



UNIVERSIDAD ANDINA
NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL



**DETERMINACIÓN DE LA COBERTURA VEGETAL DE LOS
BOFEDALES ALTOANDINOS EMPLEANDO IMÁGENES
SATELITALES LANDSAT EN LA CUENCA DEL RIO
PARATIA EN EL PERIODO 1990-2024**

TESIS PRESENTADA POR:

Bach. ELIZBAN ROLANDO MAMANI CALLATA

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO SANITARIO Y AMBIENTAL**

JULIACA – PERÚ

2025



UNIVERSIDAD ANDINA

NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ

FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL

DETERMINACIÓN DE LA COBERTURA VEGETAL DE LOS BOFEDALES ALTOANDINOS EMPLEANDO IMÁGENES SATELITALES LANDSAT EN LA CUENCA DEL RIO PARATIA EN EL PERIODO 1990-2024

TESIS PRESENTADA POR:

Bach. ELIZBAN ROLANDO MAMANI CALLATA

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO SANITARIO Y AMBIENTAL**

APROBADA POR EL JURADO REVISOR:

PRESIDENTE

: 


Dr. MILTHON QUISPE HUANCA

PRIMER MIEMBRO

: 

Mgtr. FRANZ JOSEPH BARAHONA PERALES

SEGUNDO MIEMBRO

: 

M.Sc. JESÚS ESTEBAN CASTILLO MACHACA

ASESOR DE TESIS

: 

Mgtr. SALVADOR TEODORO VALDIVIA CÁRDENAS

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN

: CONTAMINACIÓN Y CALIDAD AMBIENTAL – P22



UNIVERSIDAD ANDINA
"NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"

RESOLUCIÓN DECANAL N° 1634-2024-D-UI-FICP-UANCV

Juliaca, 23 de diciembre del 2024

VISTO: El expediente N° 2024- 16152 presentado por el (la) Bachiller: ELIZBAN ROLANDO MAMANI CALLATA estudiante de la Escuela Profesional de Ingeniería Sanitaria y Ambiental de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras quien solicita **NOMINACIÓN DE JURADOS Y PROGRAMACIÓN DE FECHA Y HORA DE SUSTENTACIÓN.**

CONSIDERANDO:

Que, el (la) Bach. ELIZBAN ROLANDO MAMANI CALLATA, quien solicita **NOMINACIÓN DE JURADOS Y PROGRAMACIÓN DE FECHA Y HORA DE SUSTENTACIÓN** de la Tesis Titulado: **DETERMINACIÓN DE LA COBERTURA VEGETAL DE LOS BOFEDALES ALTOANDINOS EMPLEANDO IMÁGENES SATELITALES LANDSAT EN LA CUENCA DEL RÍO PARATÍA EN EL PERIODO 1990-2024**, la misma que pertenece a la línea de investigación **CONTAMINACIÓN Y CALIDAD AMBIENTAL** para optar el Título Profesional de Ingeniero Sanitario y Ambiental.

Que, al haberse cumplido con los requisitos exigidos por el reglamento interno de trabajos de investigación conducente a grados y títulos mediante Resolución N° 0294-2023 UANCV-CU-R. y en concordancia con el dictamen de similitud.

De conformidad al Reglamento Interno de Trabajos de Investigación Conducente a Grados y Títulos aprobado con Resolución N° 0294-2023 UANCV-CU-R. y en merito al Art. 24, Art. 28 del reglamento, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales, y en uso a las atribuciones, que le concede la ley Universitaria N° 30220, ley de creación de la UANCV N° 23738 y modificatoria N° 24661, y el Estatuto de la UANCV, el Decano y el Director de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras.

RESUELVE:

ARTÍCULO PRIMERO.- APROBAR, la **NOMINACIÓN DE JURADOS** integrado por los siguientes docentes:

- * **Presidente** : Dr. MILTHON QUISPE HUANCAY
- * **1er Miembro** : Mgtr. FRANZ JOSEPH BARAHONA PERALES
- * **2do Miembro** : M.Sc. JESÚS ESTEBAN CASTILLO MACHACA

ARTICULO SEGUNDO. - **RECONOCER** como *asesor de la investigación (tesis)* de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras al (a la) docente, Mgtr. SALVADOR TEODORO VALDIVIA CARDENAS.

ARTICULO TERCERO. - **APROBAR**, la **FECHA Y HORA DE SUSTENTACIÓN DE LA TESIS** de el (la) bachiller: ELIZBAN ROLANDO MAMANI CALLATA; del informe final de la investigación (tesis) titulado: **DETERMINACIÓN DE LA COBERTURA VEGETAL DE LOS BOFEDALES ALTOANDINOS EMPLEANDO IMÁGENES SATELITALES LANDSAT EN LA CUENCA DEL RÍO PARATÍA EN EL PERIODO 1990-2024** para optar el Título Profesional de Ingeniero Sanitario y Ambiental. de acuerdo al siguiente detalle:

- * **FECHA** : viernes 27 de diciembre del 2024
- * **HORA** : 09:00 horas
- * **LUGAR** : Aula 306 - Pabellón de Hidráulica

ARTÍCULO CUARTO.- DISPONER que, la Unidad de Investigación, Responsables del Comité de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras y el Director de la Escuela Profesional de Ingeniería Sanitaria y Ambiental quedan encargados del cumplimiento de la presente Resolución.

Regístrese, Comuníquese, Archívese.

cc.
Archivo
intergrado (s)



RESOLUCIÓN DECANAL N° 1269-2024-D-UI-FICP-UANCV

Juliaca, 11 de octubre del 2024

VISTO: El expediente N° 2024-CU - 13847 por el señor (a): **ELIZEBAN ROLANDO MAMANI CALLATA** quien solicita **REVISIÓN DEL INFORME FINAL DE LA INVESTIGACIÓN (borrador de tesis)**, el **PROVEIDO - N° 1137 - 2024-UI-FICP-UANCV/J**, y la **FICHA DE OPINIÓN DEL INFORME FINAL DE LA INVESTIGACION (BORRADOR DE TESIS)** formato N° 081- 2024 del integrante del comité de investigación EPISA de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, según al reglamento interno de trabajos de investigación conducente a grados y títulos.

CONSIDERANDO:

Que, el señor (a): **ELIZEBAN ROLANDO MAMANI CALLATA**, ha presentado su informe final de la investigación (borrador de tesis) Titulado: **DETERMINACIÓN DE LA COBERTURA VEGETAL DE LOS BOFEDALES ALTOANDINOS EMPLEANDO IMÁGENES SATELITALES LANDSAT EN LA CUENCA DEL RÍO PARATÍA EN EL PERIODO 1990-2024**, para optar el Título Profesional de Ingeniero Sanitario y Ambiental.

Que, al haberse cumplido con los requisitos exigidos por el Reglamento Interno de Trabajo de Investigación Conducente a Grados y Títulos, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales; el integrante del comité de investigación Mgtr. Franz Joseph Barahona Perales de la Escuela Profesional de Ingeniería Sanitaria y Ambiental de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, emitió la ficha de opinión del informe final de la investigación (borrador de tesis) formato N° 081- 2024 **aprobando** el informe final de la investigación (borrador de tesis) titulado: **DETERMINACIÓN DE LA COBERTURA VEGETAL DE LOS BOFEDALES ALTOANDINOS EMPLEANDO IMÁGENES SATELITALES LANDSAT EN LA CUENCA DEL RÍO PARATÍA EN EL PERIODO 1990-2024**, Correspondiente a la línea de investigación **CONTAMINACION Y CALIDAD AMBIENTAL**.

Que, al haberse cumplido con los requisitos exigidos por el reglamento interno de trabajos de investigación conducentes a grados y títulos mediante Resolución N° 0294-2023 UANCV-CU-R. y estando a la opinión favorable del comité de investigación respecto al informe final de la investigación (borrador de tesis).

Estando, con la opinión favorable del Comité de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras y en concordancia al Reglamento Interno de Trabajos de Investigación Conducente a Grados y Títulos aprobado con Resolución N° 0294-2023 UANCV-CU-R. y en merito al Art. 27 del reglamento, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales, y en uso a las atribuciones, que le concede la ley Universitaria N° 30220, ley de creación de la UANCV N° 23738 y modificatoria N° 24661, y el Estatuto de la UANCV, el Decano y el Director de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras.

RESUELVE:

ARTÍCULO PRIMERO.- APROBAR, el **INFORME FINAL DE LA INVESTIGACIÓN (BORRADOR DE TESIS)**, para la **REVISIÓN DE SIMILITUD TURNITIN**, presentado por el señor (a): **ELIZEBAN ROLANDO MAMANI CALLATA**, para optar el Título Profesional de Ingeniero Sanitario y Ambiental, con el Tema Titulado: **DETERMINACIÓN DE LA COBERTURA VEGETAL DE LOS BOFEDALES ALTOANDINOS EMPLEANDO IMÁGENES SATELITALES LANDSAT EN LA CUENCA DEL RÍO PARATÍA EN EL PERIODO 1990-2024** correspondiente a la línea de investigación **CONTAMINACION Y CALIDAD AMBIENTAL**, en virtud a los considerandos expuestos.

ARTÍCULO SEGUNDO.- RATIFICAR como **ASESOR DE INVESTIGACIÓN** al (a) la), Mgtr. **SALVADOR TEODORO VALDIVIA CARDENAS**.

ARTÍCULO TERCERO.- DISPONER que, la Unidad de Investigación, Responsables del Comité de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras y el Director de la Escuela Profesional de Ingeniería Sanitaria y Ambiental quedan encargados del cumplimiento de la presente Resolución.

Regístrese, Comuníquese, Archívese.



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS
.....
DR. MILTON GUISSE NUANCA
DECANO
CIP. 47790



cc.
Archivo
interesado (a)



RESOLUCIÓN DECANAL N° 719-2024-D-UI-FICP-UANCV

Juliaca, 01 de agosto del 2024

VISTO: El expediente N° 2024-CU-9162, presentado el señor (a) ELIZBAN ROLANDO MAMANI CALLATA solicitando APROBACIÓN DE LA PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN el PROVEIDO - N° 716 -2024-UI-FICP-UANCV/J, y la FICHA DE OPINIÓN DE LA PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN formato N° 085 -2024 del integrante del comité de investigación EPISA de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, según al reglamento interno de trabajos de investigación conducente a grados y títulos.

CONSIDERANDO:

Que, el señor (a): ELIZBAN ROLANDO MAMANI CALLATA ha presentado su propuesta de investigación Titulado: DETERMINACIÓN DE LA COBERTURA VEGETAL DE LOS BOFEDALES ALTOANDINOS EMPLEANDO IMÁGENES SATELITALES LANDSAT EN LA CUENCA DEL RÍO PARATÍA EN EL PERIODO 1990-2024, para optar el Título Profesional de Ingeniero Sanitario y Ambiental.

Que, al haberse cumplido con los requisitos exigidos por el Reglamento Interno de Trabajo de Investigación Conducente a Grados y Títulos, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales; el integrante del comité de investigación Mgtr. Franz Joseph Barahona Perales de la Escuela Profesional de Ingeniería Sanitaria y Ambiental de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, emitió la ficha de opinión de la propuesta de investigación formato N° 085 -2024- aprobando la propuesta de investigación titulado: DETERMINACIÓN DE LA COBERTURA VEGETAL DE LOS BOFEDALES ALTOANDINOS EMPLEANDO IMÁGENES SATELITALES LANDSAT EN LA CUENCA DEL RÍO PARATÍA EN EL PERIODO 1990-2024.

Que, es requisito indispensable contar con un asesor docente ordinario y/o contratado de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras con un mínimo de cinco años de docencia, grado de doctor o magister y experiencia en la línea a investigar, o deberá estar acreditado por Resolución 0989-2022-UANCV-CU-R, quien asumirá como asesor de la propuesta de investigación, según el área o grado.

Estando, con la opinión favorable de la propuesta de investigación del Comité de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras y en concordancia al Reglamento Interno de Trabajos de Investigación Conducente a Grados y Títulos aprobado con Resolución N° 0294-2023 UANCV-CU-R. y en merito al Art. 25 del reglamento, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales, y en uso a las atribuciones, que le concede la ley Universitaria N° 30220, ley de creación de la UANCV N° 23738 y modificatoria N° 24661, y el Estatuto de la UANCV, el Decano y el Director de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras.

RESUELVE:

ARTÍCULO PRIMERO.- APROBAR, la PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN, presentado por el señor (a): ELIZBAN ROLANDO MAMANI CALLATA, para optar el Título Profesional de Ingeniero Sanitario y Ambiental, con el Tema Titulado: DETERMINACIÓN DE LA COBERTURA VEGETAL DE LOS BOFEDALES ALTOANDINOS EMPLEANDO IMÁGENES SATELITALES LANDSAT EN LA CUENCA DEL RÍO PARATÍA EN EL PERIODO 1990-2024 correspondiente a la línea de investigación CONTAMINACION Y CALIDAD AMBIENTAL.

La misma que deberá proceder con la ejecución de la propuesta de Investigación aprobado de acuerdo a lo establecido en el Reglamento Interno de Trabajo de Investigación Conducente a Grados y Títulos, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales.

ARTÍCULO SEGUNDO.- RECONOCER como ASESOR DE INVESTIGACIÓN de al (a la) docente Dr. SALVADOR TEODORO VALDIVIA CARDENAS.

ARTÍCULO TERCERO.- DISPONER que, la Unidad de Investigación, Responsables del Comité de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras y el Director de la Escuela Profesional de Ingeniería Sanitaria y Ambiental quedan encargados del cumplimiento de la presente Resolución.

Regístrese, Comuníquese, Archívese.



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ" FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS

DR. WILTRON QUISPE HUANCA DECANO CIP. 47790



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ" VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN "OFICINA DE INVESTIGACIÓN" DR. ERIK PERAZO SOSA DIRECTOR DE LA UNIDAD DE INVESTIGACIÓN

cc. Archivo 2024 Interesado (a)



DETERMINACIÓN DE LA COBERTURA VEGETAL DE LOS BOFEDALES ALTOANDINOS EMPLEANDO IMÁGENES SATELITALES LANDSAT EN LA CUENCA DEL RIO PARATIA EN EL PERIODO 1990-2024

INFORME DE ORIGINALIDAD

19%

INDICE DE SIMILITUD

18%

FUENTES DE INTERNET

4%

PUBLICACIONES

7%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE


FUENTES PRIMARIAS

1	Submitted to Universidad Andina Nestor Caceres Velasquez Trabajo del estudiante	4%
2	hdl.handle.net Fuente de Internet	3%
3	www.inaigem.gob.pe Fuente de Internet	2%
4	repositorio.unap.edu.pe Fuente de Internet	1%
5	repositorio.upn.edu.pe Fuente de Internet	1%
6	repositorio.upsc.edu.pe Fuente de Internet	1%
7	cyberleninka.org Fuente de Internet	1%



Metadatos complementarios

Título de la Tesis	
DETERMINACIÓN DE LA COBERTURA VEGETAL DE LOS BOFEDALES ALTOANDINOS EMPLEANDO IMÁGENES SATELITALES LANDSAT EN LA CUENCA DEL RIO PARATIA EN EL PERIODO 1990-2024	
Datos de autor	
Nombres y apellidos	ELIZBAN ROLANDO MAMANI CALLATA
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	70536862
URL de ORCID	https://orcid.org/0009-0000-9434-9059
Datos de asesor	
Nombres y apellidos	SALVADOR TEODORO VALDIVIA CARDENAS
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	02383061
URL de ORCID	https://orcid.org/0009-0008-8660-8733
Datos del jurado	
Presidente del jurado	
Nombres y apellidos	MILTHON QUISPE HUANCA
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	02424528
Miembro del jurado 1	
Nombres y apellidos	FRANZ JOSEPH BARAHONA PERALES
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	02442876
Miembro del jurado 2	
Nombres y apellidos	JESÚS ESTEBAN CASTILLO MACHACA
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	01323821

Datos de investigación	
Línea de investigación	Contaminación y calidad ambiental - P22
Grupo de investigación	No aplica.
Agencia de financiamiento	Sin financiamiento.
Ubicación geográfica de la investigación	<p> País: Perú Departamento: Puno Provincia: Lampa Distrito: Paratia Coordenadas: Latitud: 15°27'938"S Longitud: 70°34'174"O URL Maps: https://www.google.com/maps/d/edit?mid=1HQRbnVunUAA CnVChrPuNvyPW8qT7iw0&usp=sharing </p> 
Año o rango de años en que se realizó la investigación	Agosto 2024 – Diciembre 2024
URL de disciplinas OCDE Librería	<p>Ingeniería ambiental https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.07.00</p> <p>Ciencias del medio ambiente https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#1.05.08</p>



 Dr. Edwin Espinoza Sosa
 DIRECTOR
 UNIDAD DE INVESTIGACIÓN



DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD Y RESPONSABILIDAD

Yo ELIZBAN ROLANDO MAMANI CALLATA. Identificado con DNI
Nro. 70536862, en mi condición de egresado de:

- Escuela Profesional
- Programa de segunda Especialidad
- Programa de Maestría o Doctorado

Informe que he elaborado el/la Tesis o Trabajo de investigación, Trabajo académico denominada:
DETERMINACIÓN DE LA COBERTURA VEGETAL DE LOS BOFEDALES ALTOANDINOS
EMPLEANDO IMÁGENES SATELITALES LANDSAT EN LA CUENCA DEL RIO PARATIA
EN EL PERIODO 1990-2024

Asesorado por: Mgr. SALVADOR TEODORO VALDIVIA CÁRDENAS

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 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.

