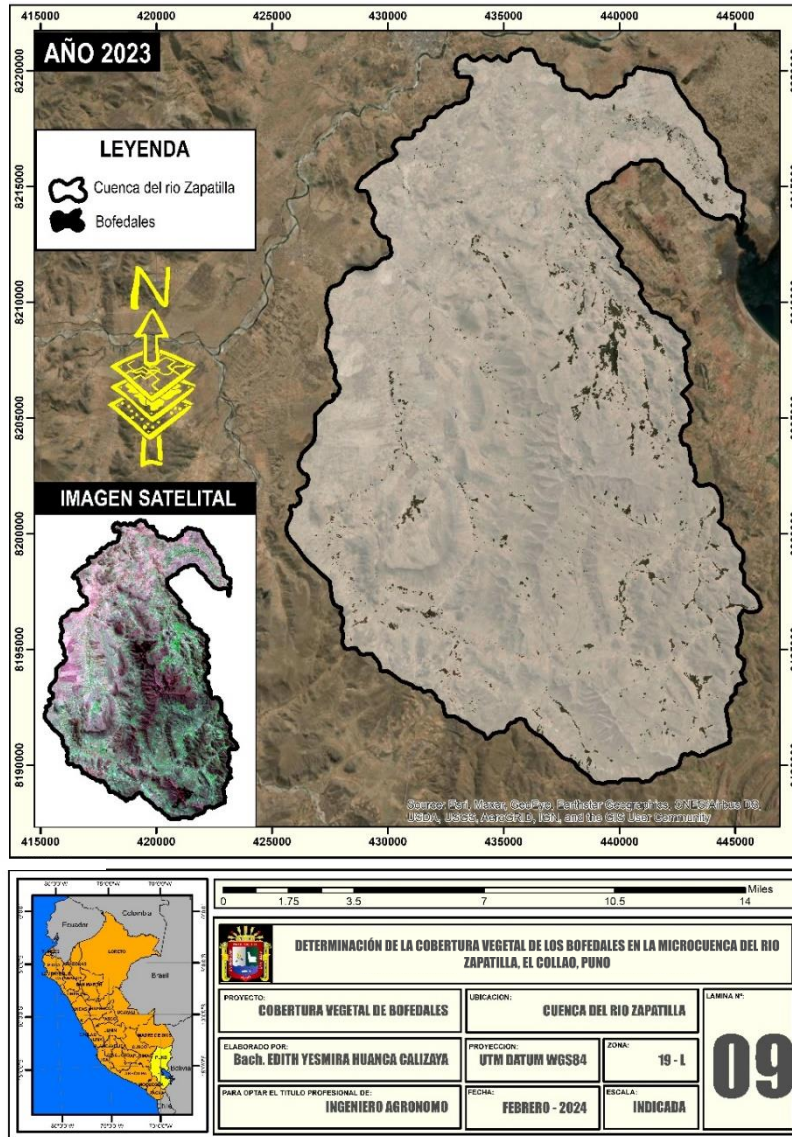
Cobertura vegetal de los bofedales de la microcuenca del río Zapatilla al año 2020.



En la figura 17, se exhibe la cobertura vegetal de los bofedales de la microcuenca del río Zapatilla al año 2020; indicando que la extensión territorial de la cobertura vegetal de los bofedales de la microcuenca del río Zapatilla es de 12.26km^2 , mientras que las demás coberturas vegetales que no competen a los bofedales abarcan una extensión territorial de 416.35km^2 respectivamente.

Figura 18

Cobertura vegetal de los bofedales de la microcuenca del río Zapatilla al año 2023.



En la figura 18, se exhibe la cobertura vegetal de los bofedales de la microcuenca del río Zapatilla al año 2023; indicando que la extensión territorial de la cobertura vegetal de los bofedales de la microcuenca del río Zapatilla es de 11.04km², mientras que las demás coberturas vegetales que no competen a los bofedales abarcan una extensión territorial de 417.57km² respectivamente.

4.1.2. Tasa de cambio de la cobertura vegetal de los bofedales

En la tabla 12, se aprecia la extensión de la cobertura vegetal de bofedales entre los periodos de 1990 a 2023, indicando que la extensión territorial que abarca la microcuenca del río Zapatilla es de 428.61km² (100%), además al año 1990 la extensión de los bofedales abarcaba el 2.85% (12.20km²) de la microcuenca; mientras que al año 1995 abarcaba 3.35% (14.35km²); también al año 2000 abarcaba 2.52% (10.78km²), de igual manera al año 2005 abarcaba 2.42% (10.37km²), así también al año 2010 abarcaba 2.83% (12.10km²), mientras que al año 2015 abarcaba 2.72% (11.66km²), así mismo al año 2020 abarcaba 2.86% (12.26km²), y finalmente al año 2020 abarcaba 2.58% (11.04km²), presentando una tasa de decrecimiento de los bofedales del -0.30% respectivamente.

Tabla 12

Extensión de la cobertura vegetal de bofedales entre los periodos de 1990 a 2023 de la microcuenca del río Zapatilla

Microcuenca del río zapatilla						
Año	Cobertura vegetal de bofedales		Otras coberturas vegetales		Área total	
	km ²	%	km ²	%	km ²	%
1990	12.20	2.85	416.41	97.15	428.61	100.00
1995	14.35	3.35	414.26	96.65	428.61	100.00
2000	10.78	2.52	417.83	97.48	428.61	100.00
2005	10.37	2.42	418.24	97.58	428.61	100.00
2010	12.11	2.83	416.50	97.17	428.61	100.00
2015	11.66	2.72	416.95	97.28	428.61	100.00
2020	12.26	2.86	416.35	97.14	428.61	100.00
2023	11.04	2.58	417.57	97.42	428.61	100.00
T.C. (%)	-0.30	-0.30	8.43	8.43	-	-

Nota. (T.C.) Tasa de cambio

4.1.3. Indicadores de validación

Para establecer una clasificación fiable, se adquirieron 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 2023. Los resultados se muestran a continuación:

En la tabla 13, se aprecia la validación de mapas mediante el Índice Kappa, indicando que la superficie de los bofedales existentes en la microcuenca del río Zapatilla entre los años de 1990 al 2020 tienen una precisión del 93.22% al 96.67%; además presentan valores de 0.9054 a 0.9533 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	94.92%	0.9308
1995	93.22%	0.9054
2000	94.92%	0.9289
2005	94.83%	0.9280
2010	94.92%	0.9300
2015	95.65%	0.9379
2020	96.43%	0.9502
2023	96.67%	0.9533

Nota. Datos de precisión Global e Índice de Kappa.



Dichos resultados con respecto a Imbaquingo (2021), presentan características con cierta similitud al presente trabajo de investigación, encontrando que en el periodo entre los años 2013-2020 de la Subcuenca del Río Chambo presento una tendencia a la pérdida de los bofedales; presentando 135.033,48 ha (37,61%) en 2013, 119.254,00 ha (33,22%) en 2014, 129.674,22 ha (36,12%) en 2015, 87.989,44 ha (24,51%) en 2016, 128.251,48 ha (35,73%) en 2017, 127.596,32 ha (35,54%) en 2018, 144.706,08 ha (40,31%) en 2019 y 17.573,76 ha (4,90%) en 2020; atribuyendose la vulnerabilidad de estos lugares tanto a la intervención antropogénica como al cambio climático; ante ello para garantizar su conservación y los servicios ecosistémicos que ofrece, se requiere poner en marcha planes de conservación y restauración de los bofedales; sin embargo con respecto al estudio realizado por Toribio (2023), Según el estudio, el Área de Conservación Regional Huaytapallana (ACR Huaytapallana) tenía bofedales con una superficie de 0,89 km² en 1990 y de 6,53 km² en 2020. Hubo una correlación negativa significativa (inversa) entre las variables, lo que indica que el retroceso glaciar del nevado Huaytapallana tiene un impacto significativo en la superficie de los bofedales, ampliando así su extensión dentro del Área de Conservación Regional Huaytapallana.

Mientras que con respecto al estudio realizado por Pamo (2022), si se asemejan, a lo largo de un período de evaluación de 31 años, el estudio descubrió una disminución de la superficie de bofedal de 1990 a 2021 (629,01 ha y 551,07 ha, respectivamente), con una tasa de variación anual de -0,42%, lo que representa 2,68 ha por año. Esto sugiere que se están desarrollando estrategias e iniciativas para la preservación del medio ambiente, en este caso el bofedal, en un esfuerzo por obtener una ventaja competitiva y generar ingresos. Así mismo comparados



con el estudio realizado por Machuca *et al.* (2021), también presentan características similares; que indican una disminución de los bofedales en la microcuenca Acocancha-Lima entre 2013 y 2019; como resultado, es imperativo restaurar y preservar los bofedales, que sirven como la principal fuente de agua para los residentes de Huaros y el río Chillón; además, llevar a cabo más investigaciones para apoyar estrategias de gestión eficaces contra la ganadería y otras actividades humanas, así como el cambio climático y el calentamiento global, ya que estos factores tienen un impacto en los atributos clave de los bofedales y su capacidad para proporcionar servicios de los ecosistemas, incluyendo la función más crucial de proporcionar recursos hídricos, el secuestro de carbono, la fauna, la flora y el paisaje.

4.2. DETERMINAR LA RELACIÓN EXISTENTE ENTRE LA PRECIPITACIÓN Y TEMPERATURA EN LA SUPERFICIE DE LOS BOFEDALES EN LA MICROCUENCA DEL RIO ZAPATILLA

Con respecto al objetivo específico 2; determinar la relación existente entre la precipitación y temperatura en la superficie de los bofedales en la microcuenca del río zapatilla; para el cumplimiento de presente objetivo se recopiló datos de precipitación y temperatura de las estaciones meteorológicas más próximas al área en estudio (Juli, Ilave, Masacruz, Taquile, Isuana, Urus, Desaguadero, Laraqueri, Puno), 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 datos climáticos de las estaciones meteorológicas

a) Variables climáticas de las estaciones meteorológicas más próximas al área en estudio

- **Precipitación (mm)**

En la tabla 14, se aprecia los datos de precipitación de la estación meteorológica Ilave, indicando que en los periodos evaluados (1990 a 2023), existe una variación de la precipitación; presentando una media entre 44.19mm a 64.29mm respectivamente.

Tabla 14

Datos de precipitación de la estación meteorológica Ilave

Año	Estación Ilave								Media
	Año								
	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2023	
Ene.	151.20	111.90	269.90	125.11	212.90	141.80	108.00	122.00	155.35
Febr.	39.10	80.20	161.10	142.50	116.90	157.00	107.00	144.50	118.54

Año	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2023	Media
Mar.	59.90	138.30	135.60	78.71	64.46	39.32	74.90	147.70	92.36
Abri.	48.90	14.60	14.40	23.62	42.10	13.40	8.45	16.90	22.80
May.	25.02	5.70	4.90	8.30	37.22	33.70	8.20	16.90	17.49
Jun.	67.70	0.00	4.40	0.00	0.00	18.30	0.40	0.00	11.35
Jul.	0.01	0.00	9.30	0.00	0.00	7.20	0.00	2.30	2.35
Agos.	15.50	4.20	6.40	0.01	8.70	6.50	0.00	0.00	5.16
Sept.	7.41	9.60	3.20	26.22	1.20	2.50	29.60	11.10	11.35
Octu.	65.90	11.20	51.50	58.73	39.03	46.00	51.20	22.20	43.22
Nov.	101.10	47.50	1.00	55.73	7.80	19.10	16.20	50.90	37.42
Dic.	127.80	113.40	109.80	88.51	0.00	173.60	187.90	77.50	109.81
Media	59.13	44.72	64.29	50.62	44.19	54.87	49.32	51.00	-

Nota. Obtenido del SENAMHI (2024)

En la tabla 15, se aprecia los datos de precipitación de la estación meteorológica Juli, indicando que en los periodos evaluados (1990 a 2023), existe una variación de la precipitación; presentando una media entre 34.65mm a 62.51mm respectivamente.

Tabla 15

Datos de precipitación de la estación meteorológica Juli

Estación Juli									
Año	Año								Media
	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2023	
Ene.	192.00	128.90	275.30	139.10	236.20	163.82	135.60	71.40	167.79
Febr.	50.80	105.90	236.30	189.20	217.60	210.50	126.10	109.90	155.79
Mar.	51.40	134.50	138.41	78.70	107.00	120.90	110.10	119.20	107.53
Abri.	47.71	19.90	16.70	29.50	25.10	12.20	82.60	41.40	34.39
May.	13.60	6.10	10.90	1.50	42.50	33.70	16.90	21.00	18.28
Jun.	48.50	0.00	14.30	0.00	0.00	40.40	12.80	0.00	14.50
Jul.	0.00	0.60	0.61	0.00	0.01	9.10	0.00	4.50	1.85
Agos.	18.90	7.20	17.00	1.00	9.10	10.20	0.00	0.00	7.93
Sept.	19.90	17.80	1.20	24.70	5.30	2.10	36.00	0.00	13.38
Octu.	69.30	26.70	62.20	61.20	62.50	73.01	65.70	0.00	52.58
Nov.	64.30	71.60	1.90	54.00	13.10	58.90	16.30	27.10	38.40
Dic.	173.70	117.20	119.50	164.20	117.00	165.00	250.40	21.30	141.04
Media	62.51	53.03	74.53	61.93	69.62	74.99	71.04	34.65	-

Nota. Obtenido del SENAMHI (2024)

En la tabla 16, se aprecia los datos de precipitación de la estación meteorológica Masacruz, indicando que en los periodos evaluados (1990 a 2023), existe una variación de la precipitación; presentando una media entre 24.38mm a 53.26mm respectivamente.

Tabla 16

Datos de precipitación de la estación meteorológica Masacruz

Estación Masacruz									
Año	Año								Media
	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2023	
Ene.	46.30	73.60	179.50	109.20	103.52	160.50	113.30	46.80	104.09
Febr.	35.70	49.90	135.81	187.50	61.41	28.20	218.60	91.40	101.07
Mar.	44.80	90.50	64.10	40.00	40.61	37.00	30.60	83.00	53.83
Abri.	2.50	11.40	22.90	42.81	44.21	25.50	21.60	2.40	21.67
May.	16.90	0.30	6.40	0.00	20.50	0.00	13.00	5.20	7.79
Jun.	27.40	0.00	1.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.58
Jul.	19.60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.60	2.53
Agos.	16.90	0.00	1.20	0.00	0.00	15.40	0.00	0.00	4.19
Sept.	2.20	3.60	0.60	18.20	0.80	18.00	21.00	0.00	8.05
Octu.	43.70	2.50	28.30	6.60	9.40	33.00	45.80	36.20	25.69
Nov.	4.10	21.60	7.90	18.00	6.30	48.80	6.00	79.80	24.06
Dic.	32.40	53.40	82.20	158.30	82.40	57.40	169.20	68.90	88.03
Media	24.38	25.57	44.18	48.38	30.76	35.32	53.26	34.53	-

Nota. Obtenido del SENAMHI (2024)

En la tabla 17, se aprecia los datos de precipitación de la estación meteorológica Taquile, indicando que en los periodos evaluados (1990 a 2023), existe una variación de la precipitación; presentando una media entre 54.47mm a 86.38mm respectivamente.

Tabla 17

Datos de precipitación de la estación meteorológica Taquile

Estación Taquile									
Año	Año								Media
	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2023	
Ene.	336.10	112.90	198.10	223.90	227.90	272.30	185.60	76.60	204.18

Año	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2023	Media
Febr.	87.60	171.70	229.40	229.10	225.40	232.40	236.60	118.10	191.29
Mar.	36.00	291.50	178.00	96.70	39.20	86.90	85.40	240.90	131.83
Abri.	24.40	29.90	0.80	45.90	64.90	53.10	62.90	33.10	39.38
May.	53.30	2.90	15.20	0.00	5.50	8.90	17.80	23.80	15.93
Jun.	113.50	0.20	0.00	0.00	6.50	0.00	1.70	0.00	15.24
Jul.	2.50	5.00	4.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.44
Agos.	37.50	11.00	53.50	0.00	2.30	0.00	0.00	0.00	13.04
Sept.	27.90	40.90	14.60	29.80	8.90	0.00	26.90	5.20	19.28
Octu.	0.00	11.00	99.80	64.80	33.20	0.00	72.00	46.00	40.85
Nov.	105.80	110.00	7.50	72.70	7.50	0.00	0.90	39.00	42.93
Dic.	211.90	201.20	98.50	161.90	155.70	0.00	177.20	152.60	144.88
Media	86.38	82.35	74.95	77.07	64.75	54.47	72.25	61.28	-

Nota. Obtenido del SENAMHI (2024)

En la tabla 18, se aprecia los datos de precipitación de la estación meteorológica Isuana, indicando que en los periodos evaluados (1990 a 2023), existe una variación de la precipitación; presentando una media entre 55.30mm a 77.46mm respectivamente.

Tabla 18

Datos de precipitación de la estación meteorológica Isuana

Estación Isuana									
Año	Año								Media
	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2023	
Ene.	157.00	116.20	272.90	169.30	223.10	178.54	131.92	310.98	194.99
Febr.	84.30	147.30	141.50	249.70	97.20	95.47	167.46	160.83	142.97
Mar.	155.90	120.90	113.90	137.00	116.70	177.29	137.29	129.29	136.03
Abri.	60.60	28.50	7.10	60.50	29.60	68.39	31.71	7.26	36.71
May.	4.10	2.90	0.00	7.40	4.20	3.83	2.46	0.00	3.11
Jun.	43.40	2.20	31.50	0.00	7.40	48.73	1.66	35.14	21.25
Jul.	3.00	4.60	0.00	0.00	3.50	2.57	4.40	0.00	2.26
Agos.	1.10	18.00	24.90	0.40	2.90	0.40	19.71	27.60	11.88
Sept.	10.00	27.10	2.50	43.10	2.60	10.57	30.11	2.00	16.00
Octu.	57.90	10.90	136.50	73.40	15.80	65.30	11.60	155.12	65.81
Nov.	31.60	72.00	30.60	84.90	71.50	35.25	81.42	34.11	55.17
Dic.	54.70	142.50	80.00	103.80	149.90	61.65	161.97	90.56	105.63
Media	55.30	57.76	70.12	77.46	60.37	62.33	65.14	61.28	-

Nota. Obtenido del SENAMHI (2024)

En la tabla 19, se aprecia los datos de precipitación de la estación meteorológica Isuana, indicando que en los periodos evaluados (1990 a 2023), existe una variación de la precipitación; presentando una media entre 52.51mm a 82.54mm respectivamente.

Tabla 19

Datos de precipitación de la estación meteorológica Urus

Estación Urus									
Año	Año								Media
	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2023	
Ene.	201.40	128.70	178.90	242.40	124.50	266.87	173.90	238.10	194.35
Febr.	38.40	133.10	174.60	228.20	151.90	58.42	179.53	232.60	149.59
Mar.	50.00	141.80	92.40	201.30	143.30	73.25	190.65	127.48	127.52
Abri.	41.10	3.10	34.80	69.80	79.70	61.87	13.27	53.81	44.68
May.	26.90	3.30	4.20	10.50	21.00	43.71	13.53	14.68	17.23
Jun.	34.00	0.00	0.00	0.80	17.40	52.79	9.31	9.31	15.45
Jul.	0.00	0.00	0.00	0.80	26.10	9.31	9.31	9.31	6.85
Agos.	13.00	5.90	17.90	11.20	24.10	25.93	16.85	32.20	18.39
Sept.	14.40	13.10	11.00	30.40	16.00	27.72	26.06	23.38	20.26
Octu.	81.80	24.00	60.00	55.10	65.70	113.92	40.00	86.04	65.82
Nov.	77.80	57.40	12.30	41.10	62.81	108.80	82.72	25.04	58.50
Dic.	72.90	119.70	75.50	98.90	157.30	102.54	162.39	105.86	111.89
Media	54.31	52.51	55.13	82.54	74.15	78.76	76.46	79.82	-

Nota. Obtenido del SENAMHI (2024)

En la tabla 20, se aprecia los datos de precipitación de la estación meteorológica Desaguadero, indicando que en los periodos evaluados (1990 a 2023), existe una variación de la precipitación; presentando una media entre 52.51mm a 56.52mm respectivamente.