El incumplimiento de lo declarado de lugar a responsabilidad del declarante, en consecuencia; a través del presente documento asumo frente a terceros, la universidad Andina Néstor Cáceres Velásquez y/o la Administración Pública toda responsabilidad que pueda derivarse por el trabajo final presentado. Lo señalado incluye responsabilidad pecuniaria incluido el pago de multas u otras por los daños y perjuicios que se ocasionen.

Juliana 02 de ENERO del 2025



Firma del Asesor



Firma del Estudiante





DEDICATORIA

Además de su bondad y amor sin límites, quisiera agradecer en primera instancia a Dios, que es la luz que ilumina mi camino, fortifica mi corazón e ilumina mi mente, por haberme consentido llegar hasta aquí y por haberme proporcionado la salud que necesito para cumplir mis objetivos. A mis padres: gracias por su amor, tolerancia y principios que siempre defenderé.

Por último, dedico mi esfuerzo y perseverancia, plasmados en esta obra, a todas las personas que me han ayudado a alcanzar este objetivo, tanto directa como indirectamente.

Elizban Rolando Mamani Callata.



AGRADECIMIENTO

A la Universidad Andina Néstor Cáceres Velásquez por ser nuestra alma mater y todo el personal Docente y Administrativo que labora en la Escuela Profesional de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, por sus enseñanzas y apoyo durante el tiempo que curse la carrera.

A nuestra alma mater, la Universidad Andina Néstor Cáceres Velásquez, y a todo el cuerpo docente y personal de apoyo de la Escuela Profesional de Ingeniería Sanitaria y Ambiental por su orientación y ayuda a lo largo de mis estudios de carrera.

Elizban Rolando Mamani Callata.



ÍNDICE DE CONTENIDO

DEDICATORIA	i
AGRADECIMIENTO	ii
ÍNDICE DE CONTENIDO	v
ÍNDICE DE TABLAS	ix
ÍNDICE DE FIGURAS	xi
RESUMEN	xiv
ABSTRACT	xv
INTRODUCCIÓN	16

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Análisis de la situación problemática	18
1.2. Planteamiento del problema	20
1.2.1. Problema general.....	20
1.2.2. Problemas Específicos.....	20
1.3. Objetivos de la investigación	20
1.3.1. Objetivo general.....	20
1.3.2. Objetivos específicos	20
1.4. Justificación de la investigación.....	21
1.5. Hipótesis de la investigación	22



1.5.1. Hipótesis alterna	22
1.5.2. Hipótesis nula.....	22
1.6. Variables.....	22
1.6.1. Variable de interes	22
1.6.2. Variable de caracterización.....	22
1.7. Operacionalización de variables.....	22

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación	24
2.1.1. Antecedentes Internacionales.....	24
2.1.2. Antecedentes nacionales	27
2.1.3. Antecedentes locales	30
2.2. Marco teórico.....	32
2.2.1. Bofedales	32
2.2.2. Características de los bofedales	34
2.2.3. Servicios ecosistémicos de los bofedales	36
2.2.4. Índices espectrales para la delimitación de bofedales	39
2.3. Marco conceptual	41

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. Diseño de la investigación	43
---------------------------------------	----



3.2. Tipo de la investigación	43
3.3. Enfoque de la investigación	43
3.4. Población y muestra	44
3.4.1. Población	44
3.4.2. Muestra	44
3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	44
3.5.1. Técnicas.....	44
3.5.2. Instrumentos	45
3.6. Materiales y equipos.....	45
3.7. Ubicación de la zona en estudio.....	46
3.8. Procedimiento metodológico	47
3.8.1. Determinar el cambio histórico multitemporal de los bofedales altoandinos empleando imágenes satelitales en la cuenca del río Paratia en el periodo 1990 - 2024	47
3.8.2. Determinar la relación existente entre la precipitación y temperatura con la superficie de los bofedales altoandinos en la cuenca del río Paratia en el periodo 1990 - 2024	52
3.8.3. Determinar el estado de los bofedales altoandinos de la cuenca del río Paratia.....	57

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Resultados.....	67
----------------------	----



4.1.1. Determinar el cambio histórico multitemporal de los bofedales altoandinos empleando imágenes satelitales en la cuenca del río Paratia en el periodo 1990 - 2024	67
4.1.2. Determinar la relación existente entre la precipitación y temperatura con la superficie de los bofedales altoandinos en la cuenca del río Paratia en el periodo 1990 - 2024	78
4.1.3. Determinar el estado de los bofedales altoandinos de la cuenca del río Paratia.....	91
4.2. Discusión	98
4.2.1. Para el objetivo específico N° 1	98
4.2.2. Para el objetivo específico N° 2	99
4.2.3. Para el objetivo específico N° 3	100
CONCLUSIONES	102
RECOMENDACIONES	103
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	104
ANEXOS.....	111



ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1 Operacionalización de variables	23
Tabla 2 Servicio ecosistémico de los bofedales.....	36
Tabla 3 Lista de imágenes satelitales a trabajar	49
Tabla 4 Rangos a considerar de la valoración del índice de Kappa.....	51
Tabla 5 Atributos e indicadores para medir el estado del ecosistema bofedal	58
Tabla 6 Escala de valoración de la condición de agua	59
Tabla 7 Escala de valoración de la condición de suelo.....	60
Tabla 8 Escala de valoración de la condición de la biota.....	62
Tabla 9 Escala de valoración de la alteración del paisaje	63
Tabla 10 Factores de degradación.....	64
Tabla 11 Escala y valor relativo para estimar el estado de los ecosistemas de bofedal	65
Tabla 12 Extensión de la cobertura vegetal de bofedales entre los periodos de 1990 a 2024 de la cuenca del río Paratia	76
Tabla 13 Validación de mapas mediante el Índice Kappa.....	77
Tabla 14 Análisis de consistencia de la precipitación de las estaciones meteorológicas más próximas a la cuenca del río Paratia	79
Tabla 15 Análisis de consistencia de la temperatura de las estaciones meteorológicas más próximas a la cuenca del río Paratia	79
Tabla 16 Precipitación y temperatura de la cuenca del río Paratia – periodo 1990 al 2024	88



Tabla 17	Atributos e indicadores de condición del agua (indicador napa freática y conductividad eléctrica)	92
Tabla 18	Atributos e indicadores de condición del suelo (indicador profundidad de la turba y materia orgánica).....	93
Tabla 19	Atributos e indicadores de condición del suelo (indicador densidad aparente y signos de erosión)	93
Tabla 20	Atributos e indicadores de condición de la biota (indicador especies nativas y riqueza de especies)	94
Tabla 21	Atributos e indicadores de condición de la biota (indicador cobertura vegetal y biomasa)	94
Tabla 22	Atributos e indicadores de la alteración del paisaje (indicador presencia de factores de degradación y conectividad hidrológica) .	95
Tabla 23	Valores relativos de atributos e indicadores del ecosistema bofedal	97



ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1 Bofedales altoandinos.....	33
Figura 2 Características de los bofedales	35
Figura 3 Ubicación del área en estudio.....	46
Figura 4 Imagen satelital con corrección radiométrica	48
Figura 5 Imagen satelital con corrección atmosférica	48
Figura 6 T de Student.....	54
Figura 7 Descripción del grado de erosión de la superficie evaluada	61
Figura 8 Categorías por presencia de factores a partir de su abundancia e intensidad.....	64
Figura 9 Infraestructura o alteraciones que condicionan la conectividad hidrológica en el bofedal	65
Figura 10 Cobertura vegetal de los bofedales de la cuenca del río Paratia al año 1990.....	67
Figura 11 Cobertura vegetal de los bofedales de la cuenca del río Paratia al año 1995.....	69
Figura 12 Cobertura vegetal de los bofedales de la cuenca del río Paratia al año 2000.....	70
Figura 13 Cobertura vegetal de los bofedales de la cuenca del río Paratia al año 2005.....	71
Figura 14 Cobertura vegetal de los bofedales de la cuenca del río Paratia al año 2010.....	72



Figura 15	Cobertura vegetal de los bofedales de la cuenca del río Paratia al año 2015.....	73
Figura 16	Cobertura vegetal de los bofedales de la cuenca del río Paratia al año 2020.....	74
Figura 17	Cobertura vegetal de los bofedales de la cuenca del río Paratia al año 2024.....	75
Figura 18	Precipitación y temperatura de la cuenca del río Paratia al año 1990.	80
Figura 19	Precipitación y temperatura de la cuenca del río Paratia al año 1995	81
Figura 20	Precipitación y temperatura de la cuenca del río Paratia al año 2000	82
Figura 21	Precipitación y temperatura de la cuenca del río Paratia al año 2005	83
Figura 22	Precipitación y temperatura de la cuenca del río Paratia al año 2010	84
Figura 23	Precipitación y temperatura de la cuenca del río Paratia al año 2015	85
Figura 24	Precipitación y temperatura de la cuenca del río Paratia al año 2020	86
Figura 25	Precipitación y temperatura de la cuenca del río Paratia al año 2024	87
Figura 26	Tendencia de la precipitación de la cuenca del río Paratia – periodo 1990 al 2024	88



Figura 27	Tendencia de la temperatura de la cuenca del río Paratia – periodo 1990 al 2024	89
Figura 28	Relación de la precipitación y temperatura con la superficie de los bofedales	90
Figura 29	Bofedales en estudio de la cuenca del río Paratia	91



RESUMEN

La investigación tiene el objetivo general de determinar la cobertura vegetal de los bofedales altoandinos empleando imágenes satelitales Landsat en la cuenca del río Paratia; el procedimiento metodológico se efectuó con ayuda de la información satelital de Landsat entre los periodos 1990 al 2024, para aplicar NDVI (índice de vegetación de diferencia normalizada) y determinar la extensión de las Turberas; para seguidamente determinar la interacción temperatura y la precipitación con la extensión de los bofedales y finalmente determinar el estado de 6 bofedales de la cuenca. Los resultados obtenidos indican que en la cuenca en estudio presenta una extensión de los bofedales al año 1990 de 5.59km²; al año 1995 de 4.93km²; al año 2000 de 4.88km²; al año 2005 de 5.92km²; al año 2010 presentó 4.55km²; también al año 2015 fue de 4.77km²; al año 2020 fue de 4.81km²; y al año 2024 fue de 4.56km²; presentando una correlación entre la temperatura-precipitación y las extensiones de las turberas; así mismo la mayor parte de las turberas en estudio de la cuenca del río Paratia se encuentran en un estado de conservación regular; y en menor proporción en un estado muy bueno. Concluyendo que las turberas andinas de la cuenca del río Paratia presentan una tasa de decrecimiento del -3.68%; todo ello por presentar signos de erosión, ganadería, variabilidad climática y a los factores antrópicos.

Palabras clave: Bofedales altoandinos, imágenes satelitales, precipitación, temperatura, estado de los bofedales



ABSTRACT

The general objective of the research is to determine the vegetation cover of the high Andean wetlands using Landsat satellite images in the Paratia river basin; the methodological procedure was carried out with the help of Landsat satellite information from 1990 to 2024, to apply NDVI (normalized difference vegetation index) and determine the extent of peatlands; then to determine the interaction between temperature and precipitation with the extent of wetlands and finally to determine the status of 6 wetlands in the basin. The results obtained indicate that the basin under study presents an extension of wetlands in 1990 of 5.59km²; in 1995 of 4.93km²; in 2000 of 4.88km²; in 2005 of 5.92km²; in 2010 it was 4.55km²; also in 2015 it was 4.77km²; in 2020 it was 4.81km²; and in 2020 it was 4.81km². 81km²; and in the year 2024 it was 4.56km²; presenting a correlation between temperature-precipitation and peatland extensions; likewise, most of the peatlands under study in the Paratia river basin are in a regular state of conservation; and in a smaller proportion in a very good state. In conclusion, the Andean peatlands of the Paratia river basin show a decrease rate of -3.68%, due to signs of erosion, cattle ranching, climatic variability and anthropic factors.

Keywords: high Andean wetlands, satellite images, precipitation, temperature, wetland conditions

INTRODUCCIÓN

Los bofedales, que son lagos de los altos Andes, forman parte de los ecosistemas altoandinos. Están formados por cuencas, turba y plantas perennes muy específicas (Javier, Portal, & Alcantara, 2021); se alimenta principalmente de arroyos, ríos, lagos, manantiales y nieve y hielo derretidos (Imbaquingo, 2021); caracterizados como ecosistemas muy frágiles por presentar una vegetación con forma de cojín y los suelos son muy húmedos (Wang, y otros, 2024); generan diversos servicios ecosistémicos, además de almacenar carbono, ayudan a mantener estable el nivel del agua y son el hogar de una gran diversidad de plantas y animales (Granada & Olave, 2023); generar piensos de alta calidad para las vacas, fomentando el desarrollo socioeconómico y permitiendo el crecimiento de la población andina, sin embargo, algunas actividades antrópicas como la degradación y la pérdida de estos ecosistemas se ven facilitadas por el pastoreo excesivo, la quema de la flora autóctona y otras actividades (Imbaquingo, 2021), por ello es de gran importancia conocer su extensión y el estado en el que se encuentra (Jara, 2019).

El 70% de la biodiversidad mundial se encuentra en Perú, donde los bosques y los humedales constituyen la mayoría de los ecosistemas (MINAM, 2020). Se ha demostrado que los humedales son susceptibles a los cambios de temperatura y precipitaciones, ya que estos factores modifican su régimen hídrico (Javier, Portal, & Alcantara, 2021); en este entorno, es relevante mencionar la extensión de los bofedales bofedal y su estado (Poveda, Lopez, & Villa, 2020); a raíz de esto, se han desarrollado métodos para la evaluación de la cobertura vegetal.; en este caso la interpretación espectral de las cubiertas



vegetales; la base para generar un conjunto de índices basados en el contraste de bandas del espectro (Chariarse & Chariarse, 2021); y que se denominan índices espectrales de vegetación; los índices de vegetación y los productos derivados de estas técnicas de teledetección han sido uno de los medios más eficaces para evaluar los cambios históricos de las propiedades de la cubierta vegetal a gran escala y para los estudios de los cambios espaciotemporales de la vegetación. Se calculan a partir de la combinación matemática de dos o más bandas de una imagen multiespectral de satélite y tienden a presentar, de forma más nítida, las características de la vegetación, además de facilitar su aislamiento de otras cubiertas y la evaluación de su estado (Zhiminaicela, Quevedo, & Morocho, 2020).

A raíz de lo anterior, se promueve el desarrollo del trabajo de investigación titulado: "Determinación de la cobertura vegetal de los bofedales altoandinos empleando imágenes satelitales landsat en la cuenca del río Paratia": el cual contiene IV capítulos que a continuación se menciona:

El problema objeto de estudio, los objetivos, la justificación y las hipótesis planteadas se establecen en el **capítulo I**. Comparativamente, el **capítulo II** esboza el marco teórico, el marco conceptual y las referencias bibliográficas (antecedentes). A continuación, el **capítulo III** detalla el diseño y el tipo de investigación, la población y la muestra, las técnicas e instrumentos, la metodología y el diseño estadístico. A continuación, el **capítulo IV** detalla los resultados obtenidos, junto con la correspondiente prueba estadística y discusión, y, por último, las conclusiones y sugerencias formuladas.



CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Análisis de la situación problemática

Actualmente 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 humanas como la ganadería, la combustión 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 extensiones de vida con peculiaridades climáticas extremadamente específicas y especies de floras diferenciadas; estas comunidades vegetales ocupan 157.000 km², es decir, el 12,77% de la superficie total del país, e incluyen el bofedal, tolar, puna y pajonal (Estrada & Vasquez, 2021). Sin embargo, las investigaciones han dado cuenta de la pérdida de superficie de bofedales de 549156 has en el 2012 a 548,174.41 ha (0.42% del territorio) 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 diversidad de actividades socioculturales, monetarias y ambientales, así como el bienestar de la población local (MINAM, 2022).

En Puno particularmente en los bofedales de la cuenca del río Paratia, actúan como reguladores del equilibrio del ecosistema y, dado que los suelos de los bofedales retienen volúmenes de agua y la liberan durante los periodos de sequía, la fuente primordial de agua para la población local; sin embargo, el ecosistema está siendo perjudicado por la escasa atención prestada, 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 sector en estudio con el fin de ser el pilar fundamental para establecer planes de gestión de dichos ecosistemas se plantea las siguientes interrogantes.