Tabla 20

Datos de precipitación de la estación meteorológica Desaguadero

Estación Desaguadero									
Año	Año								Media
	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2023	
Ene.	201.40	128.70	178.90	109.00	217.00	213.62	135.02	189.29	171.62

Año	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2023	Media
Febr.	38.40	133.10	174.60	179.70	80.80	37.39	139.78	184.64	121.05
Mar.	50.00	141.80	92.40	110.80	94.70	49.94	149.18	95.78	98.07
Abri.	41.10	3.10	34.80	34.70	9.30	40.31	0.77	33.50	24.70
May.	26.90	3.30	4.20	0.00	5.50	24.96	0.55	0.42	8.23
Jun.	34.00	0.00	0.00	0.00	2.00	32.64	0.00	0.00	8.58
Jul.	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.12	0.52
Agos.	13.00	5.90	17.90	0.00	1.50	9.93	2.26	15.23	8.22
Sept.	14.40	13.10	11.00	16.60	1.20	11.45	10.04	7.77	10.69
Octu.	81.80	24.00	60.00	38.60	73.00	84.32	21.83	60.75	55.54
Nov.	77.80	57.40	12.30	41.10	45.80	79.99	57.94	9.18	47.69
Dic.	72.90	119.70	75.50	119.70	120.80	74.69	125.29	77.50	98.26
Media	54.31	52.51	55.13	54.18	54.30	54.94	53.55	56.52	-

Nota. Obtenido del SENAMHI (2024)

En la tabla 21, se aprecia los datos de precipitación de la estación meteorológica Laraqueri, indicando que en los periodos evaluados (1990 a 2023), existe una variación de la precipitación; presentando una media entre 48.33mm a 71.87mm respectivamente.

Tabla 21

Datos de precipitación de la estación meteorológica Laraqueri

Estación Laraqueri									
Año	Año								Media
	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2023	
Ene.	135.70	250.30	228.30	115.10	240.80	131.72	244.50	222.85	196.16
Febr.	36.70	236.70	146.80	280.30	96.50	34.30	231.11	142.65	150.63
Mar.	80.80	126.30	71.80	79.30	88.30	77.70	122.47	68.84	89.44
Abri.	11.00	12.50	22.50	42.50	32.70	9.01	10.48	20.33	20.13
May.	15.30	5.30	0.00	0.00	6.30	13.24	3.40	0.00	5.44
Jun.	55.30	1.40	1.80	0.00	3.40	52.60	0.00	0.00	14.31
Jul.	0.00	0.00	11.10	0.00	0.00	0.00	0.00	9.11	2.53
Agos.	15.70	10.10	43.90	0.00	12.90	13.63	8.12	41.38	18.22
Sept.	9.40	6.50	6.10	19.10	34.00	7.43	4.58	4.19	11.41
Octu.	99.40	66.70	0.00	39.00	18.70	96.00	63.82	0.00	47.95
Nov.	141.50	7.10	14.10	37.50	53.50	137.43	5.17	12.06	51.05
Dic.	128.50	139.50	61.40	127.80	68.60	124.64	135.46	58.61	105.56
Media	60.78	71.87	50.65	61.72	54.64	58.14	69.09	48.33	-

Nota. Obtenido del SENAMHI (2024)

En la tabla 22, se aprecia los datos de precipitación de la estación meteorológica Puno, indicando que en los periodos evaluados (1990 a 2023), existe una variación de la precipitación; presentando una media entre 43.96mm a 78.76mm respectivamente.

Tabla 22

Datos de precipitación de la estación meteorológica Puno

Año	Estación Puno								Media
	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2023	
Ene.	167.20	122.70	167.10	103.30	99.30	266.87	173.90	238.10	167.31
Febr.	22.40	102.80	210.00	157.90	192.80	58.42	179.53	232.60	144.56
Mar.	59.90	124.00	105.10	134.60	56.30	73.25	190.65	127.48	108.91
Abri.	43.00	2.10	40.30	45.70	12.30	61.87	13.27	53.81	34.04
May.	12.10	4.10	0.40	0.40	16.10	43.71	13.53	14.68	13.13
Jun.	54.70	0.00	2.30	0.00	0.00	52.79	9.31	9.31	16.05
Jul.	0.00	0.00	4.20	0.00	0.00	9.31	9.31	9.31	4.02
Agos.	11.80	3.00	17.90	0.00	7.10	25.93	16.85	32.20	14.35
Sept.	10.10	21.90	14.60	11.80	2.90	27.72	26.06	23.38	17.31
Octu.	107.90	15.30	95.80	39.50	33.40	113.92	40.00	86.04	66.48
Nov.	94.50	51.40	13.90	80.50	15.00	108.80	82.72	25.04	58.98
Dic.	63.20	80.20	69.00	99.40	146.70	102.54	162.39	105.86	103.66
Media	53.90	43.96	61.72	56.09	48.49	78.76	76.46	79.82	-

Nota. Obtenido del SENAMHI (2024)

- **Temperatura (°C)**

En la tabla 23, se aprecia los datos de temperatura de la estación meteorológica Ilave; indicando que en los periodos evaluados (1990 a 2023), existe una variación de la temperatura; presentando una media entre 15.83°C a 17.36°C respectivamente.

Tabla 23

Datos de temperatura de la estación meteorológica Ilave

Año	Estación Ilave								Media
	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2023	
Ene.	15.69	16.48	15.65	16.47	17.19	15.52	16.42	16.25	16.21
Febr.	16.24	16.67	15.61	15.98	17.13	13.10	16.30	15.42	15.81
Mar.	16.27	15.68	15.69	16.97	17.02	16.94	16.43	15.33	16.29
Abri.	16.25	16.73	16.57	16.87	17.53	17.17	16.18	15.35	16.58
May.	15.95	16.48	16.62	16.38	16.73	16.33	15.43	15.35	16.16
Jun.	13.86	15.50	15.20	15.51	17.00	15.58	16.63	15.46	15.59
Jul.	14.77	16.02	15.00	16.08	16.92	15.91	16.36	16.34	15.93
Agos.	15.26	17.02	15.99	16.07	17.76	16.25	17.16	15.92	16.43
Sept.	16.32	16.69	16.89	16.25	17.97	17.28	16.42	17.53	16.92
Octu.	16.78	17.85	16.41	16.65	18.16	17.25	16.48	18.80	17.30
Nov.	16.54	17.44	17.99	17.26	18.98	17.72	16.20	18.52	17.58
Dic.	16.00	16.33	16.65	17.30	15.89	16.60	17.34	17.33	16.68
Media	15.83	16.57	16.19	16.48	17.36	16.30	16.45	16.47	-

Nota. Corregido mediante la metodología de Villon (2005).

En la tabla 24, se aprecia los datos de temperatura de la estación meteorológica Juli; indicando que en los periodos evaluados (1990 a 2023), existe una variación de la temperatura; presentando una media entre 14.10°C a 17.44°C respectivamente.

Tabla 24

Datos de temperatura de la estación meteorológica Juli

Año	Estación Juli								Media
	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2023	
Ene.	14.95	15.93	13.97	16.02	14.77	14.01	15.17	17.54	15.30
Febr.	15.48	17.25	13.79	15.21	15.36	13.89	15.31	16.39	15.34
Mar.	16.09	15.63	14.04	17.12	15.37	14.77	14.92	16.22	15.52
Abri.	15.93	17.55	14.75	16.66	15.69	14.93	15.25	16.91	15.96
May.	15.37	16.32	15.03	15.72	14.43	13.87	14.90	16.27	15.24
Jun.	11.43	14.43	12.47	13.84	14.30	12.44	14.24	16.75	13.74
Jul.	12.83	14.75	12.30	14.64	13.90	12.82	14.34	18.14	14.21
Agos.	13.58	16.76	13.64	14.15	14.43	13.18	15.76	16.82	14.79
Sept.	15.52	15.94	16.13	15.46	15.33	14.80	14.64	17.14	15.62

Año	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2023	Media
Octu.	16.60	17.92	15.47	15.94	15.11	15.08	15.25	19.31	16.33
Nov.	17.02	17.16	18.99	16.39	16.10	15.48	17.22	18.20	17.07
Dic.	15.69	15.94	16.09	16.56	14.75	13.99	15.38	19.54	15.99
Media	15.04	16.30	14.72	15.64	14.96	14.10	15.20	17.44	-

Nota. Corregido mediante la metodología de Villon (2005).

En la tabla 25, se aprecia los datos de temperatura de la estación meteorológica Masacruz; indicando que en los periodos evaluados (1990 a 2023), existe una variación de la temperatura; presentando una media entre 17.15°C a 18.81°C respectivamente.

Tabla 25

Datos de temperatura de la estación meteorológica Masacruz

Estación Masacruz									
Año	Año								Media
	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2023	
Ene.	17.68	16.87	17.53	18.76	17.40	16.21	17.82	18.18	17.56
Febr.	16.27	18.11	17.78	16.92	17.69	16.73	16.81	16.75	17.13
Mar.	18.56	16.42	18.22	19.13	18.75	16.25	17.21	16.86	17.67
Abri.	18.07	18.20	19.62	18.77	18.85	15.89	17.13	18.13	18.08
May.	17.36	17.34	19.10	18.25	16.82	16.77	17.49	16.68	17.48
Jun.	14.51	17.62	16.98	16.88	17.59	17.75	17.36	16.82	16.94
Jul.	16.63	17.90	16.42	17.31	16.96	16.45	17.38	18.20	17.16
Agos.	15.78	19.26	18.12	18.08	18.81	17.19	18.45	18.41	18.01
Sept.	17.82	18.33	20.03	17.30	19.53	18.57	17.82	19.95	18.67
Octu.	19.01	17.47	19.39	19.54	19.45	17.49	17.60	21.14	18.89
Nov.	17.47	18.13	22.37	20.04	20.72	20.04	20.98	20.75	20.06
Dic.	16.69	17.94	20.20	18.81	17.85	19.31	18.77	19.25	18.60
Media	17.15	17.80	18.81	18.32	18.37	17.39	17.90	18.43	-

Nota. Corregido mediante la metodología de Villon (2005).

En la tabla 26, se aprecia los datos de temperatura de la estación meteorológica Taquile; indicando que en los periodos evaluados (1990 a 2023), existe una variación de la temperatura; presentando una media entre 15.25°C a 17.07°C respectivamente.

Tabla 26*Datos de temperatura de la estación meteorológica Taquile*

Año	Estación Taquile								Media
	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2023	
Ene.	17.04	16.94	16.66	15.40	16.58	14.97	17.11	19.63	16.79
Febr.	17.35	16.76	16.42	14.23	15.67	15.23	16.71	17.92	16.29
Mar.	16.58	16.51	16.54	15.60	16.11	16.16	17.41	17.12	16.50
Abri.	16.63	16.64	16.48	15.57	17.25	16.17	16.41	16.07	16.40
May.	16.78	16.67	16.53	14.90	15.75	15.53	16.49	14.50	15.89
Jun.	16.41	16.60	16.39	13.20	15.59	13.63	15.83	14.20	15.23
Jul.	16.81	16.56	16.32	14.53	14.66	14.19	15.80	15.16	15.51
Agos.	16.55	16.57	16.32	14.85	15.83	14.69	17.29	16.04	16.02
Sept.	11.77	16.62	16.50	15.42	16.62	16.51	16.09	17.52	15.88
Octu.	16.58	16.93	16.56	16.44	16.76	17.60	16.32	19.20	17.05
Nov.	16.52	11.77	16.84	16.35	18.01	18.49	18.54	19.71	17.03
Dic.	16.68	11.77	16.69	16.48	16.78	16.41	16.89	17.71	16.18
Media	16.31	15.86	16.52	15.25	16.30	15.80	16.74	17.07	-

Nota. Corregido mediante la metodología de Villon (2005).

En la tabla 27, se aprecia los datos de temperatura de la estación meteorológica Isuana, indicando que en los periodos evaluados (1990 a 2023), existe una variación de la temperatura; presentando una media entre 14.26°C a 15.30°C respectivamente.

Tabla 27*Datos de temperatura de la estación meteorológica Isuana*

Año	Estación Isuana								Media
	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2023	
Ene.	0.00	15.10	13.80	14.50	16.10	14.50	16.10	14.50	13.08
Febr.	0.00	15.40	13.80	14.60	15.40	15.70	15.70	14.60	13.15
Mar.	0.00	14.50	14.00	15.40	16.30	15.70	14.80	15.40	13.26
Abri.	0.00	15.90	15.20	15.50	15.60	15.00	15.10	15.50	13.48
May.	0.00	15.40	15.30	13.90	15.10	14.30	14.50	13.90	12.80
Jun.	0.00	13.60	12.70	13.50	14.10	13.70	14.80	13.50	11.99
Jul.	0.00	14.00	12.40	12.60	13.90	13.70	12.80	12.60	11.50
Agos.	0.00	15.00	13.50	13.10	14.60	14.60	14.90	13.10	12.35
Sept.	0.00	14.80	15.50	14.50	14.50	15.30	14.20	14.50	12.91

Año	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2023	Media
Octu.	14.80	16.20	14.10	17.00	15.40	16.30	16.30	17.00	15.89
Nov.	15.80	15.70	16.10	17.60	15.90	15.90	16.10	17.60	16.34
Dic.	15.30	14.90	14.70	17.30	16.10	16.30	15.70	17.30	15.95
Media	15.30	15.04	14.26	14.96	15.25	15.08	15.08	14.96	-

Nota. Obtenido del SENAMHI (2024)

En la tabla 28, se aprecia los datos de temperatura de la estación meteorológica Urus, indicando que en los periodos evaluados (1990 a 2023), existe una variación de la temperatura; presentando una media entre 14.93°C a 15.41°C respectivamente.

Tabla 28

Datos de temperatura de la estación meteorológica Urus

Estación Urus									
Año	Año								Media
	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2023	
Ene.	14.84	15.53	14.84	16.23	16.10	14.93	15.72	14.93	15.39
Febr.	15.36	14.73	15.43	16.23	16.02	15.53	14.80	15.60	15.46
Mar.	16.03	16.11	15.79	15.89	15.39	16.30	16.39	16.02	15.99
Abri.	15.95	15.85	15.12	15.90	15.12	16.20	16.09	15.25	15.68
May.	15.08	15.11	14.29	14.63	13.95	15.20	15.24	14.30	14.73
Jun.	13.22	13.70	13.33	13.97	14.17	13.06	13.62	13.20	13.53
Jul.	13.00	14.82	13.13	13.34	13.11	12.81	14.91	12.96	13.51
Agos.	13.21	14.29	14.40	14.15	12.90	13.05	14.30	14.43	13.84
Sept.	14.48	15.23	14.68	15.33	14.60	14.52	15.38	14.75	14.87
Octu.	15.58	15.53	15.50	15.65	16.15	15.78	15.72	15.69	15.70
Nov.	16.10	16.23	16.13	15.40	16.87	16.38	16.53	16.41	16.26
Dic.	16.42	15.95	16.53	15.94	16.87	16.74	16.21	16.87	16.44
Media	14.94	15.26	14.93	15.22	15.10	15.04	15.41	15.03	-

Nota. Obtenido del SENAMHI (2024)

En la tabla 29, se aprecia los datos de temperatura de la estación meteorológica Desaguadero, indicando que en los periodos evaluados (1990 a 2023); existe una variación de la temperatura; presentando una media entre 14.93°C a 15.75°C respectivamente.

Tabla 29

Datos de temperatura de la estación meteorológica Desaguadero

Estación Desaguadero									
Año	Año								Media
	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2023	
Ene.	0.00	0.00	14.84	15.53	14.84	16.23	16.10	16.23	11.72
Febr.	0.00	0.00	15.36	14.73	15.43	16.23	16.02	15.68	11.68
Mar.	0.00	0.00	16.03	16.11	15.79	15.89	15.39	15.84	11.88
Abri.	0.00	0.00	15.95	15.85	15.12	15.90	15.12	15.78	11.71
May.	0.00	0.00	15.08	15.11	14.29	14.63	13.95	12.69	10.72
Jun.	0.00	0.00	13.22	13.70	13.33	13.97	14.17	12.52	10.11
Jul.	13.13	0.00	13.00	14.82	13.13	13.34	13.11	14.81	11.92
Agos.	14.27	0.00	13.21	14.29	14.40	14.15	12.90	15.35	12.32
Sept.	14.82	14.05	14.48	15.23	14.68	15.33	14.60	16.67	14.98
Octu.	15.70	15.81	15.58	15.53	15.50	15.65	16.15	17.83	15.97
Nov.	0.00	16.35	16.10	16.23	16.13	15.40	16.87	18.37	14.43
Dic.	0.00	16.71	16.42	15.95	16.53	15.94	16.87	17.22	14.45
Media	14.93	15.73	14.94	15.26	14.93	15.22	15.10	15.75	-

Nota. Obtenido del SENAMHI (2024)

En la tabla 30, se aprecia los datos de temperatura de la estación meteorológica Laraqueri, indicando que en los periodos evaluados (1990 a 2023); existe una variación de la temperatura; presentando una media entre 15.18°C a 17.63°C respectivamente.

Tabla 30

Datos de temperatura de la estación meteorológica Laraqueri

Estación Laraqueri									
Año	Año								Media
	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2023	
Ene.	14.10	13.80	16.80	14.50	17.00	15.20	16.40	16.40	15.53
Febr.	14.00	13.80	15.10	16.00	16.70	15.80	15.80	16.70	15.49
Mar.	14.50	14.00	16.20	16.10	15.40	15.40	15.40	16.80	15.48
Abri.	15.00	14.50	16.60	16.00	15.80	16.80	15.60	17.60	15.99
May.	15.30	14.70	17.00	15.70	16.30	16.30	16.10	16.90	16.04
Jun.	14.70	15.30	15.90	15.60	16.30	16.00	16.10	17.20	15.89
Jul.	14.30	15.50	16.30	15.50	15.40	15.80	15.60	16.90	15.66
Agos.	15.10	13.80	16.80	16.70	17.40	16.90	16.80	17.80	16.41
Sept.	15.70	15.70	16.80	17.50	15.90	18.10	18.30	18.90	17.11

Año	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2023	Media
Octu.	17.90	17.50	17.60	18.10	18.20	18.00	19.30	18.70	18.16
Nov.	16.20	17.30	18.40	17.80	17.80	19.50	18.30	20.10	18.18
Dic.	15.40	18.80	17.70	18.50	17.10	17.20	18.00	17.50	17.53
Media	15.18	15.39	16.77	16.50	16.61	16.75	16.81	17.63	-

Nota. Obtenido del SENAMHI (2024)

En la tabla 31, se aprecia los datos de temperatura de la estación meteorológica Puno, indicando que en los periodos evaluados (1990 a 2023); existe una variación de la temperatura; presentando una media entre 14.46°C a 17.47°C respectivamente.

Tabla 31

Datos de temperatura de la estación meteorológica Puno

Estación Puno									
Año	Año								Media
	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2023	
Ene.	14.71	16.66	15.51	16.38	16.93	14.93	15.72	14.93	15.72
Febr.	15.32	16.51	15.25	15.50	17.13	15.53	14.80	15.60	15.71
Mar.	15.17	14.92	15.48	16.42	17.15	16.30	16.39	16.02	15.98
Abri.	14.96	16.66	16.01	16.43	17.40	16.20	16.09	15.25	16.12
May.	14.81	15.85	16.37	15.94	16.19	15.20	15.24	14.30	15.49
Jun.	11.92	14.68	15.39	14.78	16.27	13.06	13.62	13.20	14.11
Jul.	13.09	15.43	14.80	15.63	16.95	12.81	14.91	12.96	14.57
Agos.	13.46	17.03	16.04	15.90	17.39	13.05	14.30	14.43	15.20
Sept.	14.82	16.79	18.09	16.81	18.60	14.52	15.38	14.75	16.22
Octu.	15.25	18.48	16.01	16.99	18.63	15.78	15.72	15.69	16.57
Nov.	15.08	17.74	18.48	17.18	19.47	16.38	16.53	16.41	17.16
Dic.	14.99	15.92	16.30	17.27	17.48	16.74	16.21	16.87	16.47
Media	14.46	16.39	16.14	16.27	17.47	15.04	15.41	15.03	-

Nota. Obtenido del SENAMHI (2024)

b) Análisis de la consistencia de datos

En la tabla 32 y 33, se aprecia el análisis de consistencia de la precipitación y temperatura de las estaciones meteorológicas más próximas al área en estudio (Ilave, Juli, Masacruz, Taquile) (**Anexo 4 y 5**); indicando que los datos obtenidos de precipitación; son consistentes y confiables para ser empleados en el presente



estudio; mientras que los datos de temperatura presentan cierta inconsistencia por ello requieren corrección.

Tabla 32

Análisis de consistencia de la precipitación de las estaciones meteorológicas más próximas al área en estudio

Estación meteorológica	Datos dudosos										Datos confiables										Análisis de consistencia			
	n_1	\bar{x}_1	S_1	GL_1	N_2	X_2	S_2	GL_2	S_p	S_d	T_c	T_t	T de Sudent		F_c	F_t	F de Fisher							
														$T_c < T_t$			$F_c < F_t$							
Ilave	36.00	56.05	63.17	35.00	60.00	50.00	57.01	59.00	59.38	12.52	0.48	1.99	consistente	2.04	1.83	consistente								
Juli	48.00	63.00	69.78	47.00	48.00	62.57	69.78	47.00	69.78	14.24	0.03	1.99	consistente	1.00	1.62	consistente								
Mazocruz	72.00	34.76	44.92	71.00	24.00	43.89	57.88	23.00	48.41	11.41	0.80	1.99	consistente	1.66	1.85	consistente								
Taquile	36.00	81.23	90.75	35.00	60.00	65.96	83.16	59.00	86.06	18.14	0.84	1.99	consistente	1.19	1.62	consistente								
Isuana	36.00	61.06	64.88	35.00	24.00	68.91	74.13	23.00	68.70	18.10	0.43	1.99	consistente	1.31	1.93	consistente								
Urus	36.00	53.98	57.72	35.00	24.00	78.35	73.81	23.00	64.58	17.02	1.43	1.99	consistente	1.64	1.93	consistente								
Desaguadero	36.00	53.98	57.72	35.00	24.00	54.24	62.40	23.00	59.62	45.71	0.02	2.00	consistente	1.17	1.93	consistente								
Laraqueri	36.00	61.10	72.97	35.00	24.00	58.18	73.35	23.00	73.12	49.27	0.15	2.00	consistente	1.01	1.93	consistente								
Puno	36.00	53.19	56.11	35.00	24.00	52.29	59.63	23.00	57.53	15.16	0.06	2.00	consistente	1.13	1.93	consistente								

Nota. (n) Tamaño de la muestra, (\bar{x}_1) Media de la muestra, (S) Desviación estándar, (GL) Grado de libertad; (S_p) Desviación estándar ponderada; (S_d) Desviación de las diferencias de los promedios; (T_c) T calculado; (T_T) T tabulada; (T_c < T_T) Consistencia de datos; (T_c > T_T) datos inconsistentes; (F_c < F_t) Consistencia de datos; (F_c > F_t) datos inconsistentes

Tabla 33

Análisis de consistencia de la temperatura de las estaciones meteorológicas más próximas al área en estudio

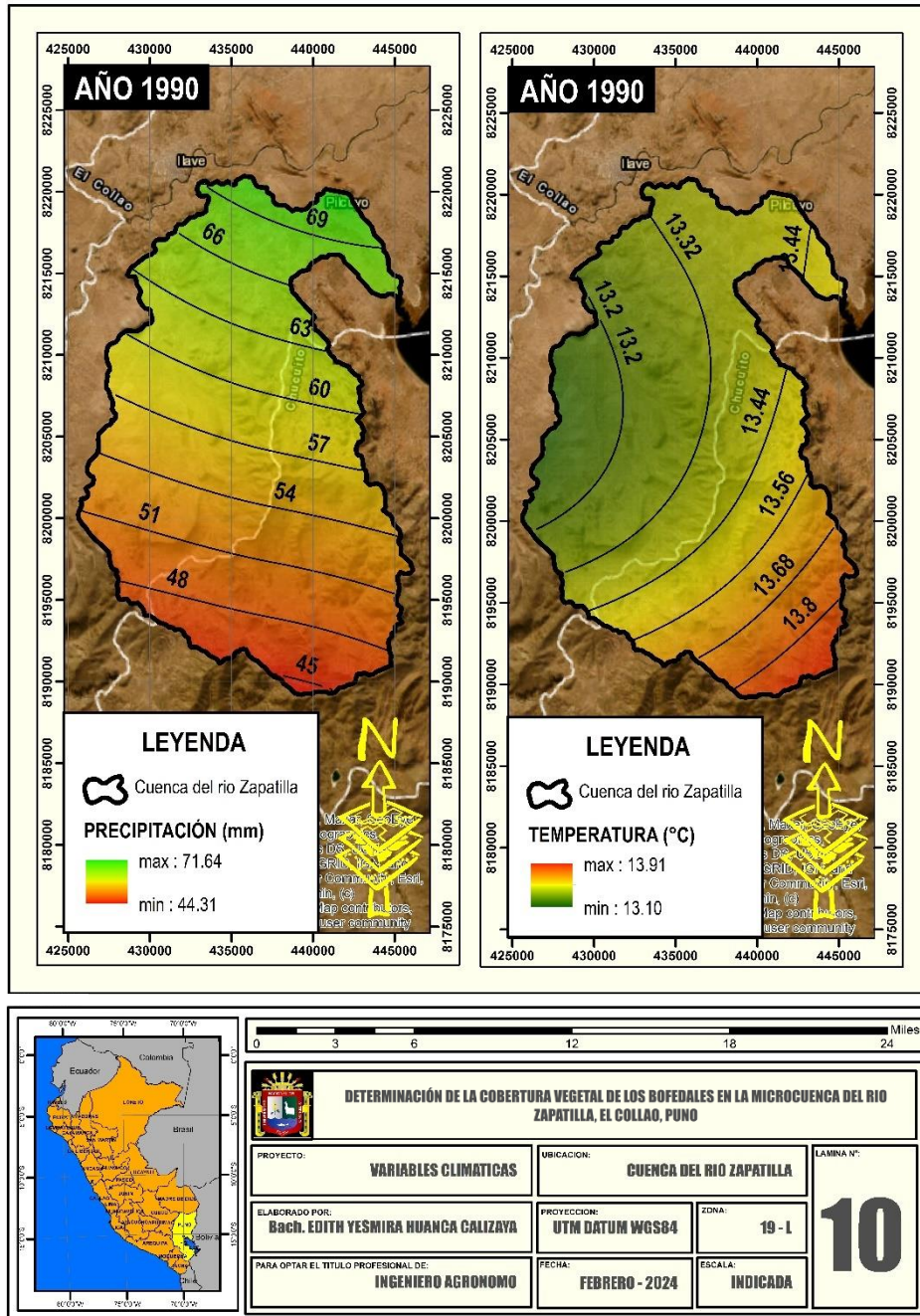
Estación meteorológica	Datos dudosos										Datos confiables										Análisis de consistencia			
	n_1	\bar{x}_1	S_1	GL_1	N_2	X_2	S_2	GL_2	S_p	S_d	T_c	T_t	T de Sudent		F_c	F_t	F de Fisher							
														$T_c < T_t$			$F_c > F_t$							
Ilave	72.00	16.46	0.94	71.00	24.00	16.46	0.94	23.00	0.94	0.22	0.00	1.99		consistente	1.00	1.85		consistente						
Juli	48.00	15.43	1.51	47.00	48.00	15.43	1.51	47.00	1.51	0.31	0.00	1.99		consistente	1.00	1.62		consistente						
Mazocruz	48.00	18.02	1.33	47.00	48.00	18.02	1.33	47.00	1.33	0.27	0.00	1.99		consistente	1.00	1.62		consistente						
Taquile	36.00	16.23	1.38	35.00	60.00	16.23	1.38	59.00	1.38	0.29	0.00	1.99		consistente	1.00	1.62		consistente						
Isuana	36.00	11.01	6.52	35.00	24.00	15.10	1.28	23.00	5.13	1.35	0.00	1.99		consistente	1.00	1.93		consistente						
Urus	36.00	15.04	1.01	35.00	24.00	15.16	1.16	23.00	1.07	0.28	0.00	1.99		consistente	1.00	1.93		consistente						
Desaguadero	36.00	15.34	7.61	35.00	24.00	15.09	0.91	23.00	5.94	1.57	0.00	1.99		consistente	1.00	1.93		consistente						
Laraqueri	36.00	15.78	1.41	35.00	24.00	16.55	1.06	23.00	1.28	0.34	0.00	1.99		consistente	1.00	1.93		consistente						
Puno	36.00	15.67	1.37	35.00	24.00	16.87	1.05	23.00	1.25	0.33	0.00	1.99		consistente	1.00	1.93		consistente						

Nota. (n) Tamaño de la muestra, (\bar{x}) Media de la muestra, (S) Desviación estándar, (GL) Grado de libertad; (S_p) Desviación estándar ponderada; (S_d) Desviación de las diferencias de los promedios; (T_c) T calculado; (T_T) T tabulada; ($T_c < T_T$) Consistencia de datos; ($T_c > T_T$) datos inconsistentes; ($F_c > F_t$) datos inconsistentes

4.2.1. Variables climáticas de la microcuenca del río Zapatilla

Figura 19

VARIABLES CLIMÁTICAS (PRECIPITACIÓN Y TEMPERATURA) DE LA MICROCUENCA DEL RÍO ZAPATILLA AL AÑO 1990.

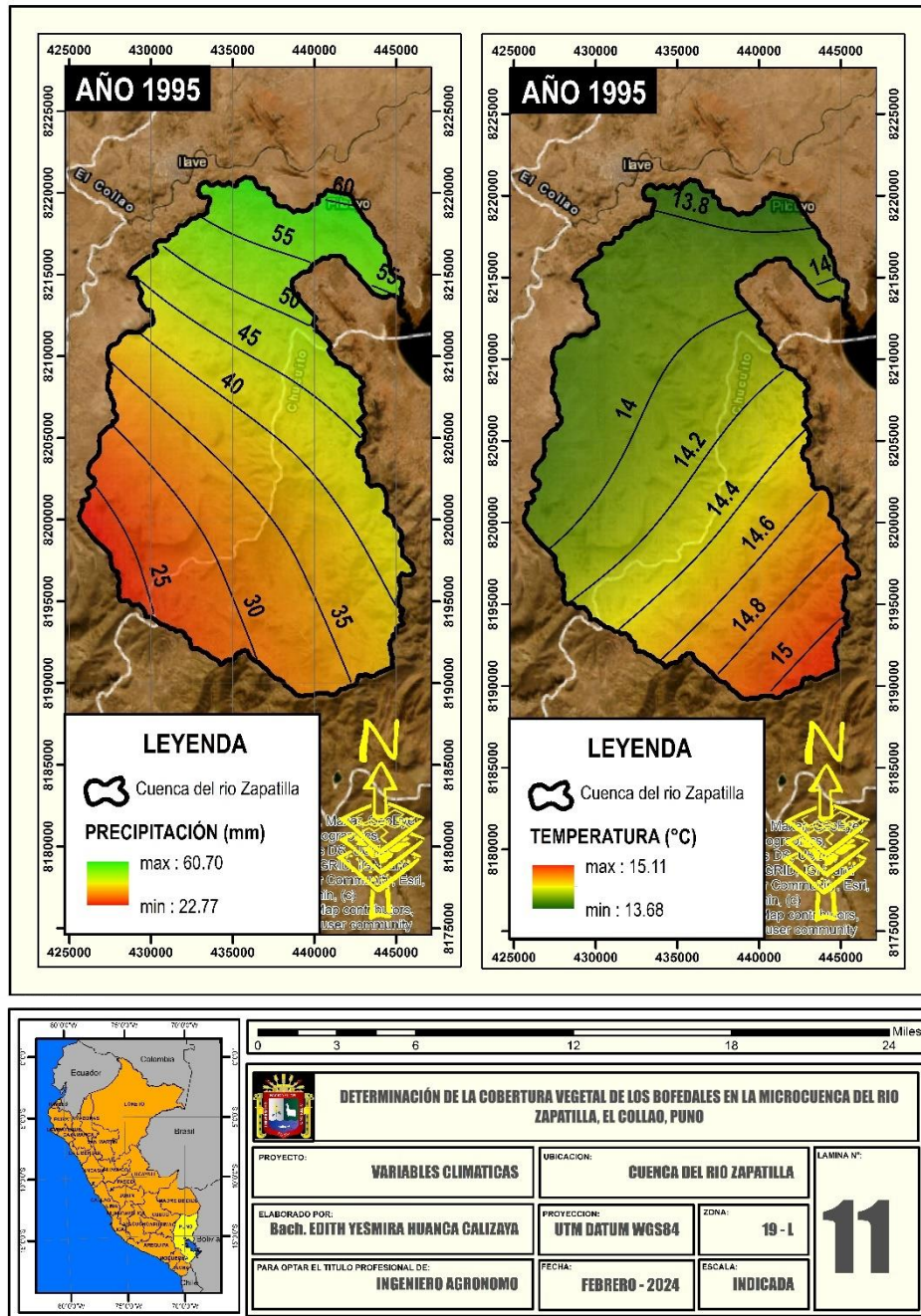


En la figura 19, se exhibe la precipitación y temperatura de la microcuenca del río Zapatilla al año 1990, indicando que la precipitación fluctúa entre 44.31mm

a 71.64mm; mientras que la temperatura fluctúa entre 13.10°C a 13.91°C, respectivamente.

Figura 20

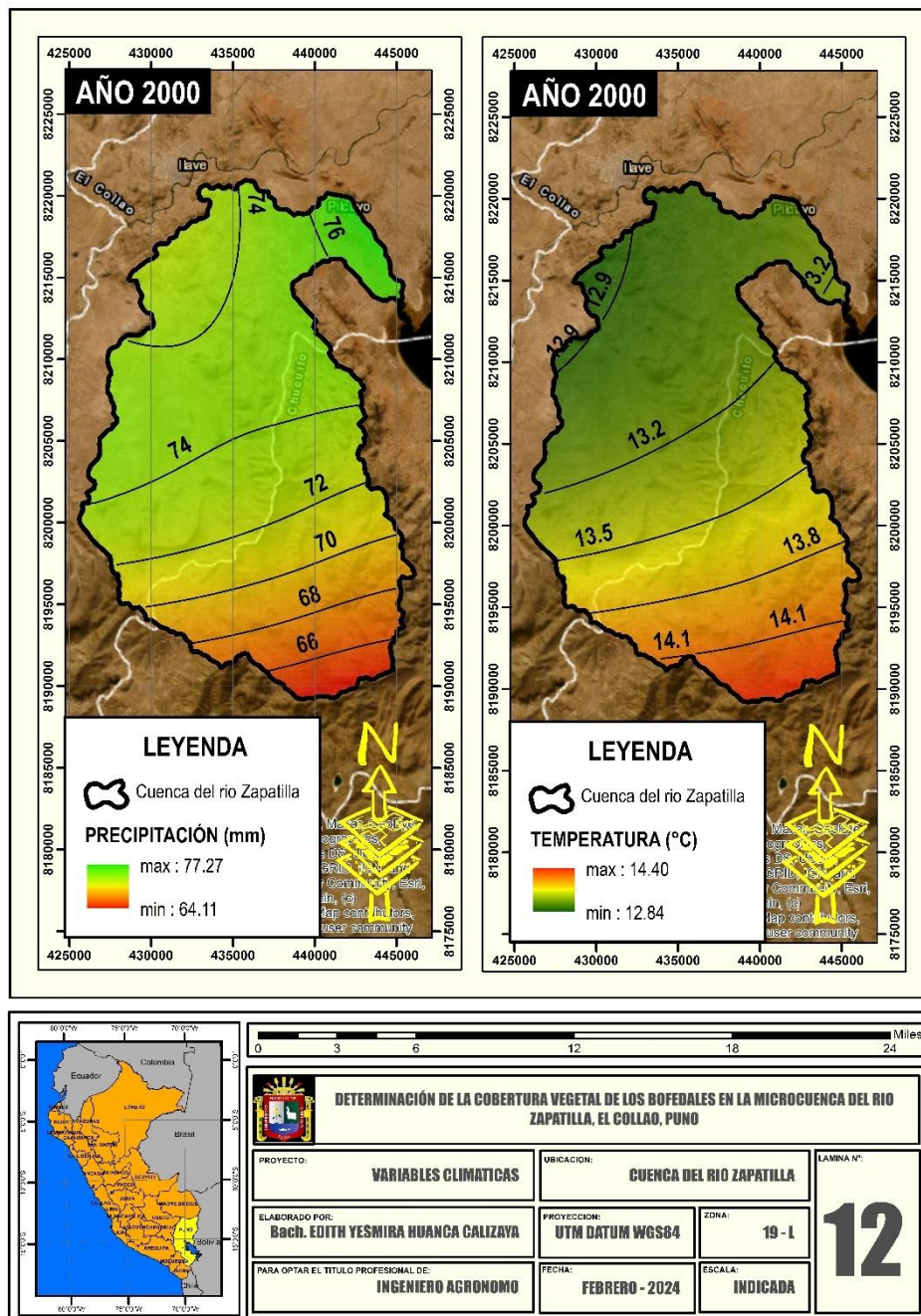
Variables climáticas (precipitación y temperatura) de la microcuenca del río Zapatilla al año 1995.



En la figura 20, se exhibe la precipitación y temperatura de la microcuenca del río Zapatilla al año 1995, indicando que la precipitación fluctúa entre 22.77mm a 60.70mm; mientras que la temperatura fluctúa entre 13.68°C a 15.10°C, respectivamente.

Figura 21

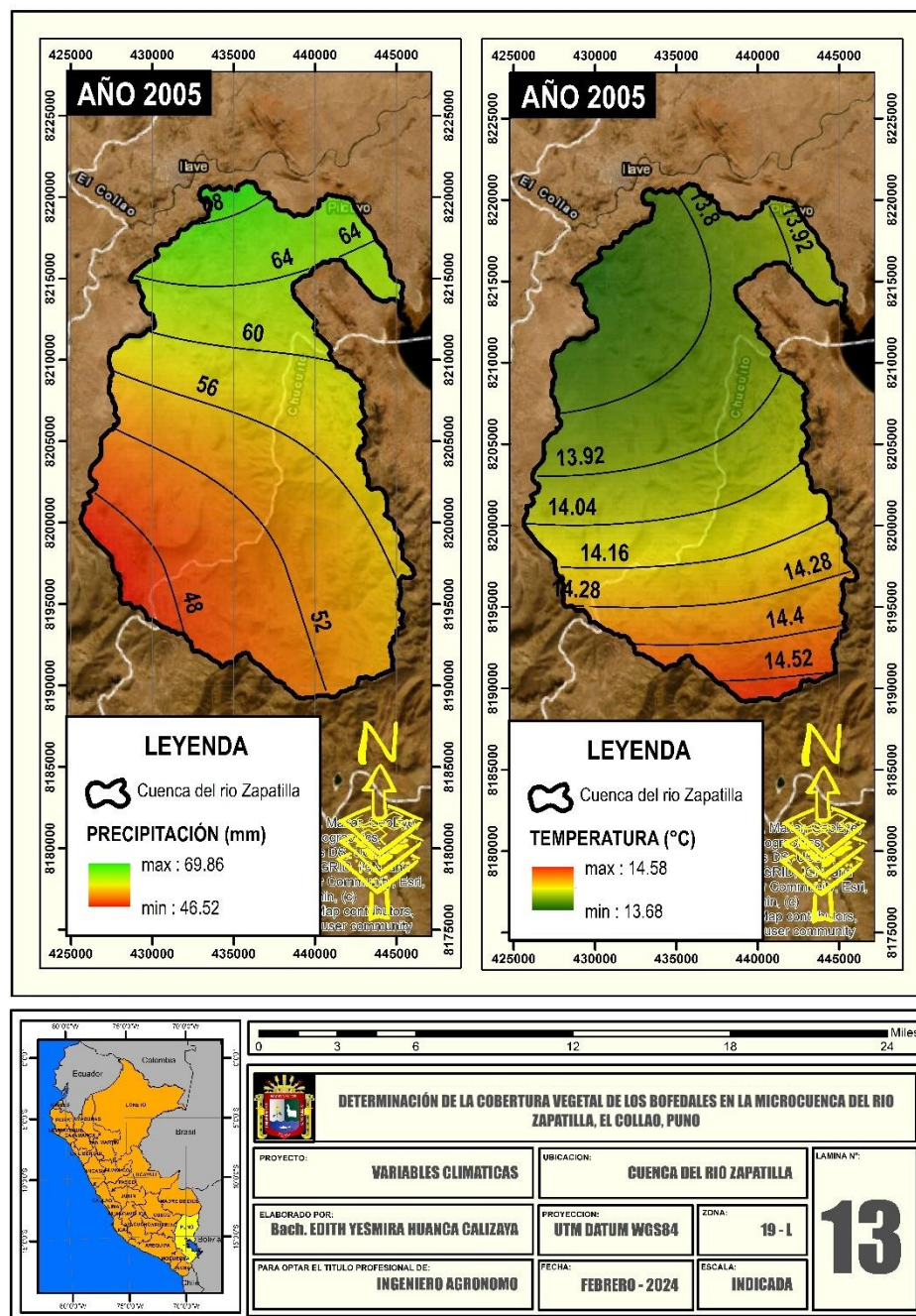
Variables climáticas (precipitación y temperatura) de la microcuenca del río Zapatilla al año 2000.