1.2. Planteamiento del problema

1.2.1. Problema general

¿Cuánto es la cobertura vegetal de los bofedales altoandinos empleando imágenes satelitales Landsat en la cuenca del río Paratia?

1.2.2. Problemas Específicos

- ✓ ¿Cuál es el cambio histórico multitemporal de los bofedales altoandinos empleando imágenes satelitales en la cuenca del río Paratia en el periodo 1990 - 2024?
- ✓ ¿Cuál es la relación existente entre la precipitación y temperatura con la superficie de los bofedales altoandinos en la cuenca del río Paratia en el periodo 1990 - 2024?
- ✓ ¿Cuál es el estado de los bofedales altoandinos de la cuenca del río Paratia?

1.3. Objetivos de la investigación

1.3.1. Objetivo general

Determinar la cobertura vegetal de los bofedales altoandinos empleando imágenes satelitales Landsat en la cuenca del río Paratia

1.3.2. Objetivos específicos

- ✓ Determinar el cambio histórico multitemporal de los bofedales altoandinos empleando imágenes satelitales en la cuenca del río Paratia en el periodo 1990 - 2024
- ✓ Determinar la relación existente entre la precipitación y temperatura con la superficie de los bofedales altoandinos en la cuenca del río Paratia en el periodo 1990 - 2024



- ✓ Determinar el estado de los bofedales altoandinos de la cuenca del río Paratia

1.4. Justificación de la investigación

El estudio se realizará por la que recientemente se vive los efectos del calentamiento global cambio climático a nivel mundial despertando interés en la conservación de las masas hídricas; ante ello surge la idea de investigar los medios altoandinos como es el caso de los bofedales, identificarlos, establecer 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 las secuelas del calentamiento global 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 arrojará resultados de mayor calidad.



1.5. Hipótesis de la investigación

1.5.1. Hipótesis general

La cobertura vegetal de los bofedales altoandinos va en descenso por el cambio climático mediante la aplicación de imágenes satelitales en la cuenca del río Paratia.

1.5.2. Hipótesis específicas

- Existe una variación del cambio histórico multitemporal de los bofedales altoandinos empleando imágenes satelitales en la cuenca del río Paratia en el periodo 1990 – 2024
- Existe una relación significativa entre la precipitación y temperatura con la superficie de los bofedales altoandinos en la cuenca del río Paratia en el periodo 1990 – 2024
- Los bofedales altoandinos de la cuenca del río Paratia se encuentran en un estado regular en mayor proporción.

1.6. Variables

1.6.1. Variable de interés

- ✓ Variación multitemporal de los bofedales altoandinos

1.6.2. Variable de caracterización

- ✓ Caracterización de los bofedales altoandinos

1.7. Operacionalización de variables

Tabla 1

Operacionalización de variables

<u>VARIABLES</u>	<u>DIMENSIONES</u>	<u>INDICADOR</u>	<u>UNID</u>	<u>METODOLOGIA</u>	
<u>Independiente</u>	Periodo de análisis de la cobertura vegetal de bofedales	Año 1990 al año 2024	---	<u>Diseño de investigación</u>	
	Variación multitemporal de los bofedales altoandinos			No experimental	
<u>Dependiente</u>	Corrección de imágenes satelitales	Radiométrica	---	<u>Tipo de investigación</u> Aplicativo	
	Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI)	Atmosférica	---		
	Validación de datos hallados	Análisis de la precipitación	Banda 4 de la imagen satelital	---	INSTRUMENTOS: - Imágenes satelitales Landsat
			Banda 5 de la imagen satelital	---	
	Caracterización de los bofedales altoandinos	Análisis de la Temperatura	Clasificación supervisada Índice Kappa	---	
			Periodo de análisis (año 1990 al año 2022)	mm	
Estado de conservación de los bofedales	Análisis de la Temperatura	Periodo de análisis (año 1990 al año 2022)	°C		
		Muy pobre	%		
		Pobre	%		
		Regular	%		
		Bueno	%		
		Muy bueno	%		



CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación

2.1.1. Antecedentes Internacionales

Garcia (2021), tuvo el objetivo de cuantificar la cantidad de carbono acumulado en las macrófitas y la flora 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 microcuenca 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. 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 acumulación de 0,36 Ton/C para 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 acumula unas 30 veces más carbono que los macrófitos. Para elaborar planes de conservación del ecosistema del bofedal, se aconseja combinar los resultados de la provisión de carbono en la capa "suelo" como en la vegetación del turbera.

Imbaquingo (2021), realizó el trabajo de investigación con el objetivo de monitorear mediante análisis multicriterio e imágenes del satélite Landsat 8, se realizó un seguimiento de las turberas de la cuenca del río Chambo (2013 – 2020). Los cambios transpirados se examinaron mediante teledetección, que evaluó la variación en la cobertura espacial y descubrió variaciones notables en la porción occidental de la subcuenca. La cobertura de las turberas 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 las turberas 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 turberas

Jara, y otros (2019), Llevaron a cabo el trabajo de investigación con el fin de cotejar las imágenes de Landsat y Sentinel para el calculo del área de distribución, y nivel de mantenimiento del humedal en el área del Chimborazo - Ecuador. Este procedimiento se creó mediante investigación in situ en dieciséis turberas con distintos niveles de protección. Los datos Landsat-8 tambien Sentinel-2 se sometieron a correccion radiométrica, lo que supuso restaurar las líneas o píxeles que faltaban y corregir el banding de la captura. Además, se empleó la rectificación 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. Antecedentes nacionales

Toribio (2023), tuvo como objetivo de examinar las consecuencias del regresión del nevado Huaytapallana sobre los turberas de la RCA Huaytapallana desde 1990 a 2020 en datos espaciales y temporaales. El estudio empleó un diseño de investigación descriptivo-correlacional y el método científico. Para alcanzar los objetivos, se creó un vínculo lineal entre el area de los turberas y la cobertura glaciár utilizando técnicas de SIG que consintieron calcular el area de los turberas utilizando el NDVI y la capa del nevado empleando los índices NDWI y NDSI. Finalmente, se calculó la superficie del ecosistema de turberas, arrojando una superficie de 0,89 km² en 1990 y de 6,53 km² en 2020. Resultando que en la superficie glaciár 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 la información logrando sobre capa glaciaria, se logra una proporción de 0,43 km²*año de disminución. En definitiva, el análisis del estudio llega a concluir que presenta una correlación negativa entre ambas variables, lo que está respaldado por pruebas científicas. En consecuencia, la superficie de la reserva se ve afectada significativamente por el retroceso glaciario del nevado.

Pamo (2022), realizó el trabajo de investigación con el objetivo de utilizar 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. La comunidad se sitúa entre las coordenadas 17°33' 18.59" LS y 68°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 un índice de cambio 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 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 oficina 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 diferenciación competitiva y de reproducción de ganancias.

Pamo & Oscoco (2022), ejecutaron el trabajo de investigación con el objetivo de utilizar 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 Ancoamarca. La comunidad se sitúa entre las coordenadas 18°33' 18.59" LS y 68°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 un índice de cambio 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 y sus parcialidades, como Ancoamarca, 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 oficina y lograr hallazgos. 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 diferenciación competitiva y de reproducción de ingresos.

Machuca & Uzquiano (2021), realizaron el trabajo de investigación con el objetivo de evaluar la salud de los turberas mediante sensores remotos en la microcuenca Acocancha-Lima 2021, con énfasis en las características del recursos hídricos, el suelo, la biodiversidad y el paisaje modificado, 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 Bofedal, se utilizó el programa ENVI para analizar imágenes de satélite Landsat 8 de las estaciones seca y lluviosa de 2013, 2017 y 2019. Basándose en imágenes de satélite, los resultados muestran que el NDVI osciló entre 0 y 1, con un máximo de 0,082. El rango del NDWI fue de -1 a 0,008. El rango del NDWI fue de -1 a 0,008. La conservación se llevó a cabo siguiendo las recomendaciones de la guía. En conclusión, es fundamental reparar y mantener las turberas, ya que son vitales para el suministro de agua del río Chillón y para los habitantes de Huaros.

2.1.3. Antecedentes locales

Gutiérrez (2018), tuvo el objetivo de estimar el grado de asociación entre la dinámica espaciotemporal de los turberas entre los periodos de 1984 a 2016; se empleó el alcance de la relación entre las condiciones atmosféricas, como la precipitación total y la grado termico máxima, y la



capa espacial de los turberas entre 1984 y 2016. La metodología consistió en recopilar datos pluviométricos y grado térmico máxima anual, así como analizar la tendencia de estos factores climáticos en los años especificados, lo que condujo a una secuencia muy significativa de la grado térmico máxima anual. La capa superficial de estos turberas se determinó mediante algoritmos del NDVI, utilizando captura de satélite Landsat 5 y 8. Por último, se efectuó un análisis de regresión lineal múltiple, indicando que la temperatura superior es el componente climático que más afecta al comportamiento de los turberas. 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 turberas 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 turberas.

Cruz, Quiroz, & Garatusa (2012), realizaron el trabajo con el fin de evaluar el comportamiento de los turberas en el altiplano peruano-boliviano mediante el cambio anual del NDVI y la capa aérea de los pastizales, se examinaron las variables de Cobertura y Uso del Suelo, cobertura aérea, escala geográfica de trabajo y tamaño de los turberas a 2 resoluciones multiespectrales. Los satélites LANDSAT 2, 5, HRV de los satélites SPOT 4 y 5, TM-MSS 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, totoral, cultivos, PAJONAL, pastizal, pradera, herbazal (< 33.0% de cubierta)/Gramadal, pastizal bajo, pajonal, pastizal de uso



intensificado/cultivo, y turberas utilizando las fotos AVHRR NOAA. Los turberas deben investigarse a valores 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 turberas 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 material seco verde en el transcurso del periodo investigado se explicó por cambios en el NDVI. Los turberas 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. Bofedales

Los bofedales son formas de vegetación que se hallan en las orillas de los ríos, al fondo de los valles y en las regiones altoandinas. Se distinguen por regarse durante todo el año. En invierno son amarillentos y el agua puede congelarse. Se componen de una variedad de plantas nativas altamente nutritivas y se ordenan en rol del volumen de agua que contienen (Castro, 2021).

Imbaquingo (2021), debido a su alta concentración de materia orgánica y a un drenaje inadecuado, la turbera es una zona diminuta pero valiosa



que está saturada de humedad. Está ligada a la vegetación hidrófita y se crea por las Caída de agua, la descongelación de glaciares y los afloramientos superficiales. Se encuentra en las regiones altoandinas, en las superficies de las laderas bajas y en las aguas subterráneas. Se caracteriza por su tonalidad verde brillante, causada por su constante nivel de agua (Andrade, 2016).

Para la ANA (2021), las turberas son agrupación de plantas perennes de fisonomía herbácea cespitosa, a diferencia de otras comunidades. Suelen denominarse turberas, o cenégaes vegas andinas, humedales altoandinos u oqonales, palabra derivada del quechua (oqo), que significa húmedo.

Según el Convenio RAMSAR (2015), las turberas son comunidades frágiles vinculados al cambio climático, las sequías prolongadas y la actividad antropogénica. Estas turberas están reconocidos como sistemas estratégicos porque controlan y proporcionan agua para múltiples actividades (Ramos & Luque, 2020). El bofedal sirve de eficaz almacén natural de agua; así mismos, son filtros naturales que optimiza la calidad hídrica; tienen vegetación que ocupa el suelo, manteniéndolo permanentemente húmedo; y albergan una gran cantidad biodiversidad entre sus áreas (Rondoy, Mostacero, & De La Cruz, 2020)

Figura 1

Bofedales altoandinos



Nota. Obtenido de (Gutierrez, 2018)

2.2.2. Características de los bofedales

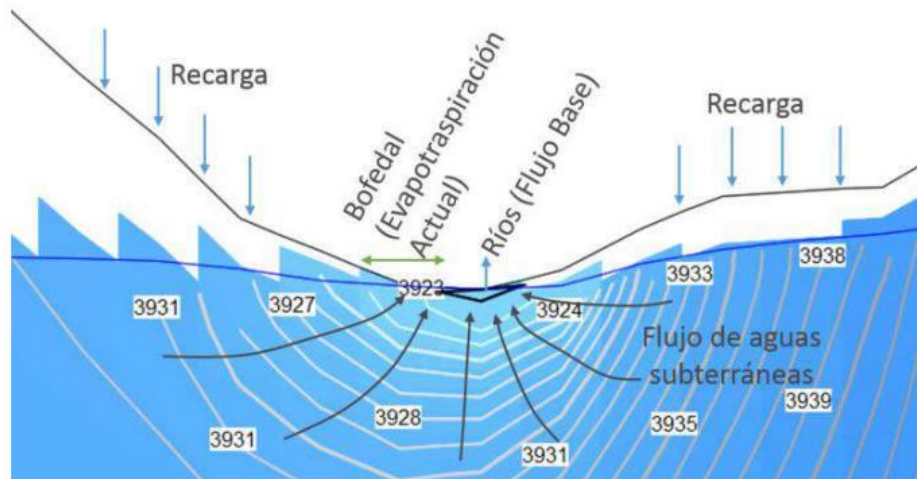
Los pastizales de plantas herbáceas, que son planos o compactos y gruesos, parecidos a cojines (almohadillas), se caracterizan por formas vegetales que crecen en suelos fértiles con un gradiente de humedad temporal o permanente (Aduvire & Aduvire, 2021).

Al estar situadas en zonas donde se produce la descarga de aguas subterráneas, las turberas y los manantiales están relacionados. Como consecuencia, ninguna turbera infiltra aguas subterráneas y, en las turberas, la descarga se da como evapotranspiración, que se produce cuando las plantas absorben acuíferos y sudan a través de sus estomas, liberando agua en forma de vapor de sudor. En los manantiales, la descarga se da como flujo de agua superficial, pero también hay una

descarga de agua subterránea como flujo de base que aumenta el caudal en las masas de agua (Lacho, 2018).

Figura 2

Características de los bofedales



Nota. Obtenido de (Lacho, 2018)

Como el depósito de aguas subterráneas se llena tras la estación lluviosa, las turberas alcanzan su mayor extensión en mayo, al comienzo de la estación seca. La reserva de agua subterránea se reduce a medida que avanza la estación seca, lo que disminuye los niveles freáticos y, por consiguiente, el tamaño total de las turberas. El mes de octubre marca la expansión mínima de las turberas, que a partir de noviembre vuelven a vegetar durante la estación húmeda (Montoya, 2017).

Las turberas más pequeñas con caudales inferiores a 0,1 l/s tienen cloruro como ion primario, mientras que las turberas grandes con acuíferos de más de 1 l/s en las cuencas altoandinas tienen bicarbonato como ion primario (Montoya, 2017).

2.2.3. Servicios ecosistémicos de los bofedales

Según el MINAM (2022), son los favores económicos, sociales y medioambientales directos o indirectos que recibe una sociedad cuando los sistemas funcionan de forma óptima; se clasifican en función de las funciones que desempeñan y pueden ser de aprovisionamiento, de regulación, de mantenimiento o culturales (Toribio, 2023).

Tabla 2

Servicio ecosistémico de los bofedales

Servicios	Tipología Servicio Ecosistémico
Alimento animal Sustrato orgánico Plantas curativas Agua	Provisión
Sumidero de carbono Mitigación de la erosión en turberas y suelos Depuración del agua Reserva de agua Medida del recurso hídrico Ajuste del clima local Modulación climática mundial	Regulación
Hábitat protegido Acumulación de materia orgánica Gestión del ciclo de nutrientes	Soporte
Tener valor escénico y paisajístico Funcionar como zonas recreativas y turísticas	Cultura

Nota. Obtenido de (MINAM, 2019)

Según el MINAM (2019), Contribuyen a la regulación hídrica, controlando el flujo de agua y previniendo inundaciones:



a) Servicios de suministro:

- **Alimento para el ganado:** las alpacas se alimentan de forma natural de las turberas, pero como ahora hay ovejas, caballos y vacas, estos animales utilizan exclusivamente distintas partes de las turberas.
- **Turba:** como medida de autoabastecimiento en lugares donde la población local no dispone de fuentes alternativas de abastecimiento y como fertilizante para viveros en distintas partes de la nación.
- **Plantas curativas:** es posible observar especies que se utilizan como medicina natural y que prosperan en ambientes húmedos.
- **Líquido:** se trata de uno de los recursos más valorados, pero menos investigados de las regiones bajas de la cuenca.

b) Servicios de control:

- **Captura de carbono:** la turba, o el suelo fértil que se exhibe en las turberas, es crucial para la fijación y la reserva del dióxido de carbono.
- **Mitigación de la erosión del suelo y la turba:** el primordial valor de erosión es el agua. Al crear fricción, una cubierta vegetal sana puede ayudar a reducir la velocidad del agua a modo que se desplace por la marisma.