En la figura 21, se exhibe la precipitación y temperatura de la microcuenca del río Zapatilla al año 2000, indicando que la precipitación fluctúa entre 64.11mm a 77.27mm; mientras que la temperatura fluctúa entre 12.84°C a 14.40°C, respectivamente

Figura 22

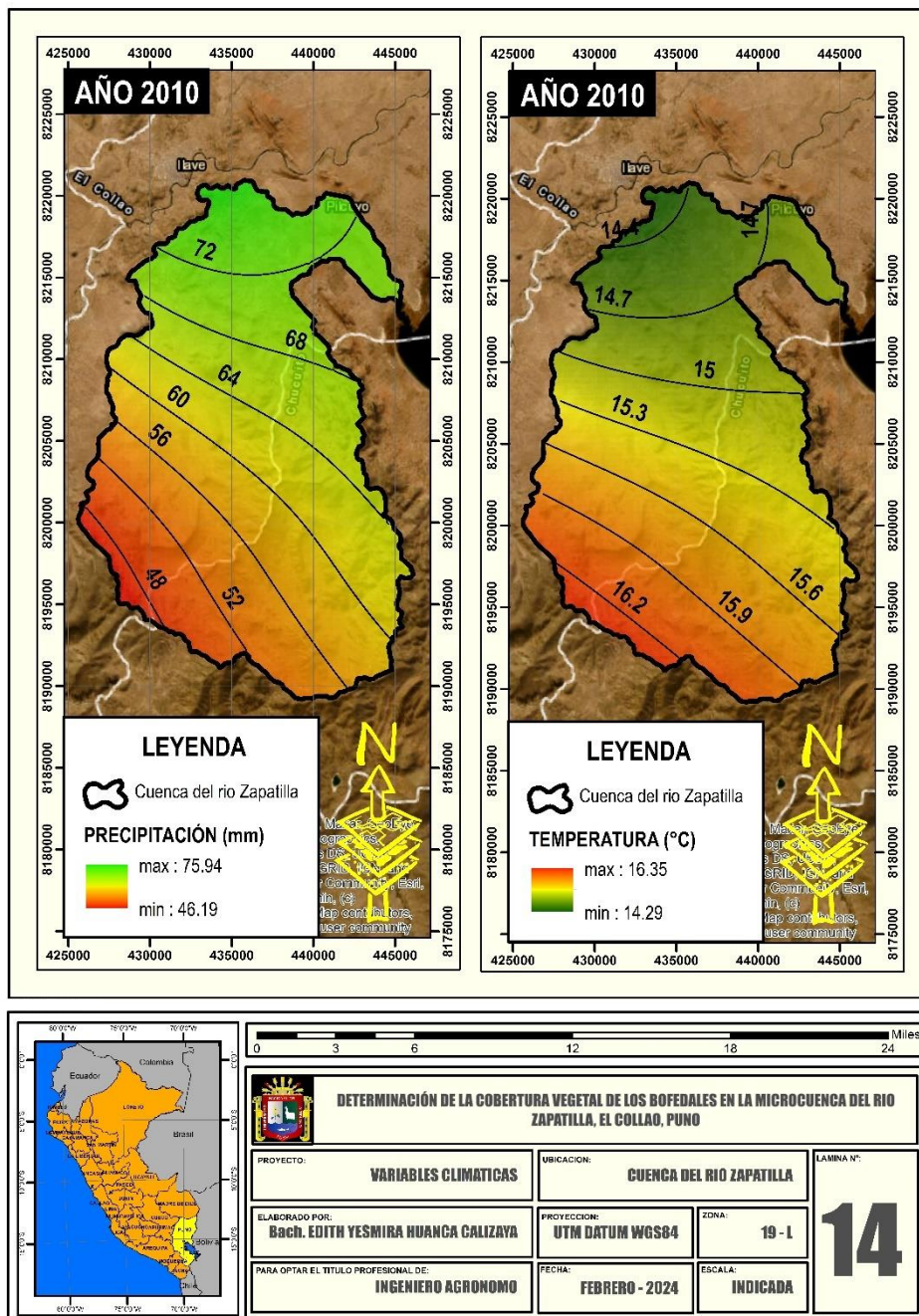
Variables climáticas (precipitación y temperatura) de la microcuenca del río Zapatilla al año 2005.



En la figura 22, se exhibe la precipitación y temperatura de la microcuenca del río Zapatilla al año 2005, indicando que la precipitación fluctúa entre 46.52mm a 69.86mm; mientras que la temperatura fluctúa entre 13.68°C a 14.58°C, respectivamente

Figura 23

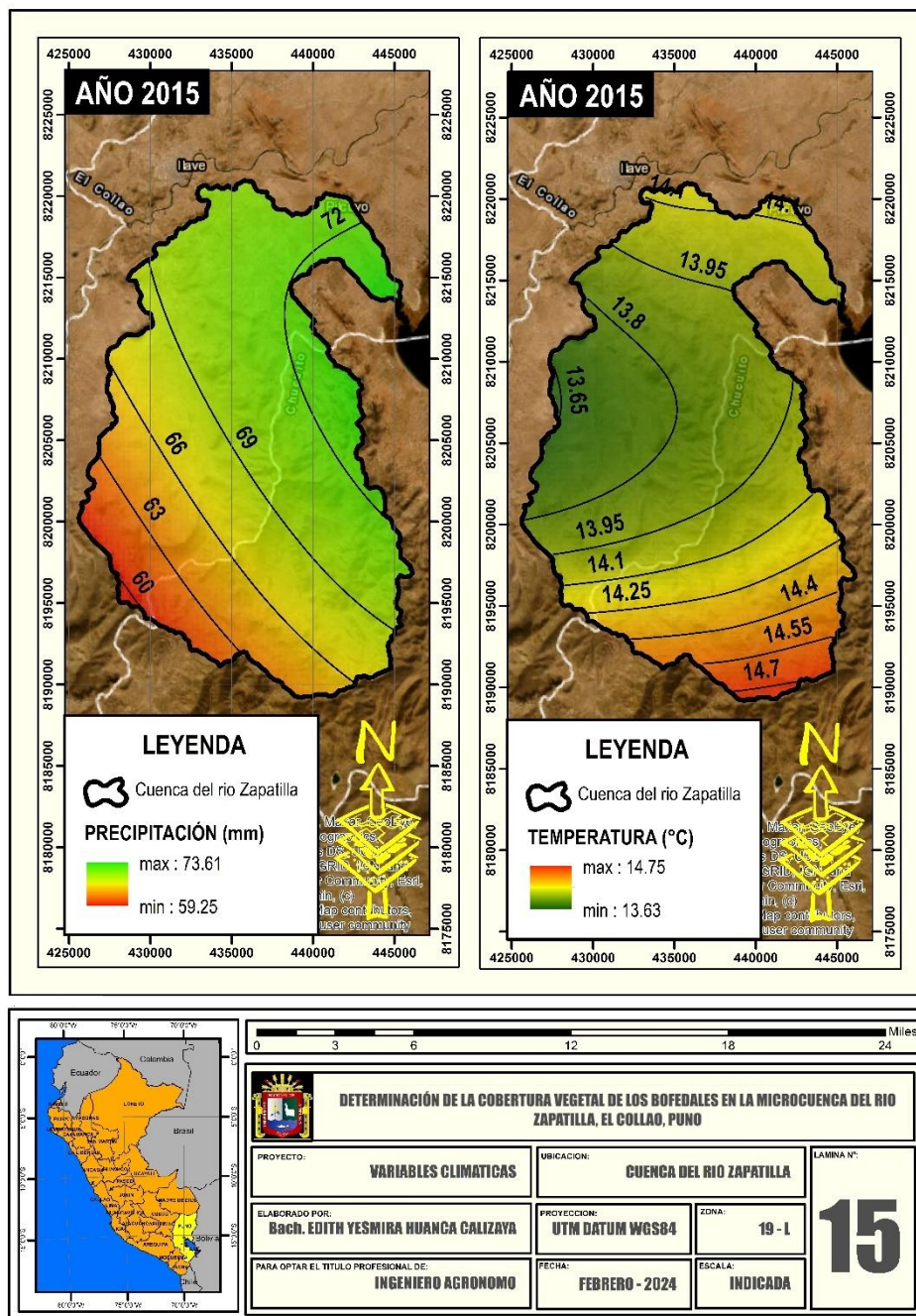
Variables climáticas (precipitación y temperatura) de la microcuenca del río Zapatilla al año 2010.



En la figura 23, se exhibe la precipitación y temperatura de la microcuenca del río Zapatilla al año 2010, indicando que la precipitación fluctúa entre 46.19mm a 75.94mm; mientras que la temperatura fluctúa entre 14.29°C a 16.35°C, respectivamente

Figura 24

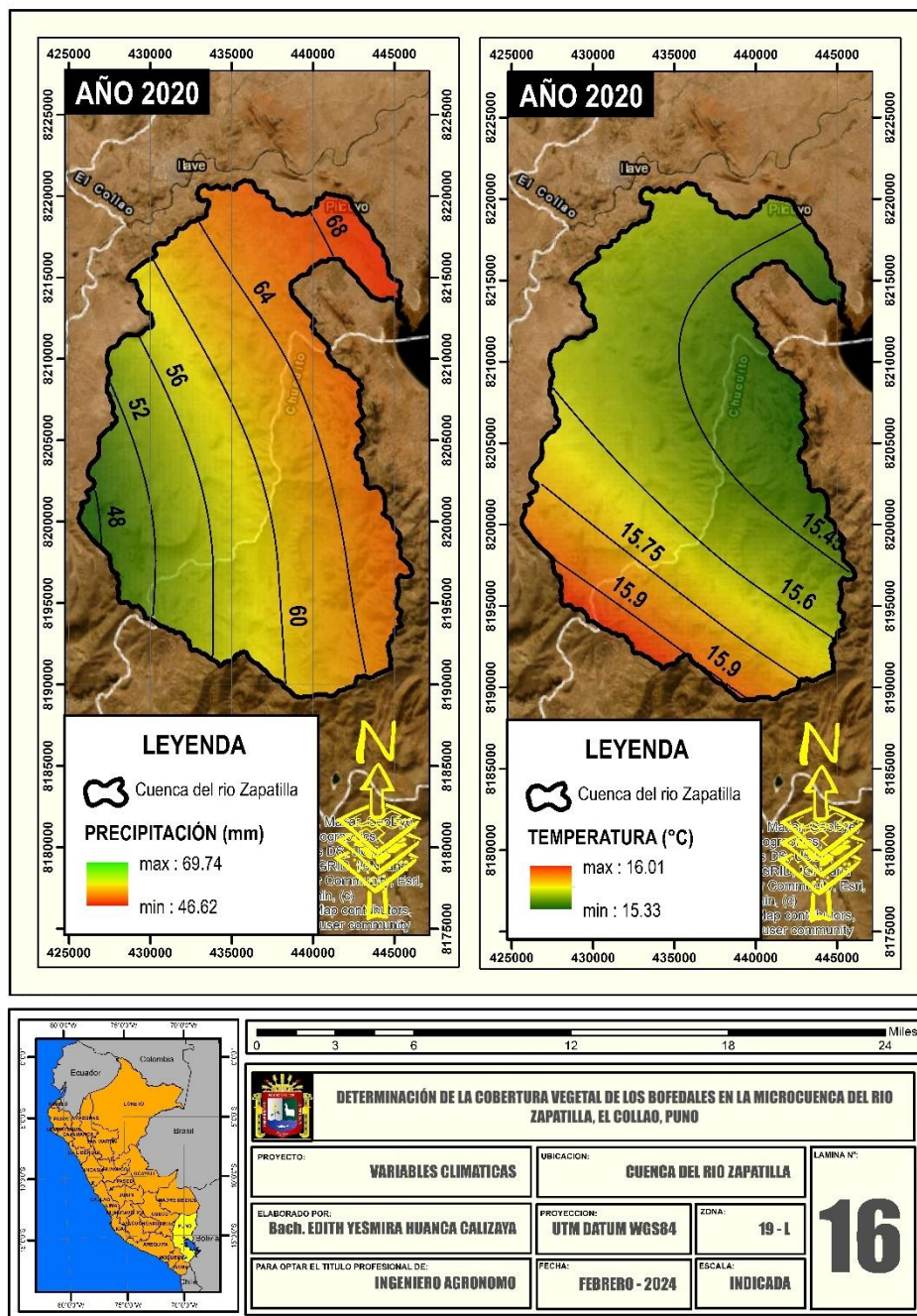
Variables climáticas (precipitación y temperatura) de la microcuenca del río Zapatilla al año 2015.



En la figura 24, se exhibe la precipitación y temperatura de la microcuenca del río Zapatilla al año 2015, indicando que la precipitación fluctúa entre 59.25mm a 73.61mm; mientras que la temperatura fluctúa entre 13.63°C a 14.75°C, respectivamente.

Figura 25

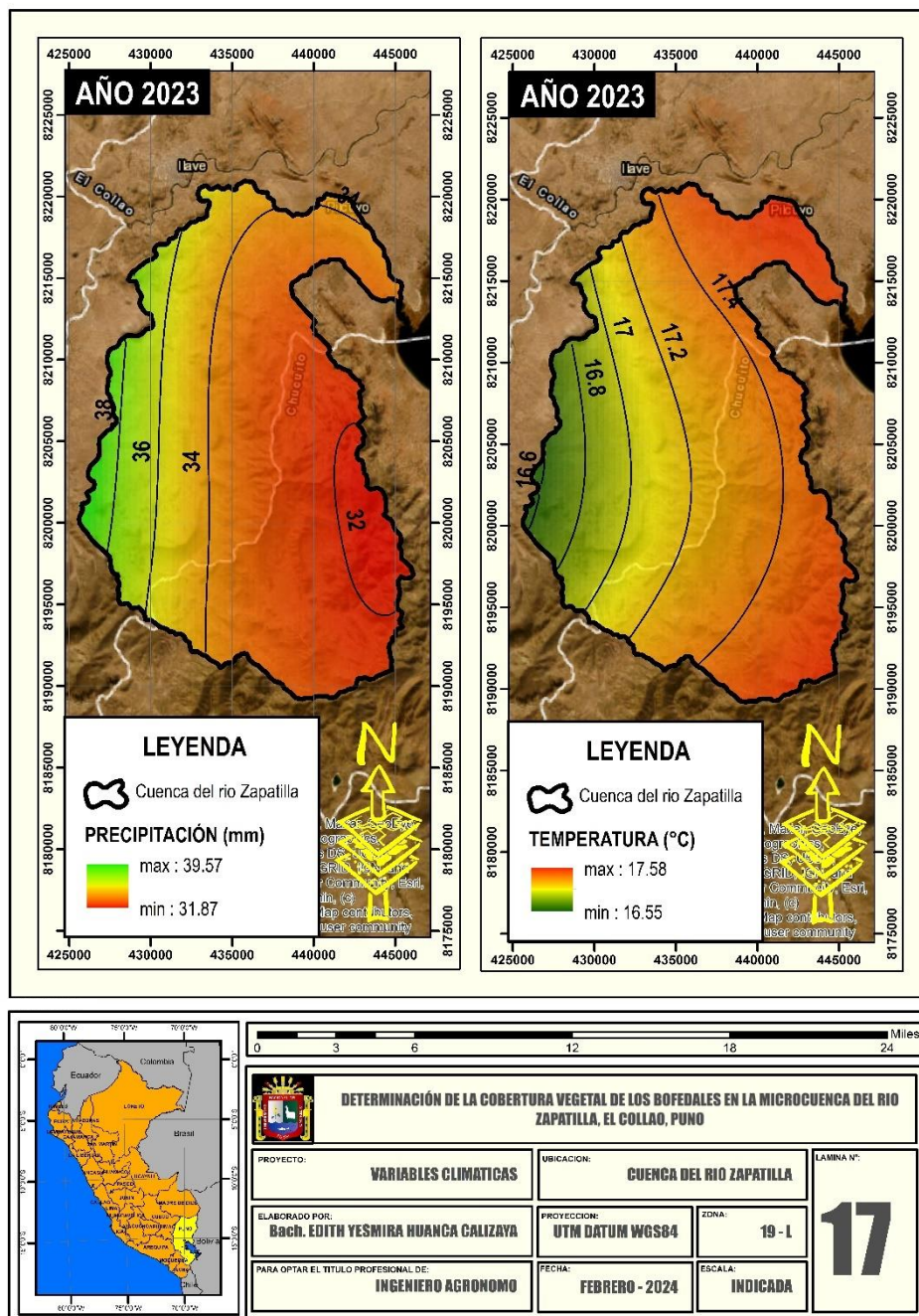
Variables climáticas (precipitación y temperatura) de la microcuenca del río Zapatilla al año 2020.



En la figura 25, se exhibe la precipitación y temperatura de la microcuenca del río Zapatilla al año 2020, indicando que la precipitación fluctúa entre 46.62mm a 69.74mm; mientras que la temperatura fluctúa entre 15.33°C a 16.01°C, respectivamente.

Figura 26

Variables climáticas (precipitación y temperatura) de la microcuenca del río Zapatilla al año 2023.



En la figura 26, se exhibe la precipitación y temperatura de la microcuenca del río Zapatilla al año 2023, indicando que la precipitación fluctúa entre 31.87mm a 39.57mm; mientras que la temperatura fluctúa entre 16.55°C a 17.58°C, respectivamente.