- **Clarificación del agua:** Se ha demostrado que las turberas mejoran las características del agua al reducir la cantidad de metales.
- **Suministro de agua:** Al actuar como una ciénaga, la turba reduce la velocidad a la que se desenvuelve el agua dentro de las ciénagas y aumenta la fuerza con la que retiene el agua en su interior.
- **Gestión del recurso hídrico:** Dado que la turba sede como una esponja, el agua no se libera durante toda la estación seca, sino en el transcurso de los periodos de lluvias.
- **Control climático local:** La cantidad hidrica que contiene un humedal y la alta temperatura del agua como molécula química están relacionadas. Esto hace posible que las altas temperaturas se equilibren en zonas con mucha agua, como alrededor de las lagunas.
- **Estrategias globales para el clima:** Existe un equilibrio en el ecosistema entre el carbono que las plantas absorben mediante la fotosíntesis y establecen como turba, y el carbono que se libera como metano, que desconocemos. Es bien sabido que la descomposición de las turberas liberta el carbono que se ha fijado en la turba, lo que contribuye a las muestras de gases de efecto invernadero y apresura el cambio climático.

c) Servicios de asistencia:

- **Un paraíso para la biodiversidad y la vida salvaje:** Las turberas de los Andes pueden alojar una gran diversidad de especies vegetales y animales en un entorno que les permite adaptarse.
- **Formación de turba:** el hidroperiodo se utiliza para llevar a cabo la formación de turba, que es el principal procedimiento de mantenimiento de los humedales.
- **Conservación del ciclo de nutrientes:** El carbono es el ciclo predominante en este proceso de sostenimiento.

d) Servicios culturales y recreativos: Las turberas cuando están en contextos convenientes y ideales, son estimados por:

- Ser un espacio paisajístico por su belleza.
- Ser un área de excursión y recreación.

2.2.4. Índices espectrales para la delimitación de bofedales

Se han desarrollado numerosos métodos para utilizar fotos de satélite para examinar la cubierta vegetal de una zona, proporcionando información cuantitativa y cualitativa sobre el estado de la vegetación (Lacho, 2018).

Las turberas se distinguen por su ubicación dentro de un rango de pendientes, cantidad de biomasa (índice de vegetación) y ubicación geográfica. Mediante el uso de (SIG) y teledetección, podremos identificar las turberas en función de los criterios mencionados (SIG) (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 los cambios estacionales de la vegetación mediante imágenes de satélite. Aplicado directamente a las comunidades vegetales, el NDVI mide la correlación entre la energía absorbida y expresada por los objetos terrestres. Evalúa la cantidad de vegetación de una superficie, así como su salud o vigor vegetativo, y proporciona valores de magnitud de verdor de la zona (Imbaquingo, 2021).

Además, mientras que la cobertura vegetal muerta, de color verde parduzco, no emite reflectividad de bandas, la vegetación sana aparece de color verde oscuro con valores de reflectividad bajos en las bandas roja y azul, altos en la banda verde y muy altos en el infrarrojo cercano. La vegetación enferma, en cambio, es de color verde amarillento, tiene baja reflectividad en las bandas roja y azul, alta reflectividad en la banda verde y escasa reflectividad en el espectro infrarrojo cercano (Tafur, 2017).

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

Donde:

NDVI: Índice de vegetación normalizado

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

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

Aunque sólo los valores positivos del rango NDVI de (-1) a (+1) se correlacionan con las zonas de vegetación, el rango típico para la vegetación verde se sitúa entre 0,2 y 0,8 (Tafur, 2017)

2.3. Marco conceptual

- a) **Cuenca-**. Unidad territorial de drenaje en la cual el agua discurre hacia un mismo cauce (Chavez, 2015).
- b) **Capa vegetal-**. Las cubiertas vegetales son las que tienen en cuenta el crecimiento de cultivos o plantas para aumentar el potencial de producción de la tierra y disminuir la erosión del suelo (Córdova & Sánchez, 2020).
- c) **Turberas-**. Estas turberas, que se encuentran a partir de los 3800 msnm en conos volcánicos, fondos de valles fluvio-glaciares, planicies lacustres, terrazas fluviales y piedemontes, son ejemplos de hábitats altoandinos con formas de vegetación perennifolia tipo cojín y humedad constante (Lacho, 2018).
- d) **Sistema de Información Geográfica.** - Es una herramienta que permite ordenar, presentar e interpretar los acontecimientos que se producen en la extensión de la Tierra. Es un sistema integral para analizar, almacenar, capturar, modificar y visualizar datos geográficos. Vector y ráster son las dos formas fundamentales de los SIG (Pamo J. , 2022).
- e) **Análisis multitemporal-**. Comparar la temporalidad de una región o un entorno en varios momentos permite analizar las coberturas, evaluar los cambios a lo largo del tiempo y determinar los efectos de los factores naturales o artificiales sobre el medio ambiente (Jara, 2019).
- f) **Imágenes satelitales-**.



- g)** Los satélites que visualizan recursos naturales fluctúan a unos 700 kilómetros en dirección norte-sur. Equipados con sensores, registran la radiación solar reflejada en diversas bandas espectro electromagnético y generan imágenes al "observar" líneas de pequeñas piezas agrupadas. (Pamo J. , 2022)
- h) Landsat-.** Son un grupo de satélites que vigilan el territorio. ETM+ (Enhanced Thematic Mapper Plus) es un nuevo sensor a bordo del satélite LANDSAT 7, lanzado en abril de 1999 (Garcia, 2021).



CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. Diseño de la investigación

La variable independiente no se alterara intencionadamente, el diseño de investigación de este estudio es **NO EXPERIMENTAL** (Hernandez & Fernandez, 2018).

3.2. Tipo de la investigación

Dado que sus contribuciones se centran en la comprensión de una cuestión concreta relacionada con la administración del estudio de una específica rama, se trata de un tipo de investigación de carácter **APLICATIVO** (Hernandez & Fernandez, 2018).

3.3. Nivel de la investigación

El nivel de investigación es **DESCRIPTIVO** porque consicnete identificar, analizar y describir las características de un fenómeno, situación, población, o contexto tal como se presenta en un momento dado (Hernandez & Fernandez, 2018).

3.4. Enfoque de la investigación



El enfoque es **CUALITATIVO** porque se centra en percibir eventos, experiencias, comportamientos y significados desde el contexto de las personas involucradas.

3.5. Población y muestra

3.5.1. Población

Es un grupo de individuos, individuos, objetos que se ajustan a un conjunto de detalles (Hernandez & Fernandez, 2018).

Por ende, se presente estudio la población en estudio está simbolizada por todas las turberas existentes en la cuenca del rio Paratia

3.5.2. Muestra

Según Hernandez & Fernandez (2018), apunta que la muestra es “una porcion de la población que simboliza a la misma”.

Se ha estimado un muestreo no probabilístico por comodidad del investigador; ante ello la muestra es la misma que la población; existiendo en este caso simbolizada por todas las turberas existentes en la cuenca del rio Paratia

3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

3.6.1. Técnicas

Según Hernandez & Fernandez (2018), explica que la compilación de datos que envuelve la creación de un proceeso detallado de métodos que le permitirán recopilar información con un objetivo específico; utilizando los siguientes métodos para el estudio actual:

- ✓ **Análisis bibliográfico**



Gracias a la revisión bibliográfica fue posible elaborar un resumen de las principales ideas que constituyeron el fundamento teórico de la investigación realizada. (Mejía, 2005).

- ✓ **Observación In situ**
- ✓ La observación directa y metódica suele ser la mejor forma de medir algo. Para ello, el estudiaador elige la conducta que despierta su interés y diseña un procedimiento sistemático para mostrarlo, archivar y registrarlo en un ambiente preparado o natural (Mejía, 2005).

3.6.2. Instrumentos

Córdova (2018), «Medios virtuales utilizados por el investigador para recoger los datos que conduzca a la evaluación de una o más variables», según la declaración. Teniendo esto en cuenta, las herramientas utilizadas incluyen:

- Imágenes satelitales

3.7. Materiales y equipos

Seguidamente, se enumeran los equipos y materiales requeridos para llevar a cabo el estudio.

a) Materiales

- ✓ Datos de precipitación (periodo 1990 – 2024)
- ✓ Imágenes satelitales Landsat 5, 8 u 9
- ✓ Materiales de escritorio
- ✓ Datos de temperatura (periodo 1990 – 2024)

b) Equipos

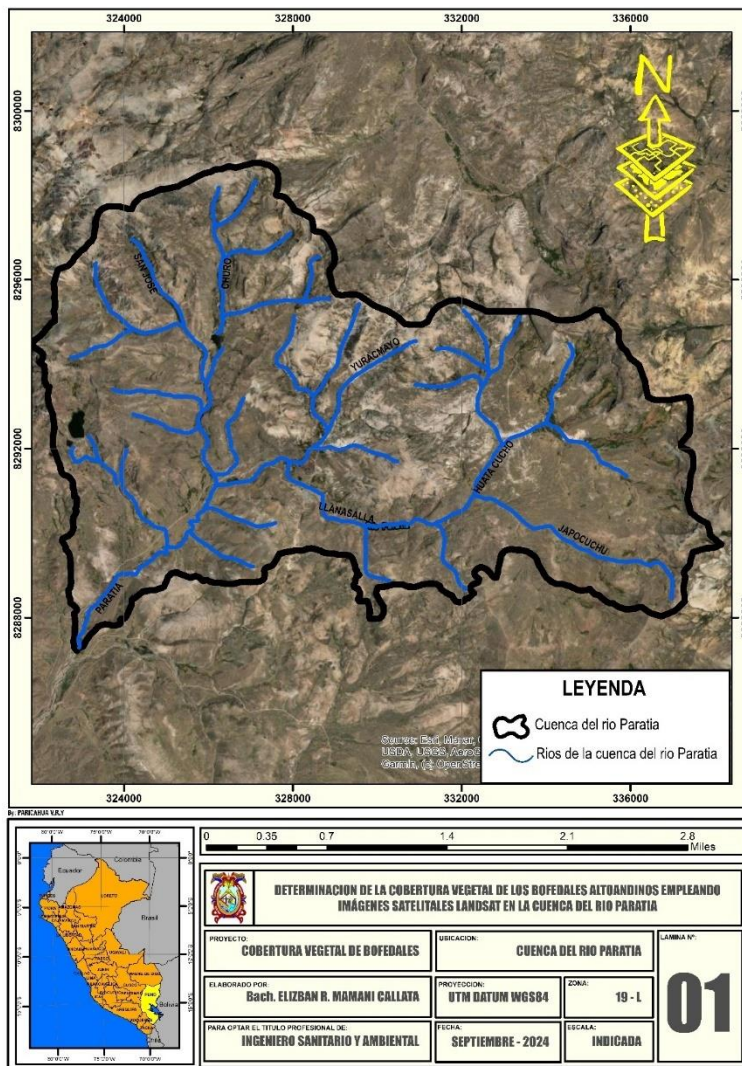
- ✓ Laptop
- ✓ Impresora
- ✓ Cámara digital

3.8. Ubicación de la zona en estudio

El área de análisis está situada en la cuenca del río Paratia, perteneciente al ámbito del distrito de Paratia, provincia de Lampa – Puno; en las coordenadas latitud: 15°26'17.29"S, Longitud 70°37'56.03"O a una altitud de 4545 m.s.n.m.

Figura 3

Ubicación del área en estudio



3.9. Procedimiento metodológico

La metodología y las técnicas empleadas para finalizar esta investigación incluyeron la recopilación de todos los datos de publicaciones, sitios web, revistas, artículos, tesis y otras fuentes.

3.9.1. Determinar el cambio histórico multitemporal de los bofedales altoandinos empleando imágenes satelitales en la cuenca del río Paratia en el periodo 1990 - 2024

a) Obtención de imágenes satelitales

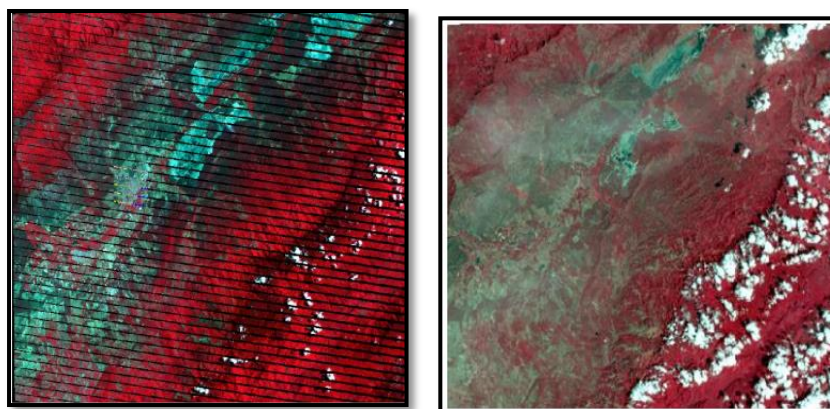
Para descargar las capturas de satélite Landsat 5, 7 y 8 se utilizó la plataforma web EarthExplorer del Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS). Se seleccionó el cuadrante que cubría la cuenca y se obtuvieron las imágenes de satélite que mejor captaban los contextos de la zona estudiada, como la nubosidad baja y la estación seca, cada cinco años durante 35 años, de 1990 a 2024.

b) Ajuste de imágenes satelitales

Utilizando el complemento de categorización semiautomática (SCP) del software QGIS, que eliminaba cualquier interferencia aérea que pudiera haber experimentado el sensor y permitía visualizar imágenes de mayor calidad numérica y visual, sólo la imagen del satélite Landsat 5 fue sometida a un ajuste radiométrico por presentar algún elemento, brillo excesivo u otro evento que interfiriera en la correcta clasificación de la imagen.

Figura 4

Imagen satelital con corrección radiométrica

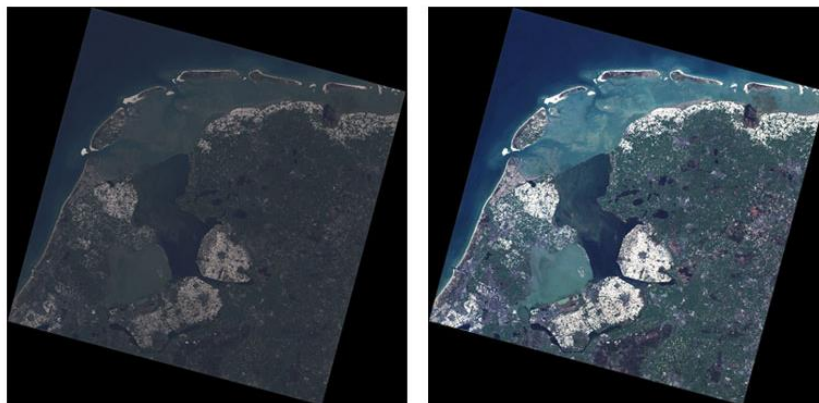


Nota. a) Sin corrección radiométrica; b) Con corrección radiométrica;
Obtenido de (Cabrera & Vega, 2022)

Se aplicó la corrección atmosférica a las imágenes satelitales (Landsat 5, 7 y 8) utilizando la herramienta "ArcToolbox-Landsat 8-Atmospheric Correction" para eliminar perturbaciones atmosféricas. Esta corrección reduce la influencia de la atmósfera en los valores de los píxeles, minimizando el impacto del vapor, aerosoles y otros factores, lo que permite obtener una vista más detallada y nítida de la vegetación en las turberas.

Figura 5

Imagen satelital con corrección atmosférica



Nota. a) Sin corrección atmosférica; b) Con corrección atmosférica; obtenido de (Cabrera & Vega, 2022)

Tabla 3

Lista de imágenes satelitales a trabajar

Año	Nombre	Resolución	Preprocesamiento (correcciones)	Procesamiento
1990	Landsat 5	30mts	Radiométrica - atmosférica	NDVI
1995	Landsat 5	30mts	Radiométrica - atmosférica	NDVI
2000	Landsat 7	30mts	Radiométrica - atmosférica	NDVI
2005	Landsat 7	30mts	Atmosférica	NDVI
2010	Landsat 7	30mts	Atmosférica	NDVI
2015	Landsat 8	30mts	Atmosférica	NDVI
2020	Landsat 8	30mts	Atmosférica	NDVI
2024	Landsat 8	30mts	Atmosférica	NDVI

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

Este enfoque es particularmente útil para examinar el estado del cuerpo vegetal porque el NDVI ofrece una diferenciación justa de los píxeles de la extensión de la vegetación, especialmente cuando se compara con otras coberturas (Lange, 2018).

Utilizando la siguiente fórmula, se seleccionó la opción de calculadora ráster para las imágenes de satélite Landsat en la interfaz de ArcMap, ArcToolbox y, a continuación, la herramienta Spatial Analyst Tool :

$$NDVI (L8) = \frac{\rho_{b5} - \rho_{b4}}{\rho_{b5} + \rho_{b4}}$$

Donde:

NDVI: Índice de vegetación normalizada

ρ_{b2} : Banda 5 (infrarrojo).

ρ_{b5} : Banda 4 (rojo).