En la tabla 34, se aprecia el resumen e las variables climáticas (precipitación y temperatura) de la microcuenca del río Zapatilla – periodo 1990 al 2023; indicando que presentan una precipitación promedio de 35.72mm a 70.69mm; además una temperatura promedio entre 13.51 a 17.07°C

Tabla 34

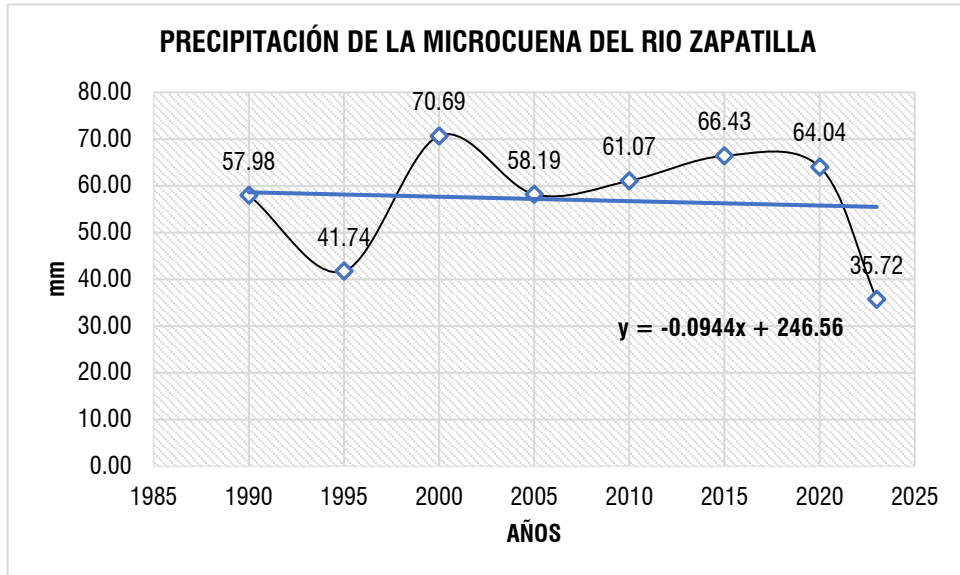
Variables climáticas (precipitación y temperatura) de la microcuenca del río Zapatilla – periodo 1990 al 2023

Año	Precipitación (mm)			Temperatura (°C)		
	min.	max.	media	min.	max.	media
1990	44.31	71.64	57.98	13.10	13.91	13.51
1995	22.77	60.70	41.74	13.68	15.10	14.39
2000	64.11	77.27	70.69	12.84	14.40	13.62
2005	46.52	69.86	58.19	13.68	14.58	14.13
2010	46.19	75.94	61.07	14.29	16.35	15.32
2015	59.25	73.61	66.43	13.63	14.75	14.19
2020	46.62	69.74	64.04	15.33	16.01	15.67
2023	31.87	39.57	35.72	16.55	17.58	17.07

Nota. (mm) milímetros; (°C) grados centígrados

Figura 27

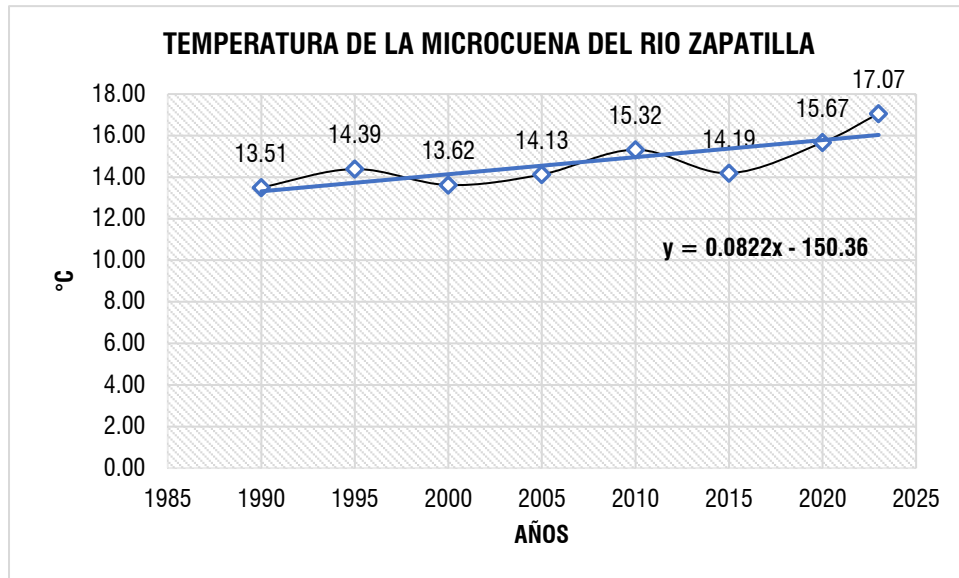
Tendencia de la precipitación de la microcuenca del río Zapatilla – periodo 1990 al 2023 al 2023



En la figura 27, se exhibe la tendencia de la precipitación de la microcuenca del río Zapatilla – periodo 1990 al 2023, indicando que presenta una tendencia de decrecimiento de la precipitación en la microcuenca del río Zapatilla para los periodos evaluados respectivamente.

Figura 28

Tendencia de la temperatura de la microcuenca del río Zapatilla – periodo 1990 al 2023

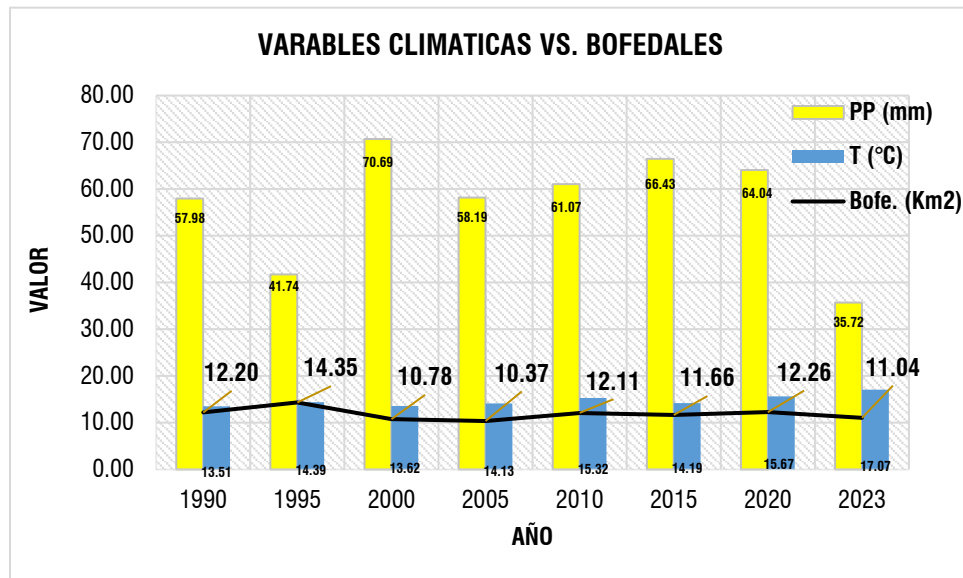


En la figura 28, se exhibe la tendencia de la temperatura de la microcuenca del río Zapatilla – periodo 1990 al 2023, indicando que presenta una tendencia de incremento de la temperatura en la microcuenca del río Zapatilla para los periodos evaluados respectivamente.

4.2.2. Relación de la precipitación y temperatura en la superficie de los bofedales

Figura 29

Relación de la precipitación y temperatura en la superficie de los bofedales



Nota. (PP) Precipitación; (T) Temperatura; Bofedales

En la figura 29, se exhibe relación de la precipitación y temperatura en la superficie de los bofedales, indicando que mientras la precipitación disminuye la superficie de los bofedales también disminuye; constatando una relación proporcional; además mientras que la temperatura aumenta la superficie de los bofedales disminuye, constatando una relación inversamente proporcional respectivamente.

Ante ello en los últimos 30 años en la cuenca del río zapatilla hay disminución de la precipitación y aumento en la temperatura que es el principal causante de la disminución del área de los bofedales.

La situación actual de los bofedales; hay disminución en extensión y calidad de las áreas de los bofedales desde el año 1990 al 2023, que estarían vinculadas al sobrepastoreo, cambio climático, cambio de uso de la tierra, falta de



mantenimiento de los bofedales, fragmentación de las unidades familiares, problemas de la calidad de agua, migración, etc.

Estos resultados con respecto a García (2021), presentan cierta similitud, indicando que en el periodo evaluado de 8 años existió variaciones en la distribución de bofedales presentes en la subcuenca de la reserva de producción de fauna Chimborazo; encontrando una tendencia de pérdida de bofedales; todo ello es atribuido a la intervención antrópica y al cambio climático (aumento de la temperatura y disminución de la precipitación); sugiriendo que se lleven a cabo esfuerzos de conservación y restauración en los bofedales para preservar la prestación de servicios ecosistémicos esenciales en las zonas de recarga de agua, mantener la sostenibilidad ambiental de la zona estudiada y disminuir el impacto del cambio climático en los bofedales ".

Además, con respecto al estudio realizado por Toribio (2023), presentan características similares; en el cual indica que la extensión de los bofedales con las precipitaciones reveló una tendencia de crecimiento en la cantidad y el área total promedio de bofedales, correlacionándose positivamente con las intensidades de precipitación; todo ello es corroborado por Pamo (2022), donde indica que los regímenes de precipitación y temperatura inciden fuertemente en la cobertura vegetal de los bofedales, acelerando los procesos de degradación, especialmente; finalmente con respecto al estudio realizado por Gutierrez (2018), también indican que la superficie de los bofedales disminuye o, en algunos casos, desaparece a medida que aumenta la temperatura máxima anual, y que la superficie de los bofedales aumenta a medida que aumentan las precipitaciones. Estas conclusiones sugieren que el cambio climático es uno de los factores que influyen en el comportamiento de los bofedales.

4.3. DETERMINAR EL ESTADO DE LOS BOFEDALES DE LA MICROCUCUENCA DEL RIO ZAPATILLA

Con respecto al objetivo específico 3; determinar el estado de los bofedales de la microcuenca del río Zapatilla; para el cumplimiento de presente objetivo se ha tomado en consideración 8 bofedales; siendo los que presentan mayor extensión territorial; todo ello realizado mediante la Guía de evaluación del estado del ecosistema bofedal del MINAM (2019).

4.3.1. Determinación del rendimiento de materia seca de los bofedales

En la tabla 35, se aprecia las coordenadas de los 8 bofedales tomados en consideración para determinar el rendimiento de materia seca:

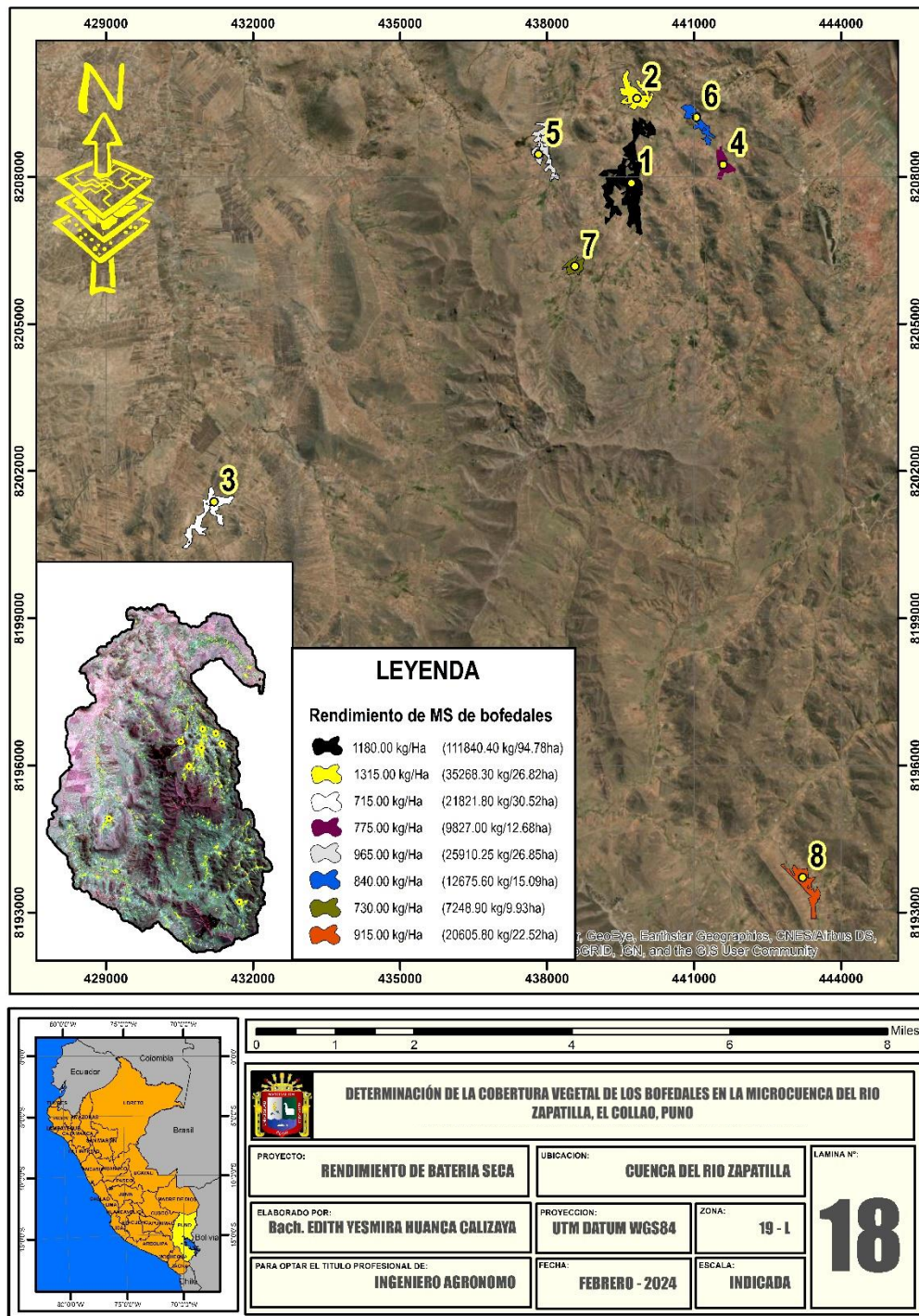
Tabla 35

Coordenadas de ubicación de los bofedales en estudio

N°	X	Y
1	439721.19	8207872.67
2	439833.66	8209597.21
3	431206.42	8201371.94
4	441591.68	8208248.30
5	437824.35	8208455.42
6	441048.18	8209209.89
7	438568.23	8206174.61
8	443214.34	8193713.38

Figura 30

Rendimiento de materia seca de los bofedales en estudio



En la figura 30 y tabla 36, se aprecia el rendimiento de materia seca de los bofedales, indicando que el bofedal N° 1, presenta un rendimiento de

1180.00kg/ha; mostrando en toda su extensión 111840.40kg/94.78ha (siendo el valor de mayor rendimiento por su extensión); además en el bofedal N° 2, presenta un rendimiento de 1315.00kg/ha; mostrando en toda su extensión 35268.30kg/26.82ha; también en el bofedal N° 3, presenta un rendimiento de 715.00kg/ha; mostrando en toda su extensión 21821.80kg/30.52ha; de igual manera en el bofedal N° 4, presenta un rendimiento de 775.00kg/ha; mostrando en toda su extensión 9827.00kg/12.68ha; Así mismo en el bofedal N° 5, presenta un rendimiento de 965.00kg/ha; mostrando en toda su extensión 25910.25kg/26.85ha; además en el bofedal N° 6, presenta un rendimiento de 840.00kg/ha; mostrando en toda su extensión 12675.60kg/15.09ha; de igual manera en el bofedal N° 7, presenta un rendimiento de 730.00kg/ha; mostrando en toda su extensión 7248.90kg/9.93ha (siendo el valor de menor rendimiento por su extensión); y finalmente en el bofedal N° 8, presenta un rendimiento de 915.00kg/ha; mostrando en toda su extensión 20605.80kg/22.52ha respectivamente.

Tabla 36

Rendimiento de materia seca de los bofedales en estudio

Rendimiento de materia seca de los bofedales						
N°	Peso (kg)	Área (m ²)	Rendimiento (kg/m ²)	Rendimiento (kg/ha)	Área del bofedal (ha)	Rendimiento de materia seca del bofedal (kg)
1	0.236	2.00	0.118	1180.00	94.78	111840.40
2	0.263	2.00	0.132	1315.00	26.82	35268.30
3	0.143	2.00	0.072	715.00	30.52	21821.80
4	0.155	2.00	0.078	775.00	12.68	9827.00
5	0.193	2.00	0.097	965.00	26.85	25910.25
6	0.168	2.00	0.084	840.00	15.09	12675.60
7	0.146	2.00	0.073	730.00	9.93	7248.90
8	0.183	2.00	0.092	915.00	22.52	20605.80

4.3.1. Estado de los bofedales

4.3.1.1. Condición del agua

En la tabla 37, se aprecia los atributos e indicadores de condición del agua, indicando que, de los 8 bofedales evaluados, presentan una profundidad de la napa freática promedio entre 3.50cm a 9.57cm; representando en un puntaje 30.8 y 20.5 respectivamente; mientras que la conductividad eléctrica fluctúa entre 0.12 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a 0.29 $\mu\text{S}/\text{cm}$, representando en un puntaje 8.8.

Tabla 37

Atributos e indicadores de condición del agua (indicador napa freática y conductividad eléctrica)

Condición del agua				
Bofedal	Napa freática (cm)		Conductividad eléctrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	
	Valor	Puntaje	Valor	Puntaje
1	3.50	30.8	0.29	8.8
2	4.27	30.8	0.13	8.8
3	7.38	20.5	0.14	8.8
4	8.23	20.5	0.28	8.8
5	6.94	20.5	0.27	8.8
6	9.57	20.5	0.12	8.8
7	8.63	20.5	0.12	8.8
8	7.39	20.5	0.26	8.8

4.3.1.2. Condición del suelo

En la tabla 38 y 39, se aprecia los atributos e indicadores de condición del agua, indicando que, de los 8 bofedales evaluados, presentan una profundidad de la turba promedio entre 128.65cm a 213.53cm; representando en un puntaje de 6.1 y 9.2 respectivamente; mientras que la

materia orgánica fluctúa entre 28.03% a 39.2%, representando en un puntaje de 0 y 3; así mismo la densidad aparente fluctúa entre 0.12g/cm³ a 0.44g/cm³ representando en un puntaje de 1.2, 2.3 y 3.5; y finalmente los signos de erosión fluctúa entre rangos de B a C, representando en un puntaje de 0 y 3.

Tabla 38

Atributos e indicadores de condición del suelo (indicador profundidad de la turba y materia orgánica)

Condición del suelo				
Bofedal	Profundidad de la turba (cm)		Materia orgánica (%)	
	Valor	Puntaje	Valor	Puntaje
1	213.53	9.2	39.22	3
2	210.62	9.2	28.17	0
3	196.24	6.1	39.32	3
4	163.79	6.1	43.27	3
5	143.24	6.1	38.67	3
6	185.34	6.1	28.03	0
7	128.65	6.1	39.29	3
8	196.34	6.1	43.20	3

Tabla 39

Atributos e indicadores de condición del suelo (indicador densidad aparente y signos de erosión)

Condición del suelo				
Bofedal	Densidad aparente (g/cm ³)		Signos de erosión	
	Valor	Puntaje	Valor	Puntaje
1	0.35	1.2	B	1.90
2	0.18	3.5	B	1.90
3	0.26	2.3	B	1.90
4	0.12	3.5	C	1.00
5	0.38	1.2	C	1.00
6	0.44	1.2	B	1.90
7	0.12	3.5	C	1.00
8	0.16	3.5	B	1.90

4.3.1.3. Condición de la biota

En la tabla 40 y 41, se aprecia los atributos e indicadores de condición de la biota, indicando que, de los 8 bofedales evaluados, presentan un porcentaje de especies nativas promedio entre 70% a 93%; representando en un puntaje de 2.9, 5.8 y 8.7 respectivamente; mientras que la riqueza de especies fluctúa entre 9 a 15 especies, representando en un puntaje de 2.1 y 3.1; así mismo el porcentaje de cobertura vegetal está al 100% representando en un puntaje de 3; y finalmente la biomasa fluctúa entre 715.00 kg MS/ha a 1315.00 kg MS/ha, representando en un puntaje de 3.4 a 5.1.

Tabla 40

Atributos e indicadores de condición de la biota (indicador especies nativas y riqueza de especies)

Condición de la biota				
Bofedal	Especies nativas (%)		Riqueza de especies (transecto)	
	Valor	Puntaje	Valor	Puntaje
1	93.00	8.7	11.00	3.1
2	67.00	5.8	10.00	2.1
3	75.00	5.8	15.00	3.1
4	68.00	5.8	11.00	3.1
5	79.00	5.8	12.00	3.1
6	61.00	5.8	10.00	2.1
7	58.00	2.9	9.00	2.1
8	70.00	5.8	13.00	3.1

Tabla 41

Atributos e indicadores de condición de la biota (indicador cobertura vegetal y biomasa)

Bofedal	Condición de la biota			
	Cobertura vegetal (%)		Biomasa (kg MS/ha)	
	Valor	Puntaje	Valor	Puntaje
1	100.00	3	1180.00	5.1
2	100.00	3	1315.00	5.1
3	100.00	3	715.00	3.4
4	100.00	3	775.00	3.4
5	100.00	3	965.00	3.4
6	100.00	3	840.00	3.4
7	100.00	3	730.00	3.4
8	100.00	3	915.00	3.4

4.3.1.4. Alteración del paisaje

En la tabla 42, se aprecia los atributos e indicadores de la alteración del paisaje, indicando que, de los 8 bofedales evaluados, presentan presencia de factores de degradación entre rangos de B a C; representando en un puntaje de 2.7 y 5.3 respectivamente; mientras que la conectividad hidrológica fluctúa en valores de A, B y C, representando en un puntaje de 2.7, 5.3 y 8.0.