Producirá 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 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)

$t_2 - t_1$: tiempo transcurrido (años)

e) Clasificación supervisada

Se creó puntos de control con la herramienta Train Maximum Likelihood Classifier (clasificación de máxima verosimilitud) en el software ArcGIS, para luego ir al campo y verificar que ciertamente se trata de las turberas identificadas mediante el proceso en el software.

f) Validación de mapa mediante el Índice Kappa

Para determinar la exactitud de los hallazgos de cada turbera adquiridos en el programa con la realidad, se realizó la validación de las turberas entre el mapa apreciado y la concurrencia de la realidad basándose en el índice Kappa.

Tabla 4

Rangos a considerar de la valoración del índice de Kappa

Índice Kappa	Fuerza de concordancia
0.81 a 1.00	Casi perfecta
0.61 a 0.80	Considerable
0.41 a 0.60	Moderada
0.21 a 0.40	Aceptable
0.01 a 0.20	Leve
0.00	Pobre

Nota. Obtenido de (Torre y Rivas, 2019)



3.9.2. Determinar la relación existente entre la precipitación y temperatura con la superficie de los bofedales altoandinos en la cuenca del río Paratia en el periodo 1990 - 2024

Para determinar la asociación existente entre la precipitación y la extensión de turberas altoandinos en la cuenca del río Paratia; se realizó la descarga la información de precipitación de los tiempos atmosféricos más sigüientes 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

La evaluación de consistencia de los datos meteorológicos se realizó en base a las consideraciones descritas del libro de Villon (2005), en cual indica que la evaluación de consistencia se obtiene con datos favorables, Utilizando normas físicas y técnicas estadísticas que ayuden a detectar, valorar y corregir posibles errores sistemáticos originados por la intervención humana o factores naturales.

Se utilizó el análisis de doble masa para identificar las causas de eventos naturales a través de los "quebres" en los diagramas, lo que ayuda a distinguir entre eventos naturales y errores sistemáticos. Este análisis permite determinar los espacios dudosos y confiables para cada estación, que deben corregirse aplicando ciertos criterios estadísticos. A continuación, se describen los procedimientos a seguir:

Consistencia de la media

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

Se realiza 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 : Media de los períodos 1 y 2 respectivamente

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

n : Tamaño de la muestra

n_1 , n_2 : Tamaño de las submuestras

$n = n_1 + n_2$

- Cálculo del "t" calculado (tc) según:

Se realiza 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 ponderada

Cálculo de la "t" calculada:

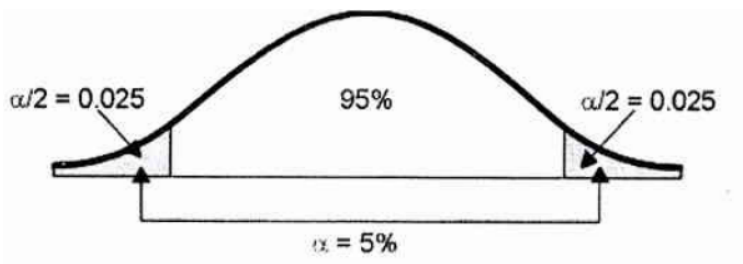
$$t_c = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{S_{\bar{d}}}$$

- Cálculo del "t" tabulada (tt):

Con grados de libertad $v=n_1+n_2+2$ y una probabilidad del 95%, o un umbral de significación del 5%, el valor crítico t se obtiene de la tabla t de Student.

Figura 6

T de Student



Nota. Obtenido de Villon (2005)

- Comparación del t_c con el tt :

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

Dado que las medias en este caso son $(X_{(1)}) = (X_{(2)})$, estadísticamente hablando, no es necesario llevar a cabo ningún procedimiento correctivo; como resultado, los datos son fiables y estadísticamente consistentes.

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

Dado que las medias $(X_{(1)}) \neq (X_{(2)})$ son en este caso, los datos necesitan ser rectificadas estadísticamente; como resultado, los datos no son fiables ni estadísticamente consistentes.

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 deriva de las tablas F utilizando grados de libertad y una probabilidad del 95%, o un umbral de significación del 5%, lo que significa que $\alpha/2 = 0,025$:

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

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

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

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

Donde:

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

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

- **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

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

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

Corrección de los datos

Incluso con pequeñas rupturas en la doble masa, los datos originales son coherentes al 95%, por lo que no se rectifican si los parámetros de la media y la desviación típica de las submuestras son estadísticamente equivalentes. En caso contrario, se aplican ciertas ecuaciones para corregir 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 utiliza cuando se requiere rectificar los valores de la submuestra n_1 la segunda ecuación, se utiliza si se deben 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 el área 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.

3.9.3. Determinar el estado de los bofedales altoandinos de la cuenca del río Paratia

Para determinar el estado de las turberas altoandinas de la cuenca del río Paratia, 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
Estado del agua	Acuífero en temporada seca (cm) Capacidad de conducción eléctrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$) Altura de turba (cm)
Estado del suelo	Material biológico (%) Densidad volumétrica (g/cm^3) Manifestaciones de erosión (cualitativo) Especies locales (%)
Estado de la biota	Abundancia de especies (n.º especies / área) Estrato vegetal (%) Materia vegetal aérea ($\text{kg MS}/\text{ha}$) Indicios de degradación (cualitativo)
Alteraciones en el paisaje	Indicios de degradación (cualitativo)

Nota. Obtenido de (MINAM, 2019)

a) Condición del agua

- **Profundidad de la napa freática en época de sequía:** La profundidad de la capa freática se determinará midiendo durante la estación seca, utilizando la extensión del suelo como referencia. La presencia de turba profunda en la turbera puede indicar cambios en el suministro de agua o que es estacional, lo que podría resultar en turba poco profunda. Este equilibrio entre la descomposición de la turba, que ocurre cuando el suelo no está saturado en la estación seca, y su acumulación, que sucede durante la estación lluviosa, es clave para comprender el funcionamiento del humedal.
- **Capacidad de conducción eléctrica:** Muestra cuántos iones hay presentes en el agua. Los niveles altos de conductividad sugieren problemas de salinidad cuando el pH es alcalino. Un pH ácido

puede indicar concentraciones elevadas de metales. Ambos casos indican problemas con la calidad del agua.

Tabla 6*Escala de valoración de la condición de agua*

Indicador	Rango de valores de referencia	1. Puntaje
Napa freática (cm)	< 5	30.8
	6 - 20	20.5
	21 - 60	10.3
	> 60	0.0
Capacidad eléctrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	< 52	8.8
	52 - 110	5.9
	110 - 215	2.9
	> 215	0.0

Nota. Obtenido de (MINAM, 2019)

b) Condición del suelo

- **Altura de turba:** Determinar la profundidad a la que se encuentra el suelo mineral o el lecho rocoso, y donde desaparece la turba, es esencial para evaluar el potencial de almacenamiento de carbono y agua de una turbera. En turberas permanentes, existe una correlación directa entre la edad y la profundidad de la turba; es decir, las turberas más antiguas suelen tener turba más profunda. Sin embargo, esta relación no se ha establecido para las turberas estacionales. Comparar los datos sobre la profundidad del nivel freático con la profundidad de la turba es fundamental para identificar cambios en la hidrología de la turbera.
- **Materia orgánica de la capa superior:** La cantidad de materia orgánica que se ha acumulado en el horizonte superficial del suelo es indicativa de la capacidad de la turba para almacenar carbono.

La capacidad de la turba para almacenar carbono aumenta con los valores.

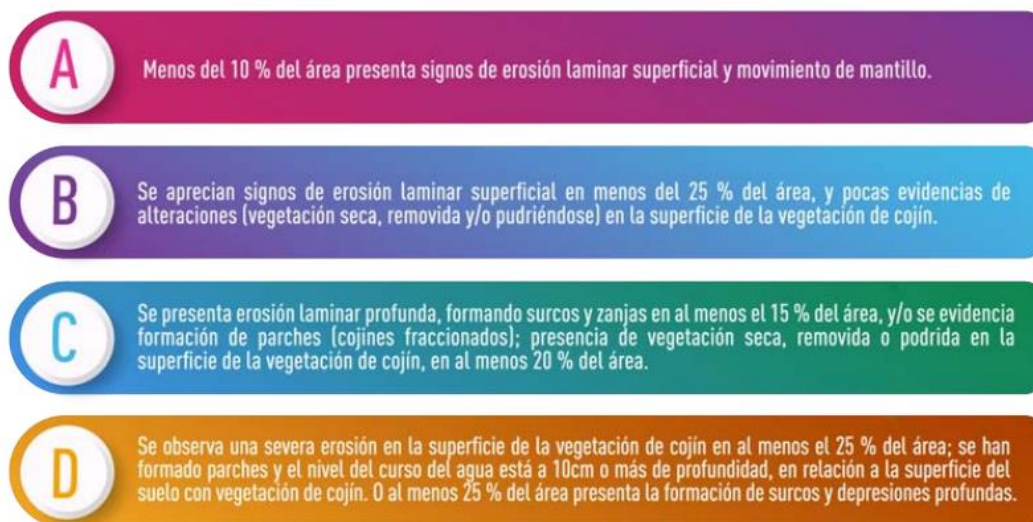
- **Densidad aparente en la capa superficial:** muestra el potencial de la turba para retener agua. La capacidad de almacenamiento aumenta con la disminución de los valores de densidad. Además, unos valores de densidad supuesto extremadamente altos en el horizonte superficial sugerirían dificultades de compactación, muy probablemente provocados por el pisoteo del ganado, razón por la cual se evalúa en la capa superficial.
- **Huellas de erosión:** El indicador cualitativo evalúa visualmente la erosión hídrica de la turba. El pisoteo del ganado contribuye a esta erosión al eliminar la vegetación superficial, exponiendo la turba y facilitando la erosión por corrientes de agua.

Tabla 7

Escala de valoración de la condición de suelo

Indicador	Rango de valores de referencia	Puntaje
Nivel freático (cm)	> 200	9.2
	100 - 200	6.1
	41 - 100	3.1
Sustrato orgánico (%)	< 40	0.0
	> 75	8.9
	56 - 75	5.9
Densidad volumétrica (g/cm ³)	21 - 55	3.0
	< 37	0.0
	< 0.2	3.5
Huellas de erosión	0.2 - 0.3	2.3
	0.3 - 0.9	1.2
	> 0.9	0.0
	A	2.9
	B	1.9
	C	1.0
	D	0.0

Nota. Obtenido de (MINAM, 2019)

Figura 7*Descripción del grado de erosión de la superficie evaluada*

Nota. Obtenido de (MINAM, 2019)

c) Estado de la biota

Dado que no existen datos suficientes para relacionar la apariencia o ausencia de determinadas especies o grupos de especies de fauna con un estado concreto del humedal, los indicadores que se han elegido están relacionados con la vegetación.

- **Riqueza de flora y fauna nativa:** La proporción de especies nativas en la vegetación es un buen indicador de la condición ecológica del bofedal. La presencia de especies no nativas sugiere cambios relacionados con la reducción de humedad, disponibilidad de nutrientes o el pisoteo del ganado. Evaluar la proporción de especies no nativas sería equivalente a este indicador. Para los dos casos se necesita una lista que distinga entre especies nativas e invasivas, pero actualmente no existe. Sin embargo, se ha elaborado una lista basada en la revisión de literatura.

- **Cobertura de plantas:** íntimamente ligada a la capacidad de la vegetación para proteger la turba de los procesos erosivos. La protección de la turba aumenta con el espesor de la capa de vegetación. El mantillo no se tiene en cuenta porque la atención se centra en la flora viva. Una elevada proporción de cubierta vegetal viva es indicativa de un humedal sano.
- **Biomasa sobre el suelo:** se refiere a la principal capacidad productiva del ecosistema. La función ecológica que proporciona este indicador por sí solo se ve mermada, sobre todo cuando la zona es objeto de pastoreo.
- **Biodiversidad:** se utiliza para indicar la diversidad y se alude a la cantidad de especies (flora) que se exhiben en una determinada zona o muestra.

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
	< 5	0.0
Cobertura vegetal (%)	100	3.0
	90 - 99	2.0
	89 - 75	1.0
	< 75	0.0
Biomasa (kg MS/ha)	> 1000	5.1
	651 - 999	3.4
	301 - 650	1.7
	< 300	0.0

Nota. Obtenido de (MINAM, 2019)

d) Alteración del paisaje

- **Biomasa de la aérea:** se alude al potencial de producción primaria del ecosistema. La función ecológica que proporciona este indicador por sí solo se ve mermada, sobre todo cuando la zona es objeto de pastoreo.
- **Biodiversidad:** indicar el número de especies existentes en un área específica, reflejando así la diversidad de la flora en ese lugar.

Tabla 9

Escala de valoración de la alteración del paisaje

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 8

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



Nota. Obtenido de (MINAM, 2019)

Tabla 10

Factores de degradación

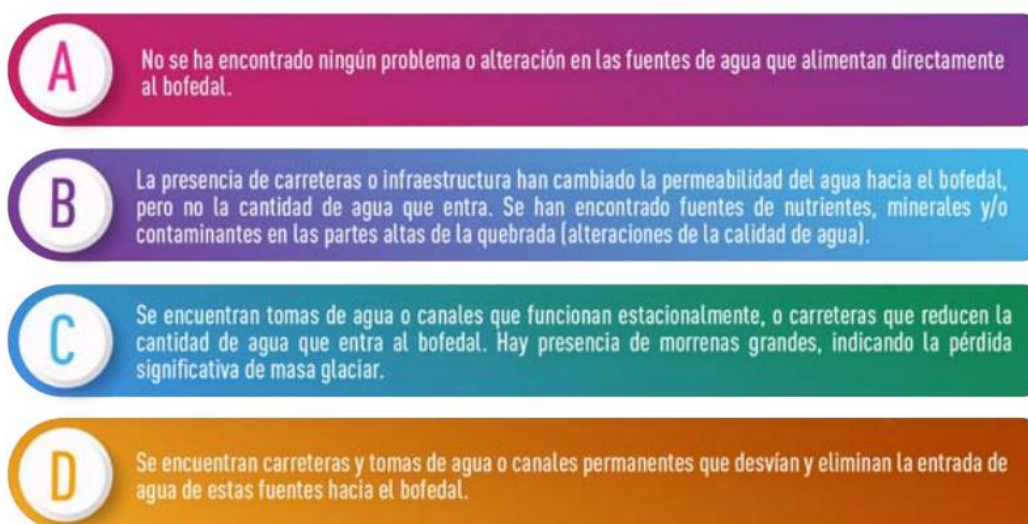
Factor de degradación	Nivel	Abundancia	Intensidad
Cambios hídricos en el bofedal	Alta (3)	Las zanjas de infiltración o canales ocupan una proporción significativa del área (al menos 30 %).	La variación entre la extensión del suelo y el flujo de agua es de 25 cm o más.
	Baja (1)	Las zanjas de infiltración o canales constituyen una baja parte del área total.	La variación entre la extensión del suelo y el flujo de agua es inferior a 25 cm.
Ganadería	Alta (3)	Existencia de más de 3 animales por hectárea, o abundante estiércol de ganado.	El pastoreo ininterrumpido en el área de bofedal (si hay algún testigo local)
	Baja (1)	Menos de 3 animales por hectárea, o baja abundancia de estiércol de ganado.	El pastoreo es intermitente en el área de bofedal (si existe algún informante de la región).
Cosecha de turba	Alta (3)	Se ha cosechado turba en más del 15 % de la superficie.	Se ha drenado el bofedal y se ha extraído más de 30 cm de turba.