Tabla 42

Atributos e indicadores de la alteración del paisaje (indicador presencia de factores de degradación y conectividad hidrológica)

Bofedal	Alteración del paisaje			
	Presencia de factores de degradación		Conectividad hidrológica	
	Valor	Puntaje	Valor	Puntaje
1	B	5.30	A	8.00
2	B	5.30	A	8.00
3	B	5.30	B	5.30



Bofedal	Valor	Puntaje	Valor	Puntaje
4	B	5.30	B	5.30
5	B	5.30	B	5.30
6	C	2.70	C	2.70
7	C	2.70	C	2.70
8	B	5.30	B	5.30

En la tabla 43, se aprecia los valores relativos de atributos e indicadores del ecosistema bofedal; indicando que el bofedal N° 1, presenta un puntaje total de 88.10; caracterizado como un estado de bofedal MUY BUENO; mientras que el bofedal N° 2, presenta un puntaje total de 83.50; caracterizado igualmente como un estado de bofedal MUY BUENO; así mismo el bofedal N° 3, 4, 5 y 8, presentan un puntaje total de 68.50, 68.80, 66.50, y 69.70, caracterizados como un estado de bofedal BUENO; y finalmente el bofedal N° 6 y 7, presentan un puntaje total de 58.20, 59.70, caracterizados como un estado de bofedal regular; manifestando además que dichos valores son proporcionales a los rendimientos de materia seca del bofedal; por ejemplo encontrando que el bofedal 6 y 7, presentaron los más bajos rendimientos en comparación a los demás bofedales y por ende presentaron un estado regular del bofedal; así mismo según la evaluación realizada, se determinó tales estados, debido a que el estudio se realizó en época de avenidas (lluvias); mas no en temporada de estiaje (sequias).

Tabla 43

Valores relativos de atributos e indicadores del ecosistema bofedal

Atributos	Indicadores	Valor relativo (Numero de bofedales)							
		1	2	3	4	5	6	7	8
Condición del agua	Napa freática en época seca (cm)	30.8	30.8	20.5	20.5	20.5	20.5	20.5	20.5
	Conductividad eléctrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	8.8	8.8	8.8	8.8	8.8	8.8	8.8	8.8
Condición del suelo	Profundidad de turba (cm)	9.2	9.2	6.1	6.1	6.1	6.1	6.1	6.1
	Materia orgánica (%)	3	0	3	3	3	0	3	3
	Densidad aparente (g/cm^3)	1.2	3.5	2.3	3.5	1.2	1.2	3.5	3.5
	Signos de erosión (cualitativo)	1.90	1.90	1.90	1.00	1.00	1.90	1.00	1.90
Condición de la biota	Especies nativas (%)	8.7	5.8	5.8	5.8	5.8	5.8	2.9	5.8
	Riqueza de especies (n.º especies / área)	3.1	2.1	3.1	3.1	3.1	2.1	2.1	3.1
	Cobertura vegetal viva (%)	3	3	3	3	3	3	3	3
	Biomasa aérea ($\text{kg MS}/\text{ha}$)	5.1	5.1	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4
Alteraciones en el paisaje	Presencia de factores de degradación (cualitativo)	5.30	5.30	5.30	5.30	5.30	2.70	2.70	5.30
	Conectividad hidrológica del bofedal (cualitativo)	8.00	8.00	5.30	5.30	5.30	2.70	2.70	5.30
Puntaje total		88.10	83.50	68.50	68.80	66.50	58.20	59.70	69.70
Estado del bofedal		MUY BUENO	MUY BUENO	BUENO	BUENO	BUENO	REGULAR	REGULAR	BUENO



Dichos resultados con respecto al estudio realizado por Jara *et al.* (2019), son diferentes, encontrando que el 15,41% bofedal es caracterizado como intervenido, El 1,43% está conservado y el 24,36% algo conservado. Los ecosistemas de bofedales representan 2/5 de la superficie total de la reserva, es decir, 2.0518,03 ha, de las cuales el 24% están en la categoría de intervenidas (12.818,69 ha), el 12% están algo preservadas (6.112,05 ha) y el 3% están conservadas (1.587,29 ha). Así mismo con respecto al estudio realizado por Imbaquingo (2021), presentan cierta similitud encontrando que La parte oriental de la reserva presenta un estado de conservación de los bofedales de la subcuenca del río Chambo más elevado que la parte occidental, que se ve afectada por diversas actividades humanas que repercuten en los ecosistemas.; de igual manera con respecto al estudio realizado por Pamo (2022), son diferentes encontrando que los bofedales del anexo de Ancomarca, coinciden con una baja vigorosidad están en un estado de conservación pésimo, y finalmente con respecto a Machuca & Uzquiano (2021), se asemejan encontrando que el estado de conservación de los bofedales en la microcuenca de Acocancha-Lima se encuentran en un estado regular; por ello se necesita recuperar y conservar los bofedales ya que es la principal fuente de agua de los pobladores de huaros como también del río chillón.

Debido a su situación geográfica y a los procesos biológicos que tienen lugar en ellos, como las concentraciones de carbono orgánico (CO₂), se puede decir que este tipo de ecosistema posee una notable biodiversidad. Además de la escasa presencia de fauna entre los mamíferos, reptiles y aves que viven en estos ecosistemas, también destaca por tener una flora endémica, en la que sobresalen las plantas vasculares.

Por ello se deberá implementar tecnologías de mejora hídrica como zanjas de infiltración, Qochas, Amunas, entre otros en la microcuenca del río Zapatilla; adicionalmente, tener en cuenta que las obras deben concluirse antes de la temporada de



lluvias; y como ayuda a la retención de agua, reforestar la zona con árboles nativos, entre ellos el Queñoa, Colle y Tola, entre otros, como respuesta al cambio climático.



V. CONCLUSIONES

PRIMERA: Según los resultados se concluye que la superficie de los bofedales de la microcuenca del río Zapatilla presenta una tasa de cambio histórico del -0.30%; siendo indicativo de que la superficie de los bofedales está en decrecimiento entre los periodos de 1990 al 2023.

SEGUNDA: Según los resultados se concluye que la precipitación presenta una relación proporcional frente a la superficie de los bofedales; por que a medida que la precipitación disminuye la superficie de los bofedales también disminuye; además con respecto a la temperatura existe una relación inversamente proporcional frente a la superficie de los bofedales; por que a medida que la temperatura aumenta, la superficie de los bofedales disminuye.

TERCERA: Según los resultados se concluye que el estado de los bofedales de la microcuenca del río Zapatilla están en un estado regular, bueno y muy bueno; siendo el principal indicativo de que los bofedales estén en estado regular, al sobrepastoreo, cambio climático, cambio de uso de la tierra, falta de mantenimiento de los bofedales, fragmentación de las unidades familiares, problemas de la calidad de agua, migración, etc.; mientras que los bofedales que se encuentran en estado muy bueno, no presentan ninguna actividad antrópica.



VI. RECOMENDACIONES

- PRIMERA:** Se recomienda emprender campañas de concientización ambiental a los poblados y centros educativos presentes en la cuenca del río Zapatilla, para fomentar una cultura de protección hacia los bofedales, entre otros.
- SEGUNDA:** Se recomienda impulsar el uso de SIG, para realizar estudios sobre cambio de la cobertura vegetal, en las universidades de la región y en el país, utilizando diferentes metodologías para comparar resultados.
- TERCERA:** Se recomienda para minimizar los sesgos resultantes de la variabilidad de los sensores o de cualquier técnica analítica, realizar un análisis multitemporal a partir de muchos satélites para poder comparar los cambios en los datos.
- CUARTA:** Se recomienda realizar más 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.
- QUINTA:** Se recomienda a las autoridades municipales implementar tecnologías de mejora hídrica como zanjas de infiltración, Qochas, Amunas, entre otros en la microcuenca del río Zapatilla; adicionalmente, tener en cuenta que las obras deben concluirse antes de la temporada de avenidas; y como ayuda a la retención de agua, reforestar la zona con árboles nativos, entre ellos la queñoa, Colle y Tola, entre otros, como respuesta al cambio climático.



SEXTA: Por último, se recomienda debido a que la investigación sobre los bofedales debe ampliarse para asegurar su adecuada gestión frente a actividades antropológicas como la ganadería, el cambio climático y el calentamiento global. Estos factores tienen un impacto en las características primarias de los bofedales, que incluyen su capacidad para proporcionar servicios ecosistémicos como el secuestro de carbono, los recursos hídricos, la fauna, la flora y el paisaje.



VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acosta, A. (2017). *Elaboración de una clasificación no supervisada y supervisada para generar las coberturas vegetales de una imagen satelital LandSat 7-ETM usando los programas R y PCI Geomatics con el fin de comparar los resultados*. Nueva Granada: Universidad Militar Nueva Granada.
- Aduvire, O., & Aduvire, H. (2021). Diagnóstico y rehabilitación de bofedales afectados por pasivos ambientales mineros. *Revista de Medio Ambiente y Minería*, 17 - 25.
- Alata, A. (2018). *Análisis multitemporal de la explotación minera con aplicación de percepción remota y sig en los distritos de Ananea y Cuyocuyo - Puno*. Puno: Universidad Nacional del Altiplano.
- Allcca, J. (2021). *Análisis multitemporal de la expansión urbana, del distrito de Ayacucho, mediante imágenes satelitales*. Lima: Universidad César Vallejo.
- 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.
- ANA. (2021). *Priorización de Cuencas para la Gestión de los Recursos Hídricos*. Lima: Autoridad Nacional del Agua.
- Andrade, E. (2016). *Determinación del estado de conservación de los bofedales de la Rserva de Producción de Fauna Chimborazo*. Riobamba: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.



- Aponte, S., & Ospina, N. (2019). Evaluando el desempeño de índices espectrales para identificar humedales alto andinos. *Revista de Teledetección*, 53 - 59.
- Arteaga, M. (2018). *Determinación de la cobertura vegetal de los bofedales mediante el índice de vegetación de diferencia normalizada en la Subcuenca Pachacoto, Cátac-Áncash*. Ancash: Universidad Cesar Vallejo.
- Briones, P. (2018). *Análisis de cambio de cobertura y uso de la tierra con imágenes satelitales del distrito de Namora*. Lima: Universidad Nacional Cesar Vallejo.
- Caballero, J., & Espinal, M. (2021). *Determinación de la variación de cobertura vegetal mediante Imágenes Satelitales en el Caserío Shiracmaca Huamachuco por la expansión minera 2000 - 2021*. Trujillo: Universidad César Vallejo.
- 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.
- Carvajal, L. (2022). *Análisis multitemporal de la expansión urbana y cambios en el uso del suelo entre los años 2004-2021 de la ciudad de Ambato*. Ambato: Universidad Tecnica Peruana.
- 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.
- Chahua, E. (2019). *Análisis de la deforestación en el periodo 2006 – 2018 del distrito Daniel Alomía Robles*. Huanuco: Universidad Nacional de Huanuco.



- Chariarse, A., & Chariarse, P. (2021). *Análisis multitemporal del uso de suelo y cobertura vegetal mediante el uso de herramientas SIG aplicados a la cuenca de Chuyapi - Santa Ana - La Convención – Cusco*. Cusco: Universidad Andina del Cusco.
- Chavez, R. (2015). *inventario y variación multianual de bofedales en la cuenca alta del río Cachi*. Ayacucho: Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga .
- Córdova, C. (2019). *Estudio multitemporal de la cobertura vegetal de los ecosistemas de la zona norte de la provincia de Chimborazo a través de imágenes satelitales*. Riobamba: Escuela Superior Politecnica del Chimborazo.
- Córdova, J., & Sánchez, L. (2020). *Análisis de la variación multitemporal de la cobertura vegetal entre los años 2010-2018, en la cuenca del río Neshuya, Ucayali, Perú*. Pucallpa: Universidad Nacional de Ucayali.
- Cozo, C. (2022). *Análisis de cambio de uso de suelo por actividad minera mediante percepción remota en el distrito de Ananea*. Puno: Universidad Privada San Carlos.
- Cruz, Z., Quiroz, R., & Garatusa, J. (2012). Dinamica de los bofedales en el altiplano peruano-boliviano. *Revista Latinoamericana de Recursos Naturales*, 63-75.
- Espinoza, L. (2022). *Influencia de la expansión minera Constancia sobre la cobertura vegetal durante el periodo 2010 – 2021 Cusco - Perú*. Repositorio Universidad Privada del Norte. doi:<https://hdl.handle.net/11537/32624>



- Estrada, A., & Vasquez, J. (2021). *Detección e identificación de comunidades vegetales altoandinas, Bofedal y Tolar de Puna Seca mediante ortofotografías RGB y NDVI en drones “Sistemas Aéreos no Tripulados”*. La Molina : Scientia agropecuaria.
- 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.
- Garcia, F. (2021). *Determinación del carbono orgánico almacenado en la vegetación de ribera y macrófitas de los 16 bofedales de la reserva de producción de fauna Chimborazo*. Riobamba : Escuela Superior Politecnica de Chimborazo .
- 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.
- IPCC. (2014). *The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge: The Physical Science Basis.



- 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.
- Jara, C., Delegido, J., Ayala, J., Lozano, P., Armas, A., & Flores, V. (2019). Estudio de bofedales en los Andes ecuatorianos a través de la comparación de imágenes Landsat-8 y Sentinel-2. *Revista de teledeteccion* , 1 - 14.
- 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.
- 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.
- Machuca, E., & Uzquiano, F. (2021). *Evaluación del estado de Salud de Bofedales mediante Teledetección en la Microcuenca de Acocancha-Lima*. Lima: Universidad César Vallejo.
- Maldonado, M. (2010). *Comportamiento De La Vegetacion De Bofedales Influenciados Por Actividades Antropicas*. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú.



- MINAM. (2016). *Memoria descriptiva del mapa de cobertura vegetal del*. Lima:
Ministerio del Ambiente.
- MINAM. (2019). *Guía de evaluación del estado del ecosistema bofedal* . Lima:
Ministerio del Ambiente.
- MINAM. (23 de Mayo de 2022). *Diez claves para conocer más sobre montañas,
glaciares y agua*. Obtenido de <https://www.minam.gob.pe/glaciares/diez-claves-para-conocer-mas-sobre-montanas-glaciares-y-agua/>
- 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>
- Montoya, S. (2017). *5 cosas que no sabias de los bofedales*. Lima: GIDAHATARI.
- Morales, J., Carrillo, F., & Farfan, L. (2016). Cambio de cobertura vegetal en la región
de Bahía de Banderas. *Scielo*, 1 - 10.
- Nasa, C. (2021). La NASA y el USGS publican las primeras imágenes del Landsat 9.
Ciencia de la NASA, 1 - 9.
- Pamo, J. (2022). *Determinación de la tasa de cambio histórico de bofedales del anexo de
ancomarca haciendo un análisis multitemporal en la zona altoandina de tacna*.
Tacna: Universidad Privada de Tacna.



- Pamo, O., & Oscco, C. (2022). *Análisis espacio temporal del bofedal de la comunidad de Ancomarca (Tacna - Perú) durante el período 1990 – 2021, con técnicas de teledetección*. 43 - 53: Revista Ciencias Biológicas y Ambientales-.
- Poveda, J., Lopez, E., & Villa, N. (2020). Efecto de la cobertura vegetal de ribera en las comunidades ícticas en el bosque húmedo premontano y muy húmedo premontano del Alto Magdalena, Colombia. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*.
- Ramos, C., & Luque, C. (2020). *Análisis espacio temporal y climático del humedal altoandino de Chalhuanca (Perú) durante el periodo 1986-2016*. Arequipa.
- RAMSAR. (2015). Estado de los humedales del mundo y de los servicios que prestan a las personas. *una recopilación de análisis recientes. Nota informativa*. .
- Ramsar, F. (02 de Marzo de 2020). *Los humedales, el ecosistema más valioso del mundo, están desapareciendo tres veces más rápido que los bosques*.
- Rondoy, L., Mostacero, L., & De La Cruz, A. (2020). Physical chemical and phytoplankton characteristics of high Andean wetlands and their relationship with the presence of *Lymnaea* Spp. in Frías, Piura, Peru. *Manglar*, 13 - 19.
- Rosario, E. (2020). *Estimación de la disponibilidad hídrica superficial de la cuenca alto Marañón*. Mayolo: Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo.
- SENAMHI. (20 de Enero de 2024). *Datos Hidrometeorológicos obtenidas del SENAMHI*. Obtenido de <https://www.senamhi.gob.pe/?p=estaciones>



- Sithiengtham, P. (12 de Agosto de 2019). Projecting water demand and availability under climate change through the application of WEAP in the Nam Ngum downstream area, Laos. *University Flinders*, 1 - 12.
- 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.
- USGS/NASA. (25 de septiembre de 2017). *Servicio Geológico de los Estados Unido*. Obtenido de <https://earthexplorer.usgs.gov/>
- Villar, F. (2023). *Desarrollo de un sistema de monitoreo para la evaluación de bofedales por medio de la observación terrestre*. Lima: Universidad de Ingeniería y Tecnología.
- Villón, M. (2005). *Hidrología estadística*. Lima-Peru: Instituto Tecnológico de Costa Rica - Escuela de ingeniería Agrícola.



Zhiminaicela, J., Quevedo, J., & Morocho, A. (2020). Deforestación y cambios en la cobertura vegetal del archipiélago de Jambelí, mediante el uso de imágenes satelitales Landsat-8. *Manglar*, 153-157.



ANEXOS

ANEXO 1. Descarga de imágenes satelitales

USGS
science for a changing world

Explorador de tierra

Ayuda Comentario Acceso

Borrar criterios de búsqueda

Resumen de criterios de búsqueda (Mostrar)

(16° 05' 23" S, 070° 02' 50" O) Opciones

1. Ingrese los criterios de búsqueda

Para limitar su área de búsqueda escriba una dirección o nombre de lugar, ingrese coordenadas o haga clic en el mapa para definir su área de búsqueda (para herramientas de mapas avanzadas, consulte la documentación de ayuda) y/o elija un rango de fechas.

Geocodificador Carga de archivos KML/Shapefile

Seleccione un método de codificación geográfica

Característica (GNIS)

Límites de búsqueda: el límite de resultados de búsqueda es de 100 registros; seleccione un país, clase de característica y/o tipo de característica para reducir las posibilidades de encontrar este ítem.

Características de EE. UU. Características del mundo

Nombre de la característica [use % como comodín]

Estado

Tipo de característica

Polígono Círculo Área predefinida Decimal

Grado/Minuto/Segundo

1. Latitud: 16° 10' 16" S, Longitud: 069° 31' 46" W

2. Latitud: 16° 15' 24" S, Longitud: 069° 29' 13" W

3. Latitud: 16° 17' 09" S, Longitud: 069° 34' 59" W

4. Latitud: 16° 10' 25" S, Longitud: 069° 37' 48" W

Usar mapa Agregar coordenadas Borrar coordenadas

Rango de fechas Cobertura de nubes Opciones de resultados

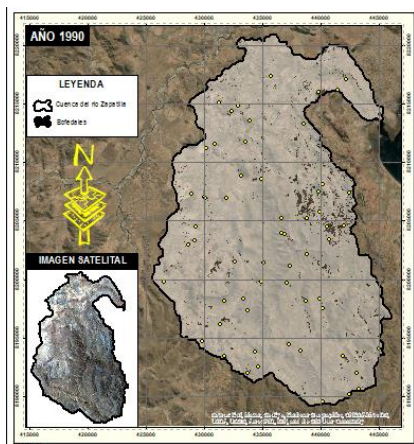
Buscar desde: [00/mm/aaaa] a: [00/mm/aaaa]

Meses de búsqueda: (todo)

Conjuntos de datos Criterios adicionales

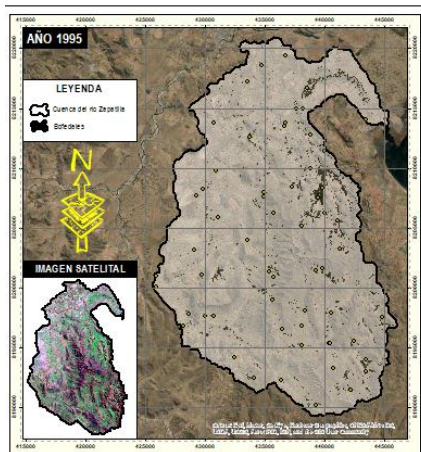
Los mapas proporcionados no se pueden comprar ni descargar; deben utilizarse como guía únicamente con fines de referencia y búsqueda; no son propiedad ni están administrados por el USGS.

ANEXO 2. Índice Kappa de los bofedales de la microcuenca del río Zapatilla



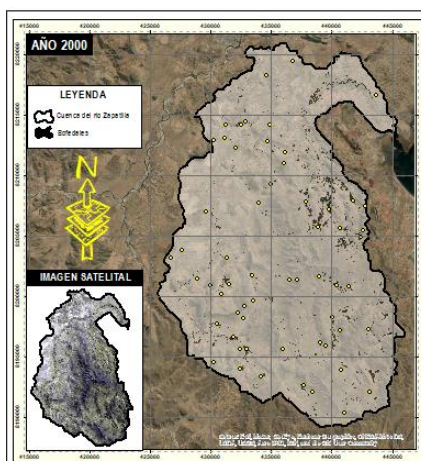
Nota. Año 1990

OBJECTID	ClassValue	C_1	C_2	C_3	C_4	Total	U_Accuracy	Kappa
-1	C_1	10	0	0	0	10	1	0
-1	C_2	0	11	1	0	12	0.916667	0
-1	C_3	0	2	18	0	20	0.9	0
-1	C_4	0	0	0	17	17	1	0
-1	Total	10	13	19	17	59	0	0
-1	P_Accuracy	1	0.846154	0.947368	1	0	0.949153	0
-1	Kappa	0	0	0	0	0	0	0.930751



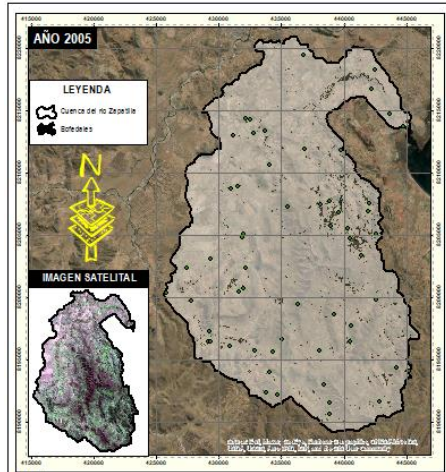
Nota. Año 1995

OBJECTID	ClassValue	C_1	C_2	C_3	C_4	Total	U_Accuracy	Kappa
-1	C_1	8	2	0	0	10	0.8	0
-1	C_2	0	9	1	0	10	0.9	0
-1	C_3	0	1	22	0	23	0.956522	0
-1	C_4	0	0	0	16	16	1	0
-1	Total	8	12	23	16	59	0	0
-1	P_Accuracy	1	0.75	0.956522	1	0	0.932203	0
-1	Kappa	0	0	0	0	0	0	0.905449



Nota. Año 2000

OBJECTID	ClassValue	C_1	C_2	C_3	C_4	Total	U_Accuracy	Kappa
-1	C_1	12	2	0	0	14	0.857143	0
-1	C_2	0	23	0	0	23	1	0
-1	C_3	0	0	12	0	12	1	0
-1	C_4	0	0	1	9	10	0.9	0
-1	Total	12	25	13	9	59	0	0
-1	P_Accuracy	1	0.92	0.923077	1	0	0.949153	0
-1	Kappa	0	0	0	0	0	0	0.928973



Nota. Año 2005

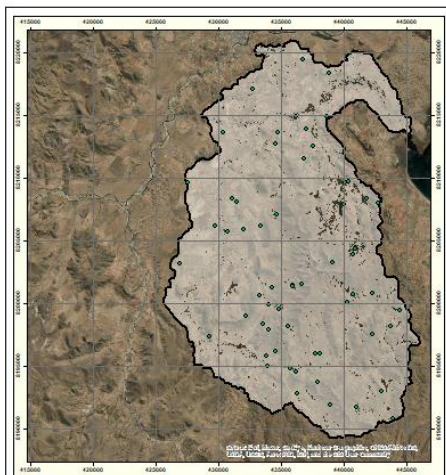
Table

2005

OBJECTID	ClassValue	C_1	C_2	C_3	C_4	Total	U_Accuracy	Kappa
-1	C_1	8	2	0	0	10	0.8	0
-1	C_2	0	10	0	0	10	1	0
-1	C_3	0	0	22	0	22	1	0
-1	C_4	0	0	1	15	16	0.9375	0
-1	Total	8	12	23	15	58	0	0
-1	P_Accuracy	1	0.833333	0.956522	1	0	0.948276	0
-1	Kappa	0	0	0	0	0	0	0.92804

(0 out of 7 Selected)

2005



Nota. Año 2010

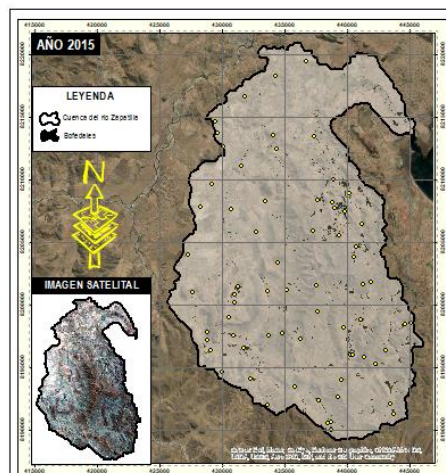
Table

2010

OBJECTID	ClassValue	C_1	C_2	C_3	C_4	Total	U_Accuracy	Kappa
-1	C_1	9	1	0	0	10	0.9	0
-1	C_2	0	13	0	0	13	1	0
-1	C_3	0	1	21	0	22	0.954545	0
-1	C_4	0	0	1	13	14	0.928571	0
-1	Total	9	15	22	13	59	0	0
-1	P_Accuracy	1	0.866667	0.954545	1	0	0.949153	0
-1	Kappa	0	0	0	0	0	0	0.93004

(0 out of 7 Selected)

2010



Nota. Año 2015

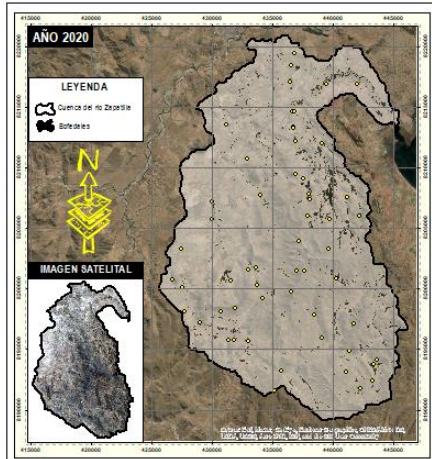
Table

201555

OBJECTID	ClassValue	C_1	C_2	C_3	C_4	Total	U_Accuracy	Kappa
-1	C_1	8	0	2	0	10	0.8	0
-1	C_2	0	10	0	0	10	1	0
-1	C_3	0	0	23	0	23	1	0
-1	C_4	0	0	1	25	26	0.961538	0
-1	Total	8	10	26	25	69	0	0
-1	P_Accuracy	1	1	0.884615	1	0	0.956522	0
-1	Kappa	0	0	0	0	0	0	0.937894

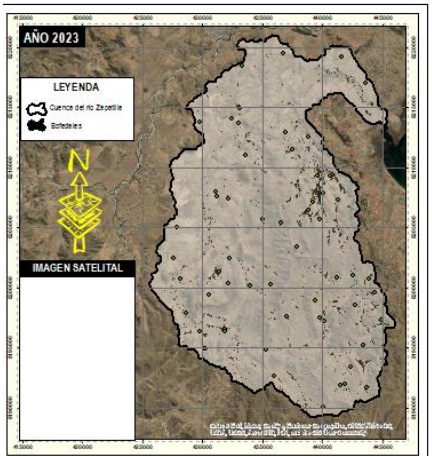
(0 out of 7 Selected)

201555



Nota. Año 2020

OBJECTID	ClassValue	C_1	C_2	C_3	C_4	Total	U_Accuracy	Kappa
-1	C_1	10	0	0	0	10	1	0
-1	C_2	0	21	0	0	21	1	0
-1	C_3	0	0	15	0	15	1	0
-1	C_4	0	2	0	8	10	0.8	0
-1	Total	10	23	15	8	56	0	0
-1	P_Accuracy	1	0.913043	1	1	0	0.964286	0
-1	Kappa	0	0	0	0	0	0	0.950178



Nota. Año 2023

OBJECTID	ClassValue	C_1	C_2	C_3	C_4	Total	U_Accuracy	Kappa
-1	C_1	10	0	0	0	10	1	0
-1	C_2	0	23	0	0	23	1	0
-1	C_3	0	0	17	0	17	1	0
-1	C_4	0	0	2	8	10	0.8	0
-1	Total	10	23	19	8	60	0	0
-1	P_Accuracy	1	1	0.894737	1	0	0.986667	0
-1	Kappa	0	0	0	0	0	0	0.953271

ANEXO 3. Valores de T de Student

ν	$\alpha = 0.10$	$\alpha = 0.05$	$\alpha = 0.025$	$\alpha = 0.01$	$\alpha = 0.005$	ν
1	3.078	6.314	12.706	31.821	63.657	1
2	1.886	2.920	4.303	6.965	9.925	2
3	1.638	2.353	3.182	4.541	5.841	3
4	1.533	2.132	2.776	3.747	4.604	4
5	1.476	2.015	2.571	3.365	4.032	5
6	1.440	1.943	2.447	3.143	3.707	6
7	1.415	1.895	2.365	2.998	3.499	7
8	1.397	1.860	2.306	2.896	3.355	8
9	1.383	1.833	2.262	2.821	3.250	9
10	1.372	1.812	2.228	2.764	3.169	10
11	1.363	1.796	2.201	2.718	3.106	11
12	1.356	1.782	2.179	2.681	3.055	12
13	1.350	1.771	2.160	2.650	3.012	13
14	1.345	1.761	2.145	2.624	2.977	14
15	1.341	1.753	2.131	2.602	2.947	15
16	1.337	1.746	2.120	2.583	2.921	16
17	1.333	1.740	2.110	2.567	2.898	17
18	1.330	1.734	2.101	2.552	2.878	18
19	1.328	1.729	2.093	2.539	2.861	19
20	1.325	1.725	2.086	2.528	2.845	20
21	1.323	1.721	2.080	2.518	2.831	21
22	1.321	1.717	2.074	2.508	2.819	22
23	1.319	1.714	2.069	2.500	2.807	23
24	1.318	1.711	2.064	2.492	2.797	24
25	1.316	1.708	2.060	2.485	2.787	25
26	1.315	1.706	2.056	2.479	2.779	26
27	1.314	1.703	2.052	2.473	2.771	27
28	1.313	1.701	2.048	2.467	2.763	28
29	1.311	1.699	2.045	2.462	2.756	29
inf.	1.282	1.645	1.900	2.326	2.576	inf.

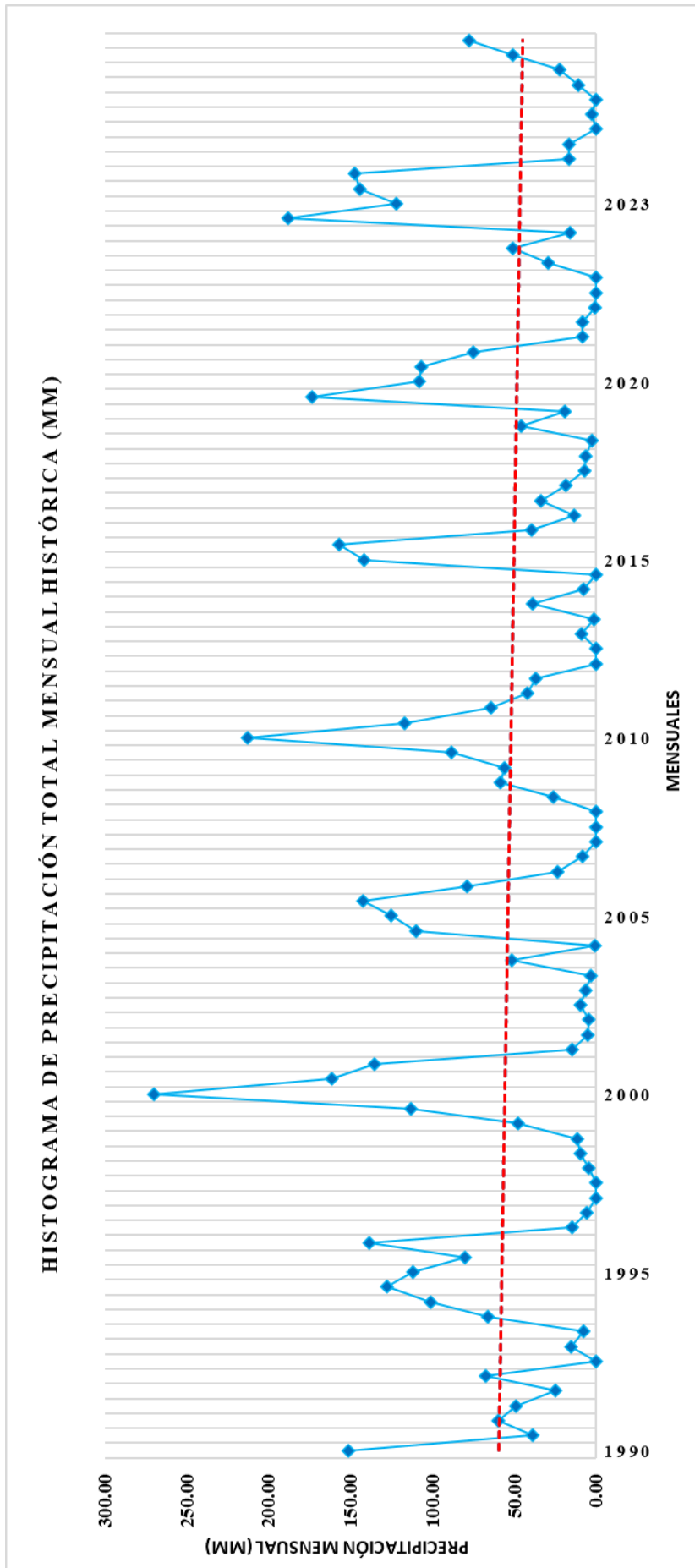
ANEXO 4. Valores de *F* para niveles de significancia de 5%

<i>m</i> = Degrees of freedom for denominator	<i>n</i> = Degrees of freedom for numerator																		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	15	20	24	30	40	60	120	∞
1	101	200	216	225	230	234	237	239	241	242	244	246	248	249	250	251	252	253	251
2	18.50	19.00	19.20	19.20	19.30	19.30	19.40	19.40	19.40	19.40	19.40	19.40	19.40	19.50	19.50	19.50	19.50	19.50	19.50
3	10.10	9.55	9.28	9.12	9.01	8.94	8.89	8.85	8.81	8.79	8.74	8.70	8.66	8.64	8.62	8.59	8.57	8.56	8.53
4	7.71	6.94	6.59	6.39	6.20	6.16	6.09	6.04	6.00	5.96	5.91	5.86	5.80	5.77	5.75	5.72	5.69	5.66	5.63
5	6.61	5.70	5.41	5.19	5.05	4.95	4.88	4.82	4.77	4.74	4.68	4.62	4.56	4.53	4.50	4.46	4.43	4.40	4.37
6	5.90	5.14	4.76	4.53	4.39	4.28	4.21	4.15	4.10	4.06	4.00	3.94	3.87	3.84	3.81	3.77	3.74	3.70	3.67
7	5.59	4.74	4.35	4.12	3.97	3.87	3.79	3.73	3.68	3.64	3.57	3.51	3.44	3.41	3.38	3.34	3.30	3.27	3.23
8	5.32	4.46	4.07	3.84	3.69	3.58	3.50	3.44	3.39	3.35	3.28	3.22	3.15	3.12	3.08	3.04	3.01	2.97	2.93
9	5.12	4.26	3.86	3.63	3.48	3.37	3.29	3.23	3.18	3.14	3.07	3.01	2.94	2.90	2.86	2.83	2.79	2.75	2.71
10	4.96	4.10	3.71	3.48	3.33	3.22	3.14	3.07	3.02	2.98	2.91	2.85	2.77	2.74	2.70	2.66	2.62	2.58	2.54
11	4.84	3.98	3.59	3.36	3.20	3.09	3.01	2.95	2.90	2.85	2.79	2.72	2.65	2.61	2.57	2.53	2.49	2.45	2.40
12	4.75	3.89	3.49	3.26	3.11	3.00	2.91	2.85	2.80	2.75	2.69	2.62	2.54	2.51	2.47	2.43	2.38	2.34	2.30
13	4.67	3.81	3.41	3.18	3.03	2.92	2.83	2.77	2.71	2.67	2.60	2.53	2.46	2.42	2.38	2.34	2.30	2.25	2.21
14	4.60	3.74	3.34	3.11	2.96	2.85	2.76	2.70	2.65	2.60	2.53	2.46	2.38	2.35	2.31	2.27	2.22	2.18	2.13
15	4.54	3.68	3.29	3.06	2.90	2.79	2.71	2.64	2.59	2.54	2.48	2.40	2.33	2.30	2.25	2.20	2.16	2.11	2.07
16	4.49	3.63	3.24	3.01	2.85	2.74	2.66	2.59	2.54	2.49	2.42	2.35	2.28	2.24	2.19	2.15	2.11	2.06	2.01
17	4.45	3.59	3.20	2.96	2.81	2.70	2.61	2.55	2.49	2.45	2.38	2.31	2.23	2.19	2.16	2.10	2.06	2.01	1.96
18	4.41	3.55	3.16	2.93	2.77	2.66	2.58	2.51	2.46	2.41	2.34	2.27	2.19	2.15	2.11	2.06	2.02	1.97	1.92
19	4.38	3.52	3.13	2.90	2.74	2.63	2.54	2.48	2.42	2.38	2.31	2.23	2.16	2.11	2.07	2.03	1.98	1.93	1.88
20	4.35	3.49	3.10	2.87	2.71	2.60	2.51	2.45	2.39	2.35	2.28	2.20	2.12	2.08	2.04	1.99	1.95	1.90	1.84
21	4.32	3.47	3.07	2.84	2.68	2.57	2.49	2.42	2.37	2.32	2.25	2.18	2.10	2.05	2.01	1.96	1.92	1.87	1.81
22	4.30	3.44	3.05	2.82	2.66	2.55	2.46	2.40	2.34	2.30	2.23	2.15	2.07	2.03	1.98	1.94	1.89	1.84	1.78
23	4.28	3.42	3.03	2.80	2.64	2.53	2.44	2.37	2.32	2.27	2.20	2.13	2.05	2.01	1.96	1.91	1.86	1.81	1.76
24	4.20	3.40	3.01	2.78	2.62	2.51	2.42	2.35	2.30	2.25	2.18	2.11	2.03	1.98	1.94	1.89	1.84	1.79	1.73
25	4.24	3.39	2.99	2.76	2.60	2.49	2.40	2.34	2.28	2.24	2.16	2.09	2.01	1.96	1.92	1.87	1.82	1.77	1.71
30	4.17	3.32	2.92	2.69	2.53	2.42	2.33	2.27	2.21	2.16	2.09	2.01	1.93	1.89	1.84	1.79	1.74	1.68	1.62
40	4.08	3.23	2.84	2.61	2.45	2.34	2.25	2.18	2.12	2.08	2.00	1.92	1.84	1.79	1.74	1.69	1.64	1.58	1.51
60	4.00	3.15	2.76	2.53	2.37	2.25	2.17	2.10	2.04	1.99	1.92	1.84	1.75	1.70	1.65	1.59	1.53	1.47	1.39
120	3.92	3.07	2.68	2.45	2.29	2.18	2.09	2.02	1.96	1.91	1.83	1.75	1.66	1.61	1.55	1.50	1.43	1.35	1.25
∞	3.84	3.00	2.60	2.37	2.21	2.10	2.01	1.94	1.88	1.83	1.75	1.67	1.57	1.52	1.46	1.39	1.32	1.22	1.00