	Baja (1)	En menos del 15 % del área se ha extraído 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 9

Infraestructura o alteraciones que condicionan la conectividad hidrológica en el bofedal



Nota. Obtenido de (MINAM, 2019)

El valor relativo adquirido para la zona evaluada está representado por el total de las puntuaciones de los indicadores; este valor debe confirmarse en la tabla nº 15 y debe determinarse el estado al que se refiere. Para ello se exhiben cinco niveles, cada uno de los cuales representa una escala de 0 a 10; la escala de 8 a 10 representa 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

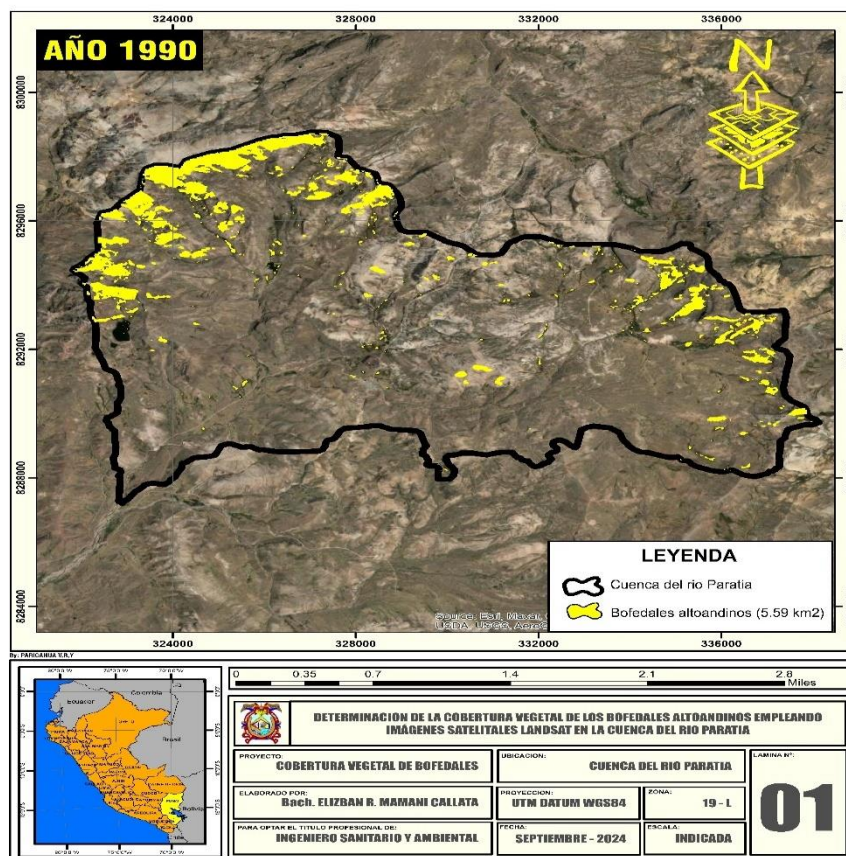
4.1. Resultados

4.1.1. Determinar el cambio histórico multitemporal de los bofedales altoandinos empleando imágenes satelitales en la cuenca del río Paratia en el periodo 1990 - 2024

a) Extensión de la cobertura vegetal de los bofedales

Figura 10

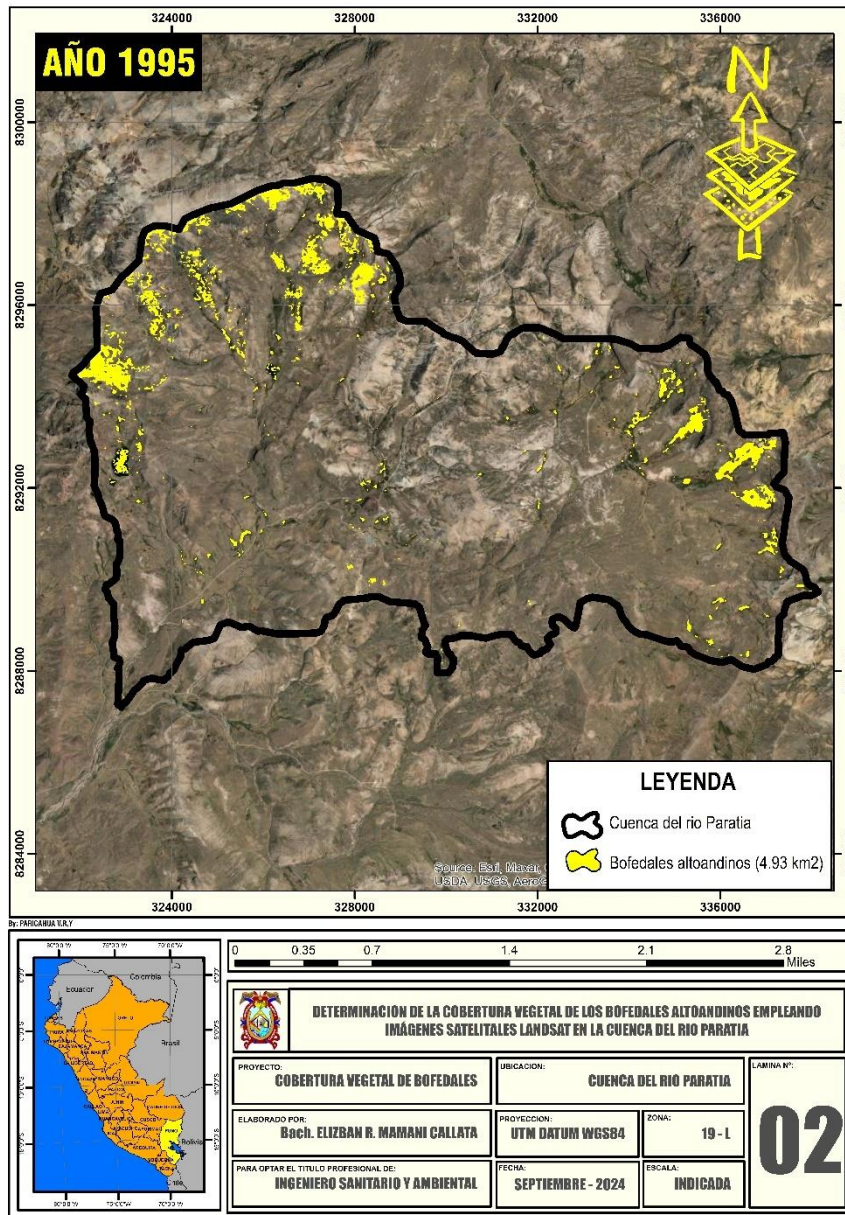
Cobertura vegetal de los bofedales de la cuenca del río Paratia al año 1990



En la figura 10, se exhibe la capa vegetal de las turberas de la cuenca del río Paratia al año 1990; indicando que la extensión territorial de la capa vegetal de las turberas de la cuenca del río Paratia es de 5.59km², mientras que las demás coberturas vegetales que no competen a las turberas abarcan una extensión territorial de 106.71 km² respectivamente.

Figura 11

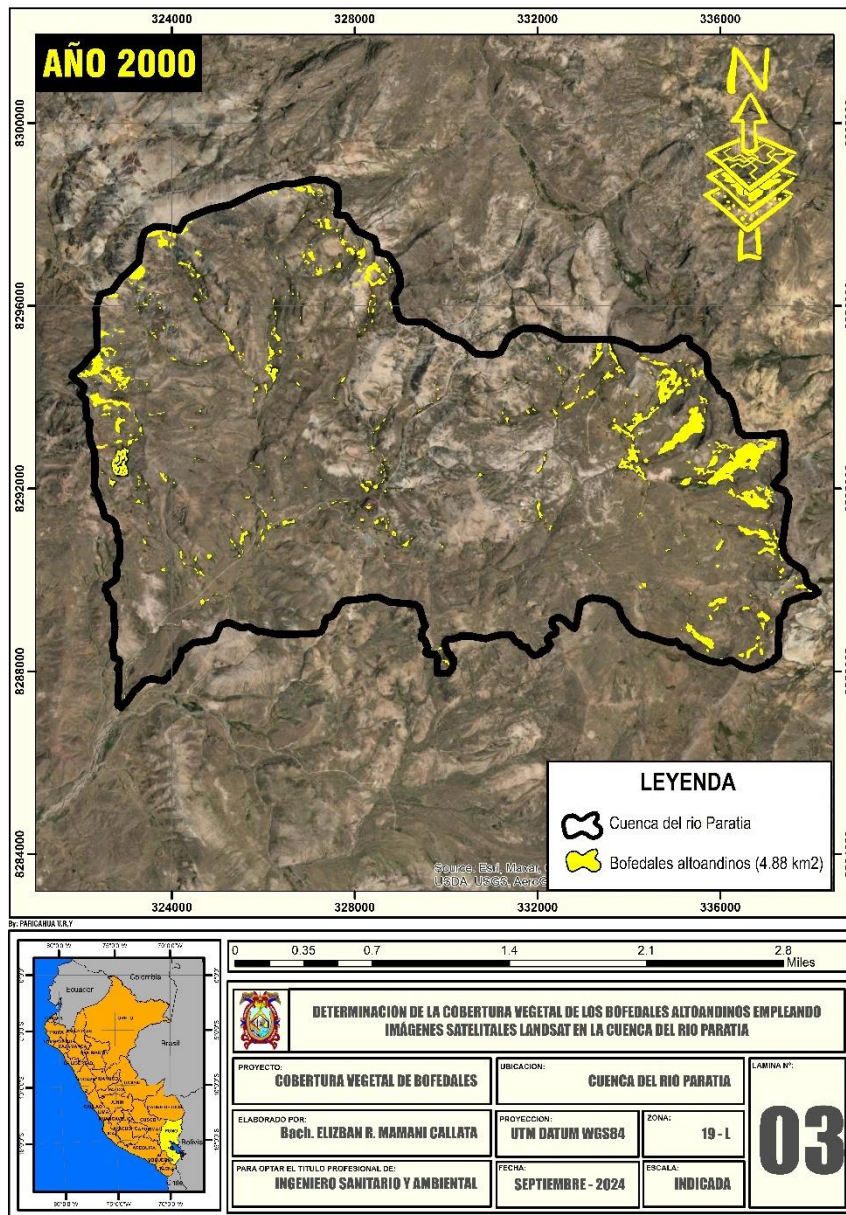
Cobertura vegetal de los bofedales de la cuenca del río Paratia al año 1995



En la figura 11, se exhibe la capa vegetal de las turberas de la cuenca del río Paratia al año 1995; indicando que la extensión territorial de la capa vegetal de las turberas de la cuenca del río Paratia es de 4.93km², mientras que las demás coberturas vegetales que no competen a las turberas abarcan una extensión territorial de 107.37 km² respectivamente.

Figura 12

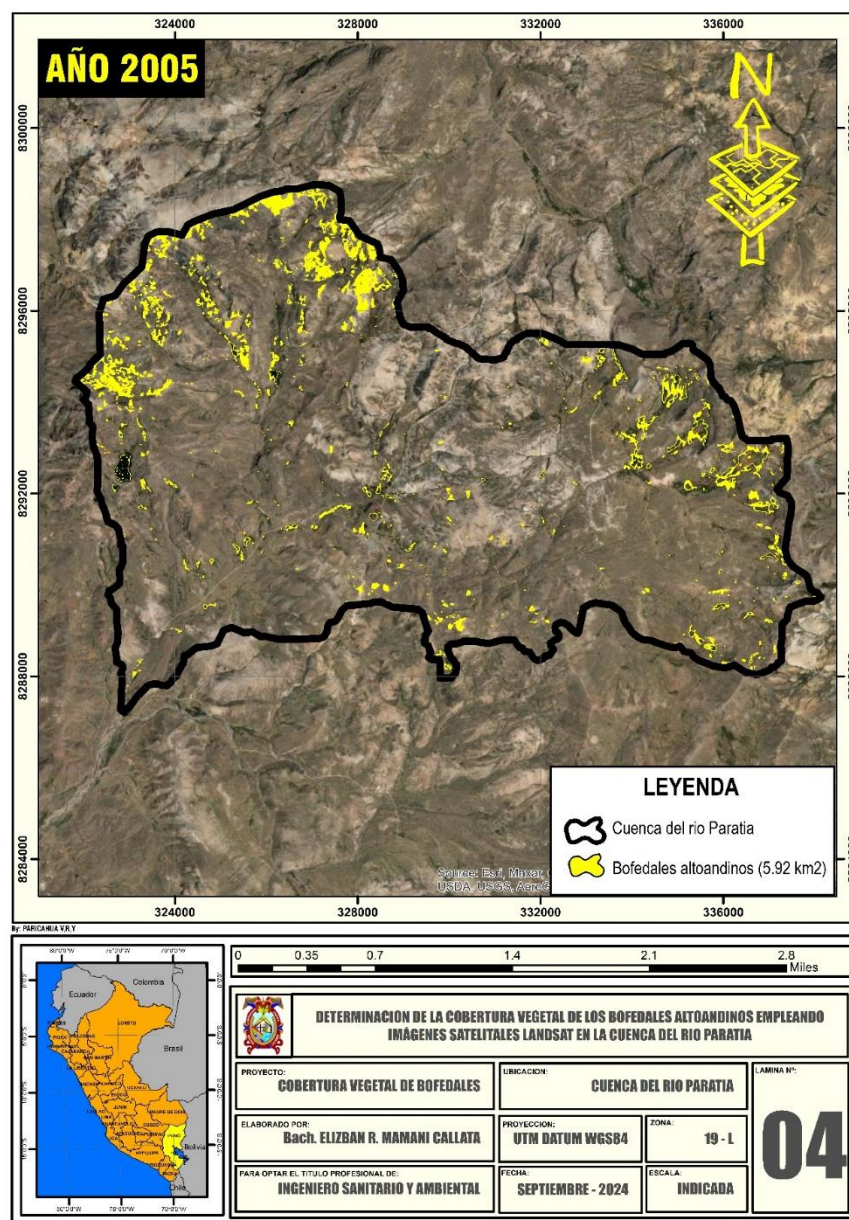
Cobertura vegetal de los bofedales de la cuenca del río Paratia al año 2000



En la figura 12, se exhibe la capa vegetal de las turberas de la cuenca del río Paratia al año 2000; indicando que la extensión territorial de la capa vegetal de las turberas de la cuenca del río Paratia es de 4.88km², mientras que las demás coberturas vegetales que no competen a las turberas abarcan una extensión territorial de 107.42 km² respectivamente.

Figura 13

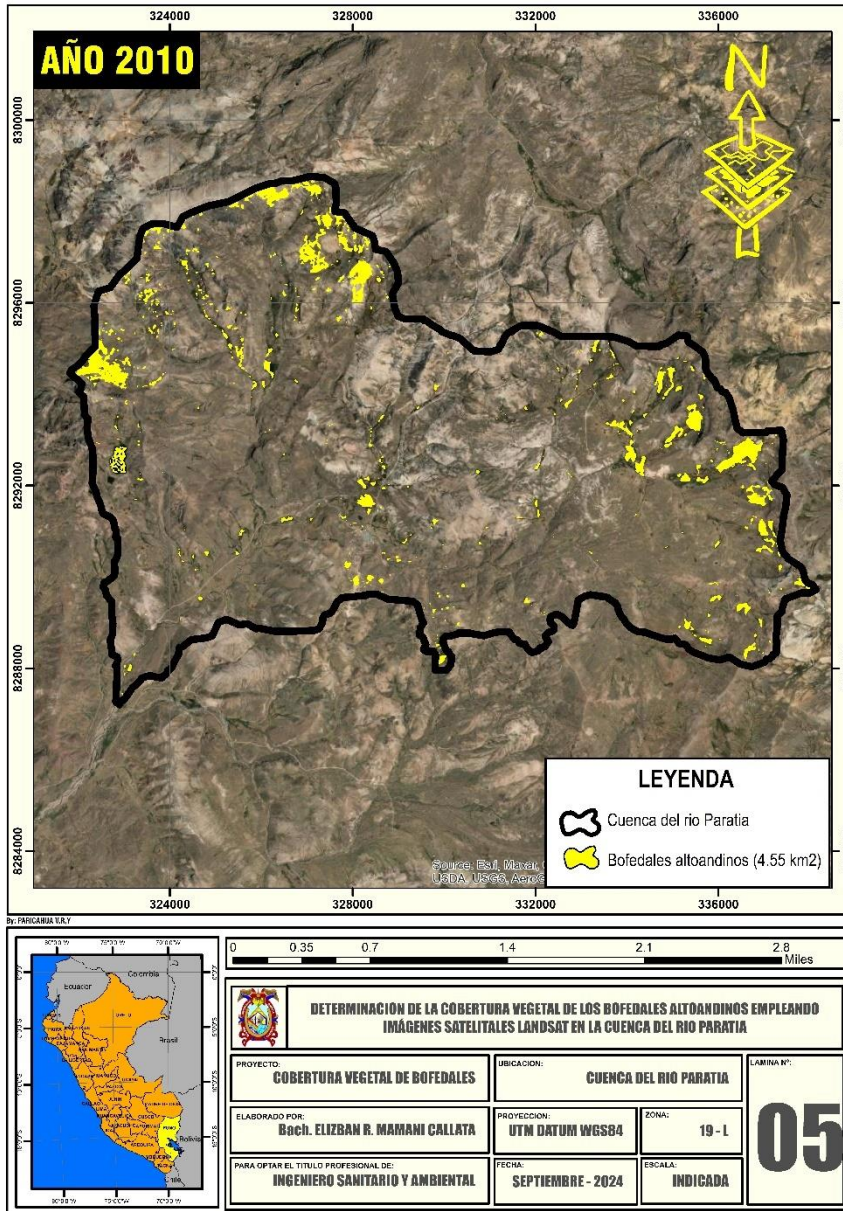
Cobertura vegetal de los bofedales de la cuenca del río Paratia al año 2005



En la figura 13, se exhibe la capa vegetal de las turberas de la cuenca del río Paratia al año 2005; indicando que la extensión territorial de la capa vegetal de las turberas de la cuenca del río Paratia es de 5.92km², mientras que las demás coberturas vegetales que no competen a las turberas abarcan una extensión territorial de 106.38 km² respectivamente.

Figura 14

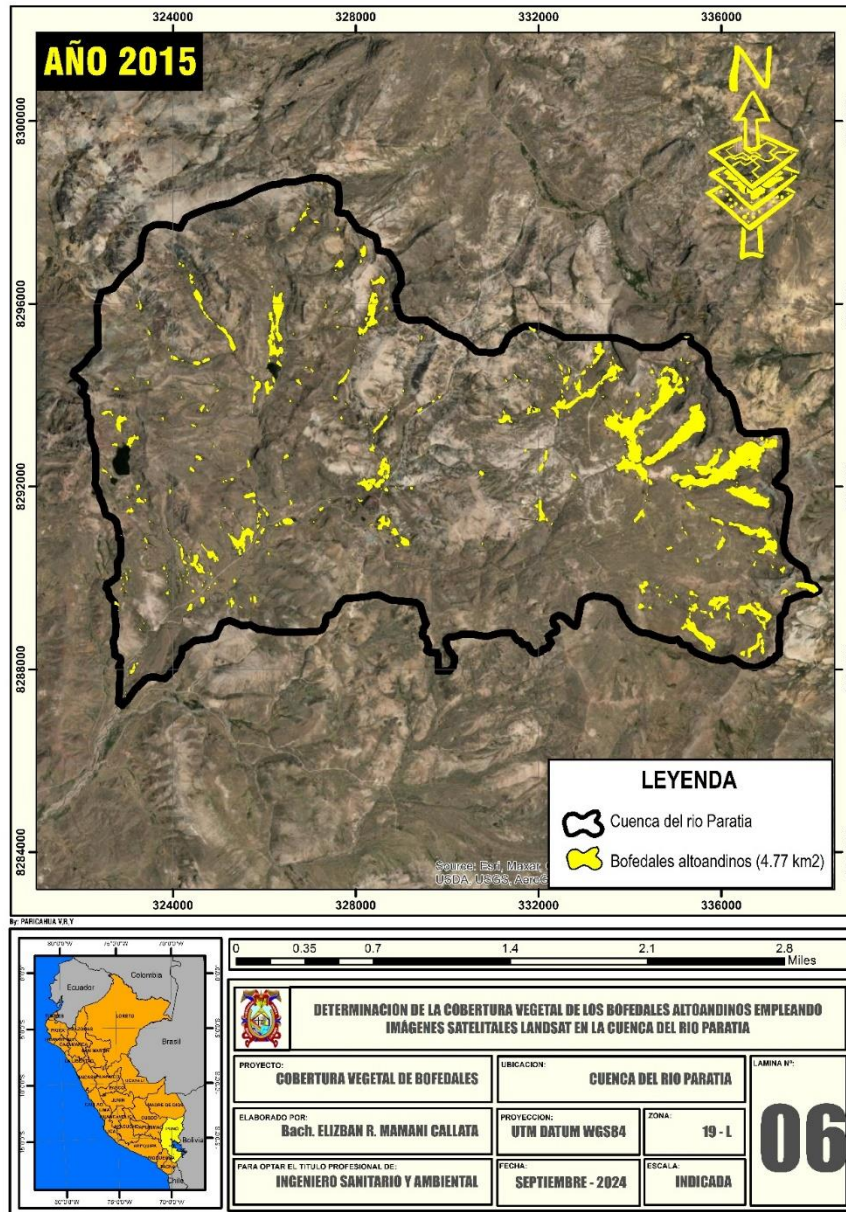
Cobertura vegetal de las turberas de la cuenca del río Paratia al año 2010



En la figura 14, se exhibe la capa vegetal de las turberas de la cuenca del río Paratia al año 2010; indicando que la extensión territorial de la capa vegetal de las turberas de la cuenca del río Paratia es de 4.55km², mientras que las demás coberturas vegetales que no competen a las turberas abarcan una extensión territorial de 107.75 km² respectivamente.

Figura 15

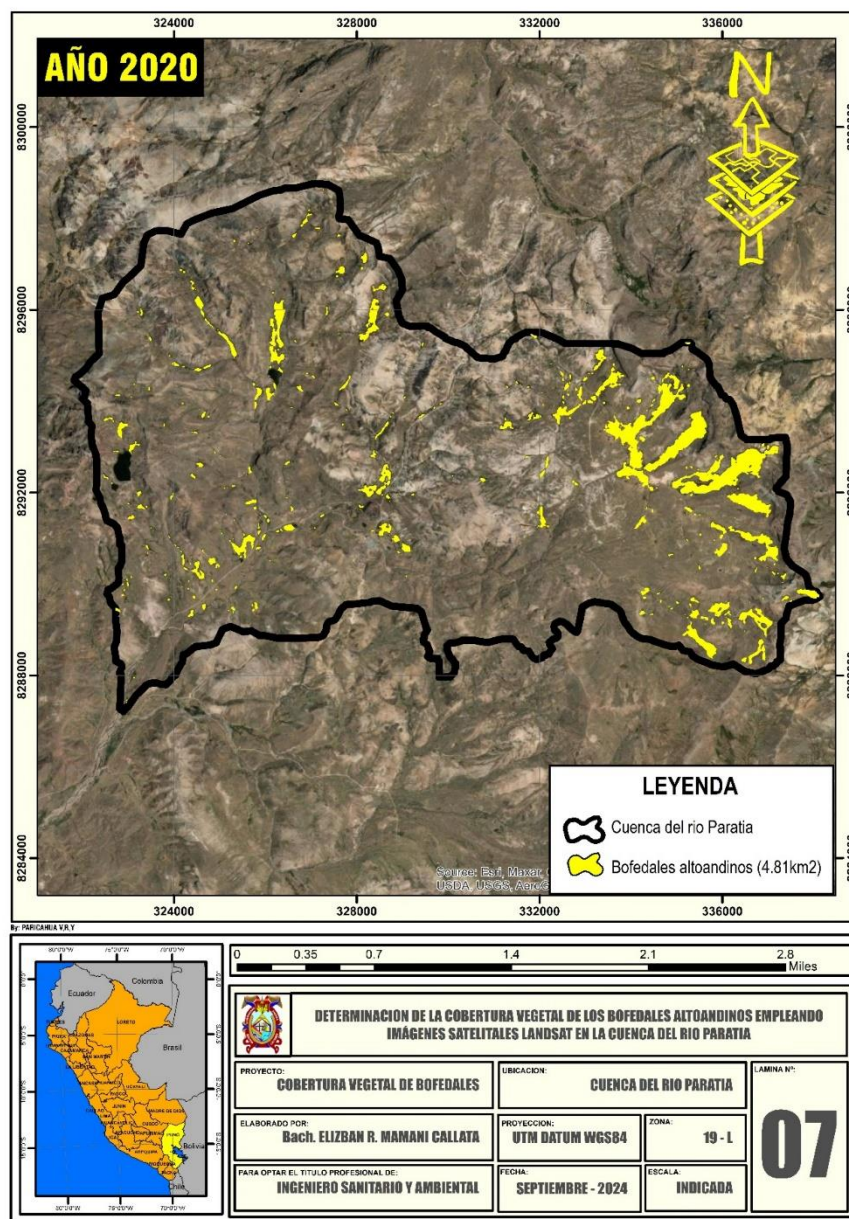
Cobertura vegetal de los bofedales de la cuenca del río Paratia al año 2015



En la figura 15, se exhibe la capa vegetal de las turberas de la cuenca del río Paratia al año 2015; indicando que la extensión territorial de la capa vegetal de las turberas de la cuenca del río Paratia es de 4.77km², mientras que las demás coberturas vegetales que no competen a las turberas abarcan una extensión territorial de 107.53 km² respectivamente.

Figura 16

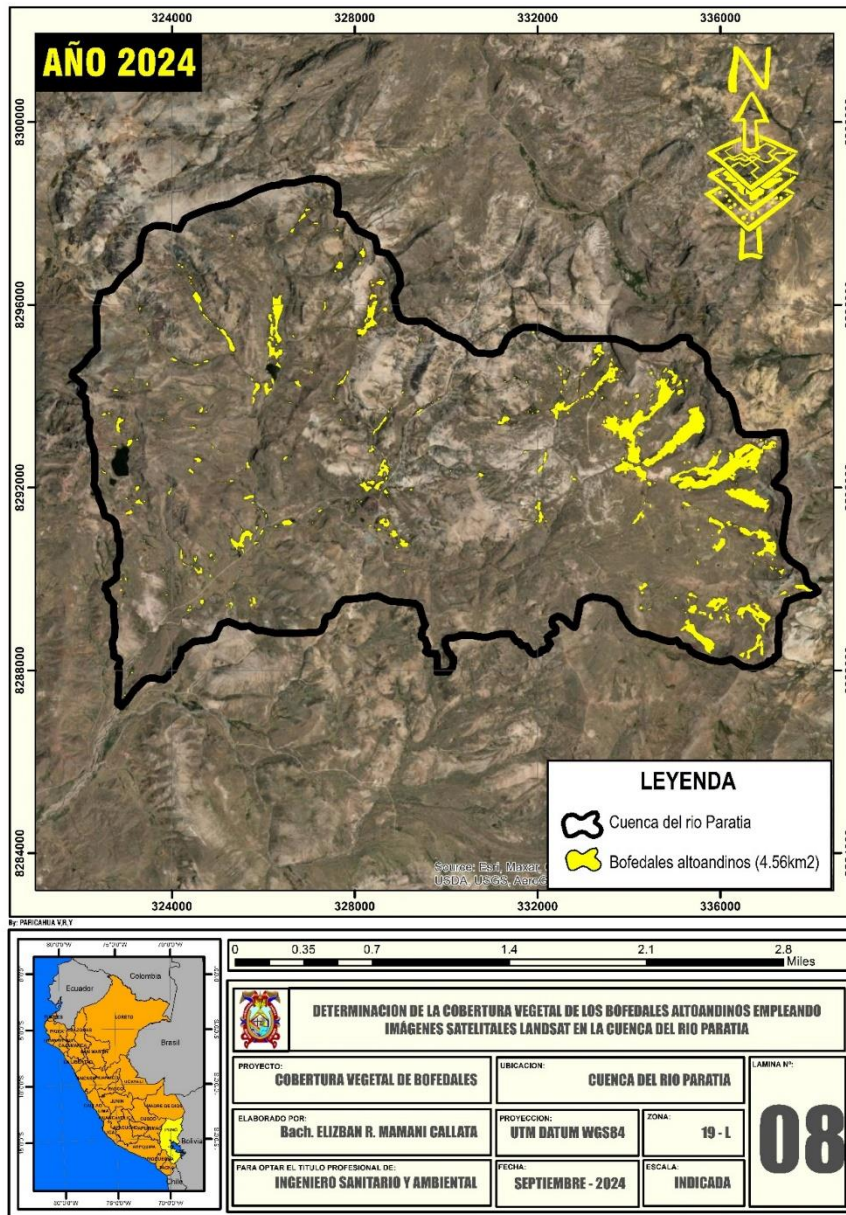
Cobertura vegetal de los bofedales de la cuenca del río Paratia al año 2020



En la figura 16, se exhibe la capa vegetal de las turberas de la cuenca del río Paratia al año 2020; indicando que la extensión territorial de la capa vegetal de las turberas de la cuenca del río Paratia es de 4.81km², mientras que las demás coberturas vegetales que no competen a las turberas abarcan una extensión territorial de 107.49 km² respectivamente.

Figura 17

Cobertura vegetal de los bofedales de la cuenca del río Paratia al año 2024



En la figura 17, se exhibe la capa vegetal de las turberas de la cuenca del río Paratia al año 2024; indicando que la extensión territorial de la capa vegetal de las turberas de la cuenca del río Paratia es de 4.56km², mientras que las demás coberturas vegetales que no competen a las turberas abarcan una extensión territorial de 107.74 km² respectivamente.

b) Frecuencia de cambio de la cobertura vegetal de los bofedales

En la tabla 12, se aprecia la extensión de la capa vegetal de bofedales entre los etapas de 1990 a 2024, indicando que la extensión territorial que abarca la cuenca del río Paratia es de 112.30km² (100%), además al año 1990 la extensión de las turberas abarcaba el 4.98% (5.59km²) de la microcuenca; mientras que al año 1995 abarcaba 4.39% (4.93km²); también al año 2000 abarcaba 4.35% (4.88km²), de igual manera al año 2005 abarcaba 5.27% (5.92km²), así también al año 2010 abarcaba 4.05% (4.55km²), mientras que al año 2015 abarcaba 4.25% (4.77km²), así mismo al año 2020 abarcaba 4.28% (4.81km²), y finalmente al año 2024 abarcaba 4.06% (4.56km²), presentando una tasa de decrecimiento de las turberas del -3.68% respectivamente.

Tabla 12

Extensión de la cobertura vegetal de bofedales entre los periodos de 1990 a 2024 de la cuenca del río Paratia

Cuenca del río Paratia						
Año	Cobertura vegetal de bofedales		Otras coberturas vegetales		Área total	
	km ²	%	km ²	%	km ²	%
1990	5.59	4.98	106.71	95.02	112.30	100.00
1995	4.93	4.39	107.37	95.61	112.30	100.00
2000	4.88	4.35	107.42	95.65	112.30	100.00
2005	5.92	5.27	106.38	94.73	112.30	100.00
2010	4.55	4.05	107.75	95.95	112.30	100.00
2015	4.77	4.25	107.53	95.75	112.30	100.00
2020	4.81	4.28	107.49	95.72	112.30	100.00
2024	4.56	4.06	107.74	95.94	112.30	100.00
T.C. (%)	-3.68	-3.68	-	-	-	-

Nota. (T.C.) Tasa de cambio

c) Indicadores de validación



Para establecer una agrupación fiable, se adquirieron la matriz de clasificación y el índice Kappa (**anexo 1**), que proporcionan métricas de evaluación cuantitativa de la validez y precisión de los diagramas entre los años 1990 y 2024. Los hallazgos se muestran a continuación:

En la tabla 13, se exhibe la validación de mapas mediante el Índice Kappa, indicando que la extensión de las turberas existentes en la cuenca del río Paratia entre los años de 1990 al 2024 tienen una precisión del 96.22% al 99.06%; además presentan valores de 0.9210 a 0.9875 de índice Kappa; es decir, se valida la extensión 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	96.58%	0.9507
1995	96.22%	0.9210
2000	96.55%	0.9561
2005	96.42%	0.9561
2010	97.41%	0.9676
2015	98.10%	0.9751
2020	98.11%	0.9756
2023	99.06%	0.9875

Nota. Datos de precisión Global e Índice de Kappa.



4.1.2. Determinar la relación existente entre la precipitación y temperatura con la superficie de los bofedales altoandinos en la cuenca del río Paratia en el periodo 1990 - 2024

a) Consistencia de la precipitación y temperatura

Para la evaluación de la consistencia de la información de aguacero y temperatura, se recopiló datos de los tiempos más contiguos al área en estudio (Ayaviri, Pucara, Pampahuta, Crucero alto y Cabanillas), realizando el análisis de consistencia para identificar la confiabilidad de los datos obtenidos y ser utilizado en el modelamiento.

En la tabla 14 y 15, se aprecia el análisis de consistencia de la precipitación y temperatura de los tiempos meteorológicos más cercanas a la región en análisis; indicando que los datos obtenidos de precipitación; son consistentes y confiables para ser empleados en el actual estudio; así mismo la información de temperatura también son consistentes.