ANEXO 5. Análisis de consistencia de los datos de precipitación

DATOS METEREOLÓGICOS - PRECIPITACION (mm)														
ESTACION ILAVE														
ESTACION:		ILAVE			X			388169 m		DPTO. PUNO				
CODIGO		1			Y			8215747 m		PROV. ILAVE				
CUENCA		DEL RIO ZAPATILLA			ALTITUD(msnm)			0		msnm			DIST. ILAVE	
AÑO	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.	TOTAL	
1990	151.20	39.10	59.90	48.90	25.02	67.70	0.01	15.50	7.41	65.90	101.10	127.80	709.54	
1995	111.90	80.20	138.30	14.60	5.70	0.00	0.00	4.20	9.60	11.20	47.50	113.40	536.60	
2000	269.90	161.10	135.60	14.40	4.90	4.40	9.30	6.40	3.20	51.50	1.00	109.80	771.50	
2005	125.11	142.50	78.71	23.62	8.30	0.00	0.00	0.01	26.22	58.73	55.73	88.51	607.44	
2010	212.90	116.90	64.46	42.10	37.22	0.00	0.00	8.70	1.20	39.03	7.80	0.00	530.31	
2015	141.80	157.00	39.32	13.40	33.70	18.30	7.20	6.50	2.50	46.00	19.10	173.60	658.42	
2020	108.00	107.00	74.90	8.45	8.20	0.40	0.00	0.00	29.60	51.20	16.20	187.90	591.85	
2023	122.00	144.50	147.70	16.90	16.90	0.00	2.30	0.00	11.10	22.20	50.90	77.50	612.00	
PROMEDIO	155.35	118.54	92.36	22.80	17.49	11.35	2.35	5.16	11.35	43.22	37.42	109.81	627.21	
MÁXIMO	269.90	161.10	147.70	48.90	37.22	67.70	9.30	15.50	29.60	65.90	101.10	187.90		
MÍNIMO	108.00	39.10	39.32	8.45	4.90	0.00	0.00	0.00	1.20	11.20	1.00	0.00		
DESVIACION	57.06	42.18	41.71	14.74	12.97	23.63	3.77	5.39	10.83	18.44	33.09	58.63		

DATOS DUDOSOS Periodos Muestrales ENTRE LOS AÑOS 1990 - 2000		DATOS CONFIABLES Periodos Muestrales ENTRE LOS AÑOS 2005 - 2023	
Tamaño de la muestra(n1)=	36	Tamaño de la muestra (n2)=	60
Media de la muestra $\bar{X}_1 =$	56.05	Media de la muestra $\bar{X}_2 =$	50.00
Desviación Stand.(S1) =	63.17	Desviación Stand(S2)=	57.01
Grados de libertad(GL1)=	35	Grados de libertad(GL2)=	59
RESULTADOS			
PRUEBA "T" DE STUDENT			
Desviación estándar ponderada		59.38	
Desviación de las diferencias de los promedios		12.52	
Cálculo del T, calculado (Tc) según:		0.48	
Calculo del valor critico de t, tabular Tt:		1.99	
Grados de libertad		94.00	
Conclusión:			
$ t_c = 0.48$		$< T_t = 1.9855$ HOMOGENEIDAD OK	
PRUEBA "F" DE FISHER			
Cálculo de F calculado (Fc)según :		1.23	
Calculo del F tabular(valor critico de Ft) Ft		1.6216	
Conclusión:			
$F_C = 1.23$		$< F_t = 1.6216$ HOMOGENEIDAD OK	



ANÁLISIS ESTADÍSTICO : PRUEBAS DE "T" DE STUDENT Y DE FISHER "F"

Evaluación de la consistencia en la media

PRUEBA "T" DE STUDENT

Desviación estándar ponderada

$$S_p = \left[\frac{(n_1 - 1) * S_1^2 + (n_2 - 1) * S_2^2}{n_1 + n_2 - 2} \right]^{\frac{1}{2}}$$

Sp = 59.38

Desviación de las diferencias de los promedios

$$S_{\bar{d}} = S_p * \left[\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right]^{\frac{1}{2}}$$

Sd = 12.52

Cálculo del T, calculado (Tc) según:

$$t_c = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{S_{\bar{d}}}$$

Tc = 0.48

|Tc| = 0.48

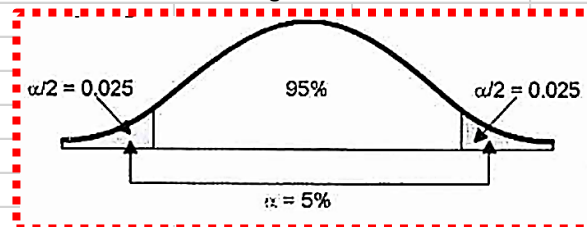
Calculo del valor critico de t, tabular Tt:

Grados de libertad

GL = GL1 + GL2

GL = 94

Probabilidad al 95%, con un nivel de significación del 5%



$\alpha = 5\%$

1.985523442

Tt = 1.9855

Comparacion del Tc con el Tt

- Si $|t_c| \leq t_t (95\%) \rightarrow \bar{x}_1 = \bar{x}_2$ (estadísticamente)
En este caso, siendo las medias $\bar{x}_1 = \bar{x}_2$ estadísticamente, no se debe realizar proceso de corrección.
- Si $|t_c| > t_t (95\%) \rightarrow \bar{x}_1 \neq \bar{x}_2$ (estadísticamente)
En este caso, siendo las medias $\bar{x}_1 \neq \bar{x}_2$ estadísticamente, se debe corregir la información.

Conclusión:

$|t_c| = 0.48 < |t_t| = 1.9855$

HOMOGENEIDAD OK



Evaluación de la consistencia en la desviación estándar

PRUEBA "F" DE FISHER

Cálculo de F calculado (Fc)según :

$$F_c = \frac{S_1^2(x)}{S_2^2(x)} , \text{ si } S_1^2(x) > S_2^2(x)$$

$$F_c = \frac{S_2^2(x)}{S_1^2(x)} , \text{ si } S_2^2(x) > S_1^2(x)$$

$$F_c = \frac{3990.07}{3250.67} = 1.23$$

Calculo del F tabular(valor critico de Ft) Ft

para una probabilidad del 95%, es decir, con un nivel de significación $\alpha = 5\%$ y grados de

Grados de libertad

GL1 =	35
GL2 =	59
$\alpha =$	5%
	1.62
Ft =	1.62

comparacion del Fc con el Ft

- Si $F_c \leq F_t (95\%) \rightarrow S_1(x) = S_2(x)$ (estadísticamente)
- Si $F_c > F_t (95\%) \rightarrow S_1(x) \neq S_2(x)$ (estadísticamente), por lo que se debe corregir

Conclusión:

$$F_c = 1.23 < F_t = 1.62$$

HOMOGENEIDAD OK

ANEXO 6. Análisis de consistencia de los datos de temperatura

DATOS METEREOLÓGICOS - TEMPERATURA (°C) ESTACION ILAVE													
ESTACION:		ILAVE		X		388169 m		DPTO.		PUNO			
CODIGO		1		Y		8215747 m		PROV.		ILAVE			
CUENCA		DEL RIO ZAPATILLA		ALTITUD(msnm)		0		msnm		DIST.		ILAVE	
AÑO	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.	PROME.
1990	15.69	16.24	16.27	16.25	15.95	13.86	14.77	15.26	16.32	16.78	16.54	16.00	15.83
1995	16.48	16.67	15.68	16.73	16.48	15.50	16.02	17.02	16.69	17.85	17.44	16.33	16.57
2000	15.65	15.61	15.69	16.57	16.62	15.20	15.00	15.99	16.89	16.41	17.99	16.65	16.19
2005	16.47	15.98	16.97	16.87	16.38	15.51	16.08	16.07	16.25	16.65	17.26	17.30	16.48
2010	17.19	17.13	17.02	17.53	16.73	17.00	16.92	17.76	17.97	18.16	18.98	15.89	17.36
2015	15.52	13.10	16.94	17.17	16.33	15.58	15.91	16.25	17.28	17.25	17.72	16.60	16.30
2020	16.42	16.30	16.43	16.18	15.43	16.63	16.36	17.16	16.42	16.48	16.20	17.34	16.45
2023	16.25	15.42	15.33	15.35	15.35	15.46	16.34	15.92	17.53	18.80	18.52	17.33	16.47
PROMEDIO	16.21	15.81	16.29	16.58	16.16	15.59	15.93	16.43	16.92	17.30	17.58	16.68	16.46
MÁXIMO	17.19	17.13	17.02	17.53	16.73	17.00	16.92	17.76	17.97	18.80	18.98	17.34	
MÍNIMO	15.52	13.10	15.33	15.35	15.35	13.86	14.77	15.26	16.25	16.41	16.20	15.89	
DESVIACION	0.56	1.22	0.66	0.67	0.53	0.94	0.71	0.81	0.62	0.88	0.94	0.59	

DATOS DUDOSOS Periodos Muestrales ENTRE LOS AÑOS 1990 - 2015		DATOS CONFIABLES Periodos Muestrales ENTRE LOS AÑOS 2020 - 2023	
Tamaño de la muestra(n1)=	72	Tamaño de la muestra (n2)=	24
Media de la muestra $\bar{X}_1 =$	16.46	Media de la muestra $\bar{X}_2 =$	16.46
Desviación Stand.(S1) =	0.94	Desviación Stand(S2)=	0.94
Grados de libertad(GL1)=	71	Grados de libertad(GL2)=	23
RESULTADOS			
PRUEBA "T" DE STUDENT			
Desviación estándar ponderada		0.94	
Desviación de las diferencias de los promedios		0.22	
Cálculo del T, calculado (Tc) según:		0.00	
Calculo del valor crítico de t, tabular Tt:		1.99	
Grados de libertad		94.00	
Conclusión:			
$ t_c = 0.00$		$< T_t = 1.9855$ HOMOGENEIDAD OK	
PRUEBA "F" DE FISHER			
Cálculo de F calculado (Fc)según :		1.00	
Calculo del F tabular(valor crítico de Ft) Ft		1.8491	
Conclusión:			
$F_C = 1.00$		$< F_t = 1.8491$ HOMOGENEIDAD OK	

ANÁLISIS ESTADÍSTICO : PRUEBAS DE "T" DE STUDENT Y DE FISHER "F"

Evaluación de la consistencia en la media

PRUEBA "T" DE STUDENT

Desviación estándar ponderada

$$S_p = \left[\frac{(n_1 - 1) * S_1^2 + (n_2 - 1) * S_2^2}{n_1 + n_2 - 2} \right]^{\frac{1}{2}}$$

Sp = 0.94

Desviación de las diferencias de los promedios

$$S_{\bar{d}} = S_p * \left[\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right]^{\frac{1}{2}}$$

Sd = 0.22

Cálculo del T, calculado (Tc) según:

$$t_c = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{S_{\bar{d}}}$$

Tc = 0.00

|Tc| = 0.00

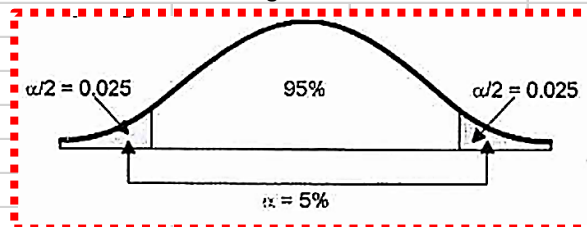
Calculo del valor critico de t, tabular Tt:

Grados de libertad

GL = GL1 + GL2

GL = 94

Probabilidad al 95%, con un nivel de significación del 5%



α = 5%

1.985523442

Tt = 1.9855

Comparacion del Tc con el Tt

- Si $|t_c| \leq t_t$ (95%) $\rightarrow \bar{x}_1 = \bar{x}_2$ (estadísticamente)
En este caso, siendo las medias $\bar{x}_1 = \bar{x}_2$ estadísticamente, no se debe realizar proceso de corrección.
- Si $|t_c| > t_t$ (95%) $\rightarrow \bar{x}_1 \neq \bar{x}_2$ (estadísticamente)
En este caso, siendo las medias $\bar{x}_1 \neq \bar{x}_2$ estadísticamente, se debe corregir la información.

Conclusión:

$|t_c| = 0.00 < |t_t| = 1.9855$

HOMOGENEIDAD OK



Evaluación de la consistencia en la desviación estándar

PRUEBA "F" DE FISHER

Cálculo de F calculado (Fc)según :

$$F_c = \frac{S_1^2(x)}{S_2^2(x)} , \text{ si } S_1^2(x) > S_2^2(x)$$

$$F_c = \frac{S_2^2(x)}{S_1^2(x)} , \text{ si } S_2^2(x) > S_1^2(x)$$

$$F_c = \frac{0.88}{0.88} = 1.00$$

Calculo del F tabular(valor critico de Ft) Ft

para una probabilidad del 95%, es decir, con un nivel de significación $\alpha = 5\%$ y grados de

Grados de libertad

GL1 =	71
GL2 =	23
$\alpha =$	5%
	1.85
Ft =	1.85

comparacion del Fc con el Ft

- Si $F_c \leq F_t (95\%) \rightarrow S_1(x) = S_2(x)$ (estadísticamente)
- Si $F_c > F_t (95\%) \rightarrow S_1(x) \neq S_2(x)$ (estadísticamente), por lo que se debe corregir

Conclusión:

$$F_c = 1.00 < F_t = 1.85$$

HOMOGENEIDAD OK



DATOS METEREOLÓGICOS - TEMPERATURA (°C) ESTACION JULI													
ESTACION:		JULI						X		450843 m		DPTO. PUNO	
CODIGO		2						Y		8208469 m		PROV. CHUCUITO	
CUENCA		DEL RIO ZAPATILLA						ALTITUD(msnm)		0 msnm		DIST. JULI	
AÑO	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.	PROM.
1990	14.95	15.48	16.09	15.93	15.37	11.43	12.83	13.58	15.52	16.60	17.02	15.69	15.04
1995	15.93	17.25	15.63	17.55	16.32	14.43	14.75	16.76	15.94	17.92	17.16	15.94	16.30
2000	13.97	13.79	14.04	14.75	15.03	12.47	12.30	13.64	16.13	15.47	18.99	16.09	14.72
2005	16.02	15.21	17.12	16.66	15.72	13.84	14.64	14.15	15.46	15.94	16.39	16.56	15.64
2010	14.77	15.36	15.37	15.69	14.43	14.30	13.90	14.43	15.33	15.11	16.10	14.75	14.96
2015	14.01	13.89	14.77	14.93	13.87	12.44	12.82	13.18	14.80	15.08	15.48	13.99	14.10
2020	15.17	15.31	14.92	15.25	14.90	14.24	14.34	15.76	14.64	15.25	17.22	15.38	15.20
2023	17.54	16.39	16.22	16.91	16.27	16.75	18.14	16.82	17.14	19.31	18.20	19.54	17.44
PROMEDIO	15.30	15.34	15.52	15.96	15.24	13.74	14.21	14.79	15.62	16.33	17.07	15.99	15.43
MÁXIMO	17.54	17.25	17.12	17.55	16.32	16.75	18.14	16.82	17.14	19.31	18.99	19.54	
MÍNIMO	13.97	13.79	14.04	14.75	13.87	11.43	12.30	13.18	14.64	15.08	15.48	13.99	
DESVIACION	1.18	1.15	0.97	1.00	0.86	1.64	1.83	1.46	0.79	1.54	1.13	1.65	



ANEXO 7. Resultados de análisis de Suelos



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO – PUNO
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGRONÓMICA
LABORATORIO DE SUELOS Y AGUA



RESULTADO DE ANÁLISIS

ASUNTO: ANÁLISIS DE MATERIA ORGÁNICA, HUMEDAD, CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA, pH Y DENSIDAD APARENTE

PROCEDENCIA : MICROCUENCA ZAPATILLA – PROV. EL COLLAO
INTERESADO : HUANCA CALIZAYA EDITH YESMIRA
FECHA DE MUESTREO : 29/02/2024 (TEMPORADA DE AVENIDAS)
FECHA DE ANALISIS : 10/05/2024

RESULTADOS: DETERMINACIONES FÍSICO-QUÍMICA DE SUELO

PARÁMETROS	PUNTOS DE MEDICIÓN							
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8
MATERIA ORGÁNICA %	39.22	28.17	39.32	43.27	38.62	28.03	39.29	43.20
HUMEDAD DE SUELO %	84.45	79.98	83.43	83.59	84.45	80.43	84.28	83.39
CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA mS/cm	0.29	0.13	0.14	0.28	0.27	0.12	0.12	0.26
pH DE SUELO	6.01	6.13	6.06	5.88	6.04	6.07	6.01	5.90
DENSIDAD APARENTE g/cm ³	0.35	0.18	0.26	0.12	0.38	0.44	0.12	0.16



Evaristo Mamani Mamani
Sr. Evaristo Mamani Mamani
JEFE DE LABORATORIOS DE AGUAS Y SUELOS



Edith Yesmira
Edith Yesmira
ANALISTA
LABORATORIO DE SUELOS Y AGUA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGRONÓMICA
UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO - PUNO

ANEXO 8. Panel fotográfico



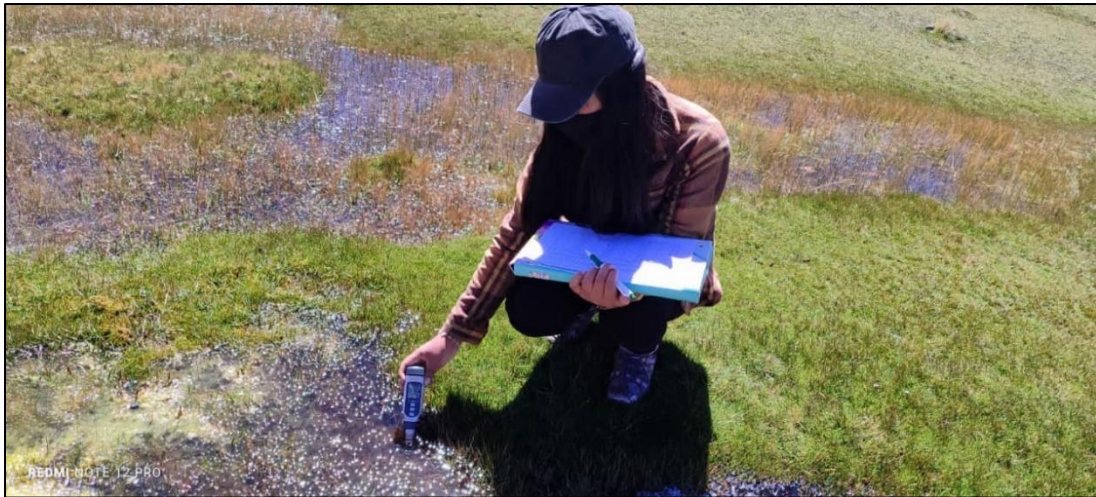
Nota. Bofedales en estudio



Nota. Bofedales en estudio



Nota. Bofedales en estudio



Nota. Condición del agua de los bofedales (determinación de la conductividad eléctrica)



Nota. Condición del suelo de los bofedales (profundidad de la turba)



Nota. Condición del suelo de los bofedales (Densidad aparente en el horizonte superficial)



Nota. Condición del suelo de los bofedales (Toma de muestras para hallar la densidad aparente en el horizonte superficial y materia orgánica)



Nota. Condición del suelo de los bofedales (Toma de muestras para hallar la densidad aparente en el horizonte superficial y materia orgánica)



Nota. Condición del suelo de los bofedales (Transecto que servirá para la medición de variables)



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



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



Nota. Condición de la biota de los bofedales (Biomasa aérea (kg MS/ha))



Nota. Condición de la biota de los bofedales (Biomasa aérea (kg MS/ha))



Nota. Análisis de parámetros en laboratorio



Nota. Análisis de parámetros en laboratorio



Nota. Análisis de parámetros en laboratorio



DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD DE TESIS

Por el presente documento, Yo Edoñ Yesmira Huarca Calizaya
identificado con DNI 75078647 en mi condición de egresado de:

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

informo que he elaborado el/la Tesis o Trabajo de Investigación denominada:
" Determinación de la Cobertura Vegetal de Los Bofedales
En La Microcuenca Del Río Zapañalla, El Collao, Puno "

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 15 de Julio del 2024

FIRMA (obligatoria)



Huella



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

Por el presente documento, Yo Edith Yesmira Huana Calizaya
identificado con DNI 75078647 en mi condición de egresado de:

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

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

" Determinación De La Cobertura Vegetal De Los Bofedales
En La Microcuenca Del Río Zapayalla, El Collao, Puno "

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 15 de Julio del 2024

FIRMA (obligatoria)



Huella