Tabla 14

Análisis de consistencia de la precipitación de las estaciones meteorológicas más próximas a la cuenca del río Paratia

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 $T_c < T_t$	F_c	F_t	F de Fisher $F_c < F_t$
Ayaviri	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
Pucara	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
Pampahuta	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
Crucero alto	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
Cabanillas	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

Tabla 15

Análisis de consistencia de la temperatura de las estaciones meteorológicas más próximas a la cuenca del río Paratia

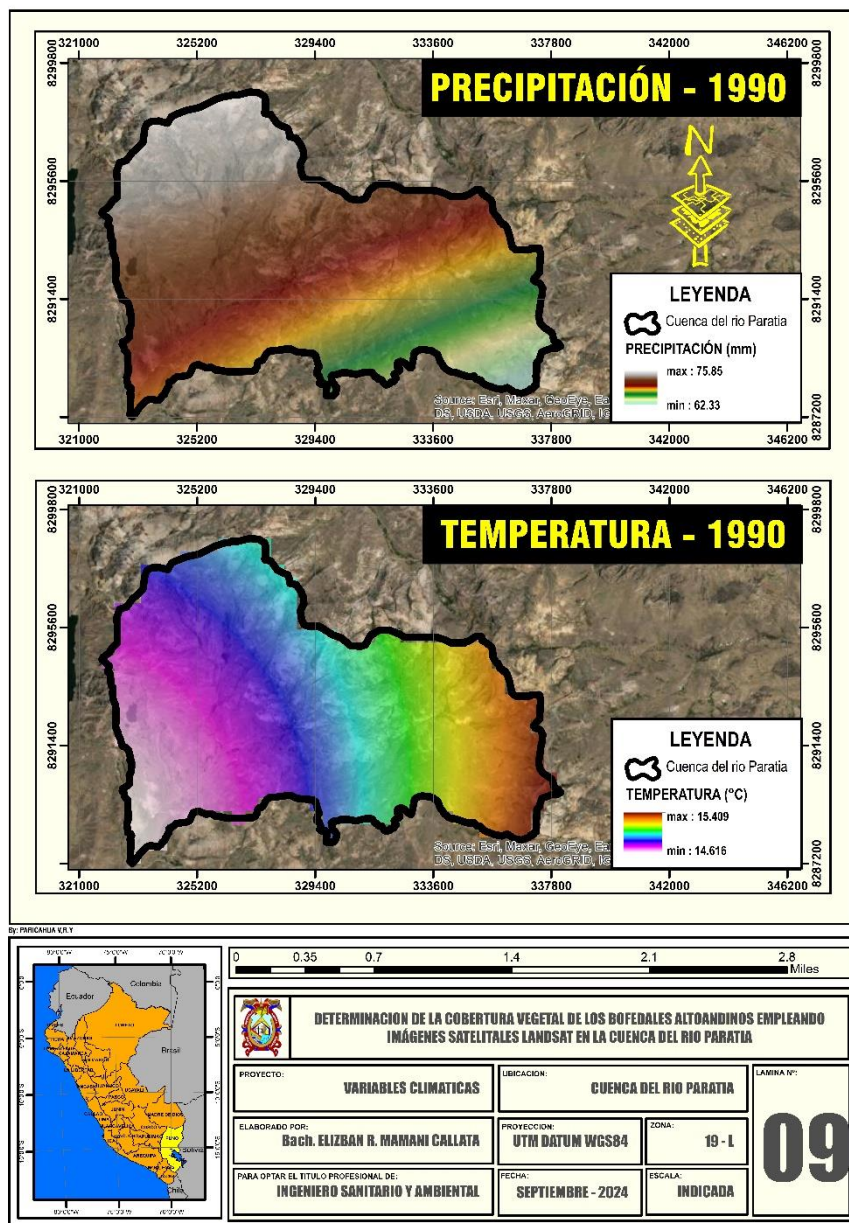
Estación meteorológica	Datos dudosos				Datos confiables				Análisis de consistencia							
	n_1	\bar{x}_1	S_1	GL_1	N_2	X_2	S_2	GL_2	S_p	S_d	T_c	T_t	T de Sudent $T_c < T_t$	F_c	F_t	F de Fisher $F_c < F_t$
Ayaviri	36.00	81.23	90.75	35.00	60.00	65.96	83.16	59.00	86.06	18.14	0.84	1.99	consistente	1.19	1.62	consistente
Pucara	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
Pampahuta	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
Crucero alto	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
Cabanillas	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

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

b) Precipitación y temperatura de la cuenca del río Paratia

Figura 18

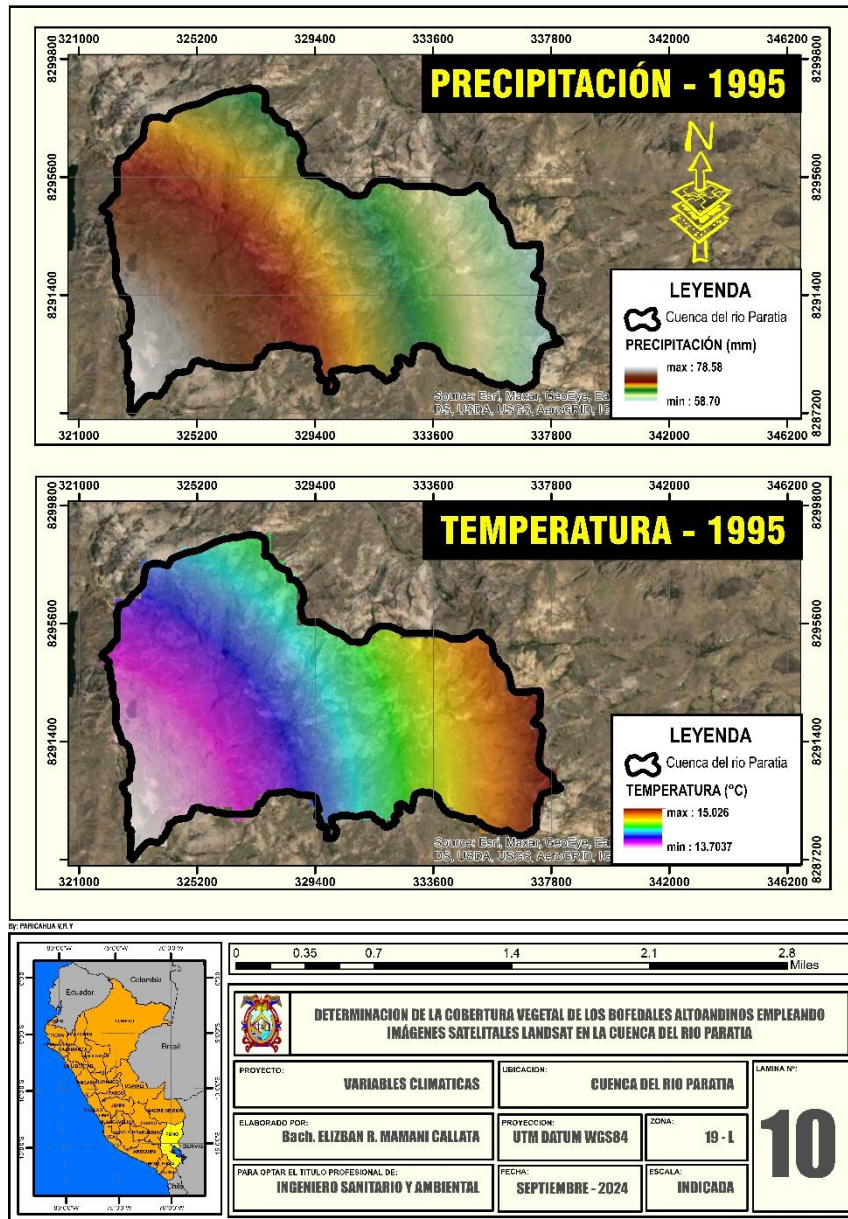
Precipitación y temperatura de la cuenca del río Paratia al año 1990.



En la figura 18, se exhibe la precipitación y grado término de la cuenca del río Paratia al año 1990, indicando que la precipitación fluctúa entre 62.33mm a 75.85mm; mientras que la temperatura fluctúa entre 14.62°C a 15.41°C, respectivamente.

Figura 19

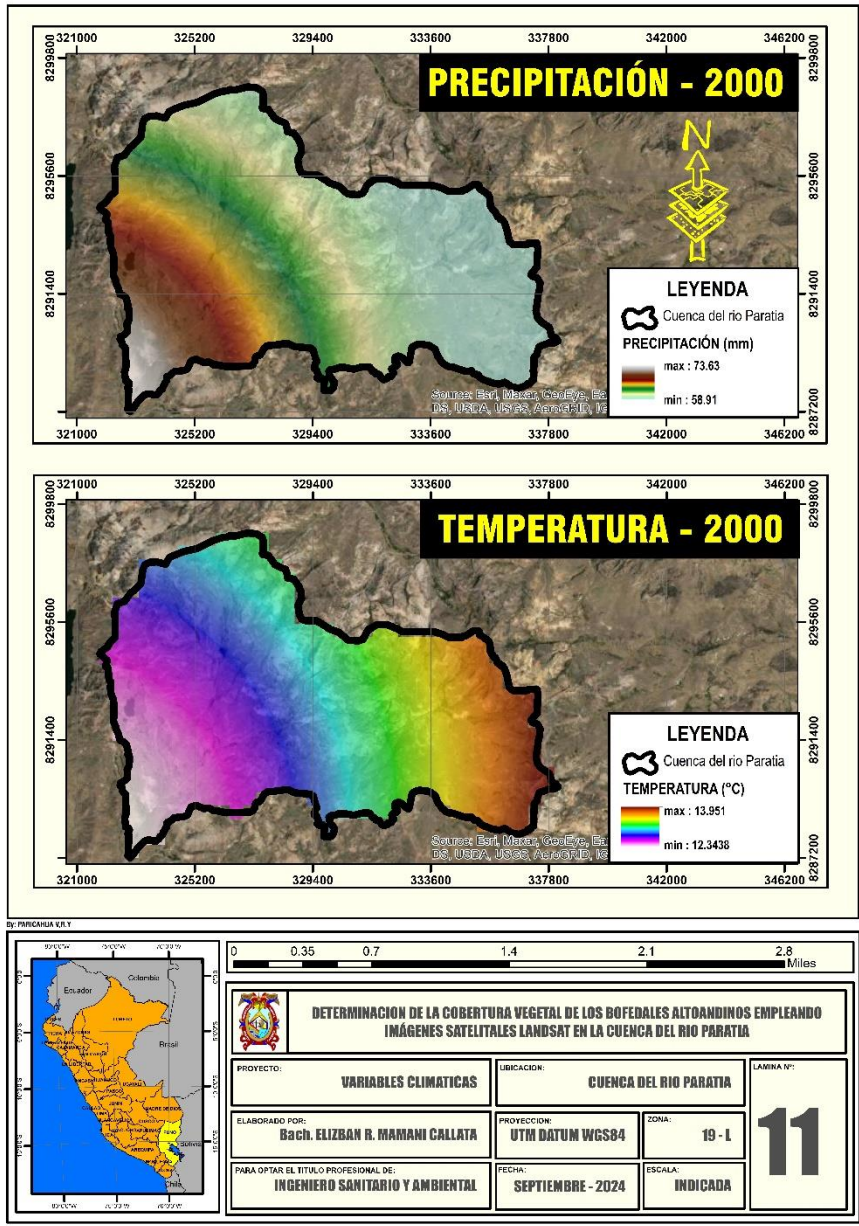
Precipitación y temperatura de la cuenca del río Paratia al año 1995



En la figura 19, se exhibe la precipitación y grado término de la cuenca del río Paratia al año 1995, indicando que la precipitación fluctúa entre 58.70mm a 78.58mm; mientras que la temperatura fluctúa entre 13.70°C a 15.03°C, respectivamente.

Figura 20

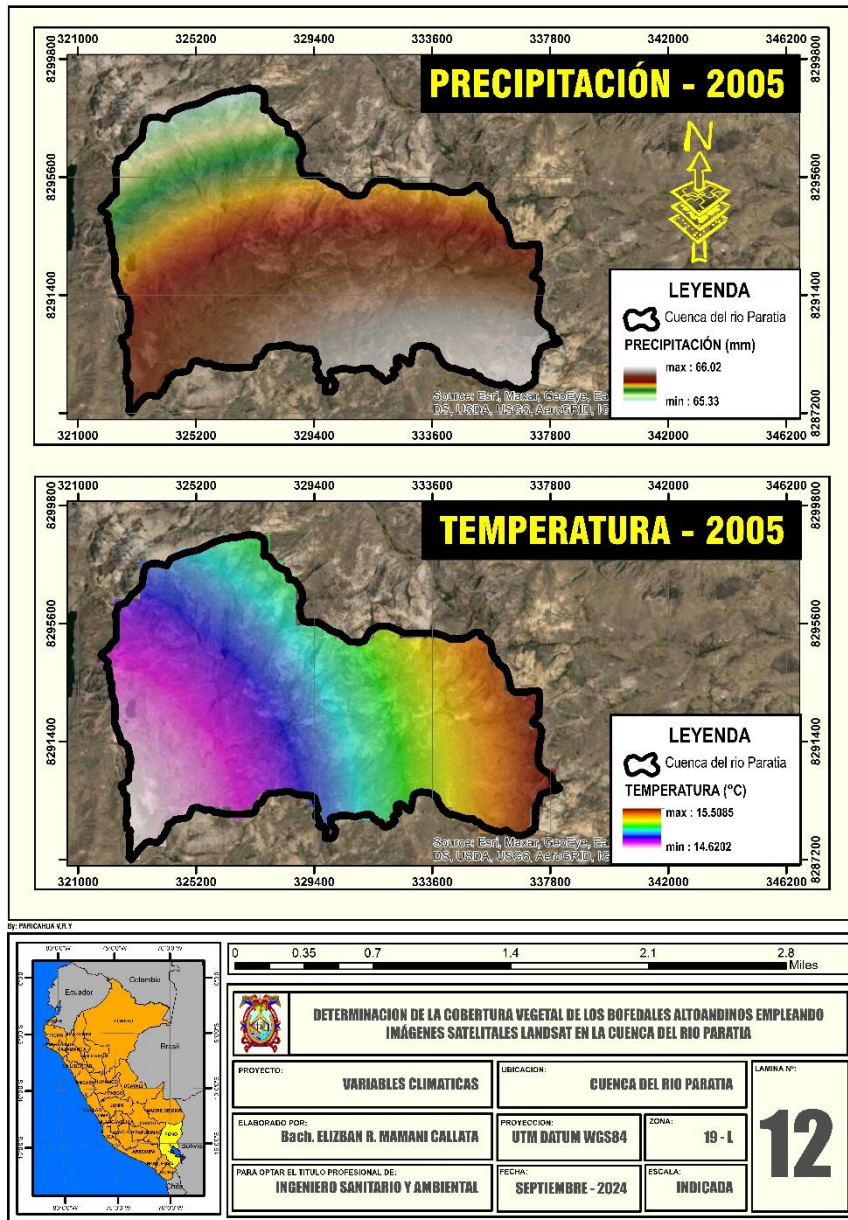
Precipitación y temperatura de la cuenca del río Paratia al año 2000



En la figura 20, se exhibe la precipitación y grado término de la cuenca del río Paratia al año 2000, indicando que la precipitación fluctúa entre 58.91mm a 73.63mm; mientras que la temperatura fluctúa entre 12.34°C a 13.95°C, respectivamente.

Figura 21

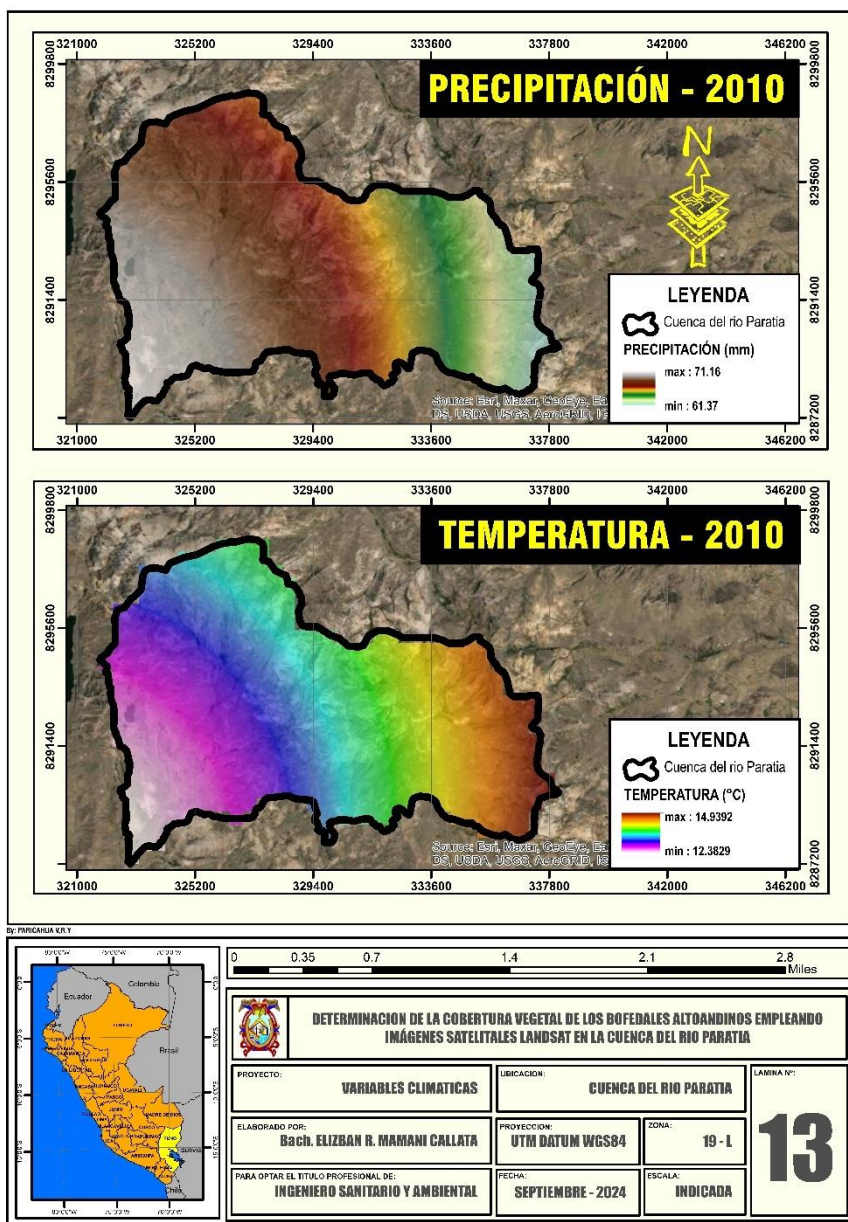
Precipitación y temperatura de la cuenca del río Paratia al año 2005



En la figura 21, se exhibe la precipitación y grado término de la cuenca del río Paratia al año 2005, indicando que la precipitación fluctúa entre 65.33mm a 66.02mm; mientras que la temperatura fluctúa entre 14.62°C a 15.51°C, respectivamente.

Figura 22

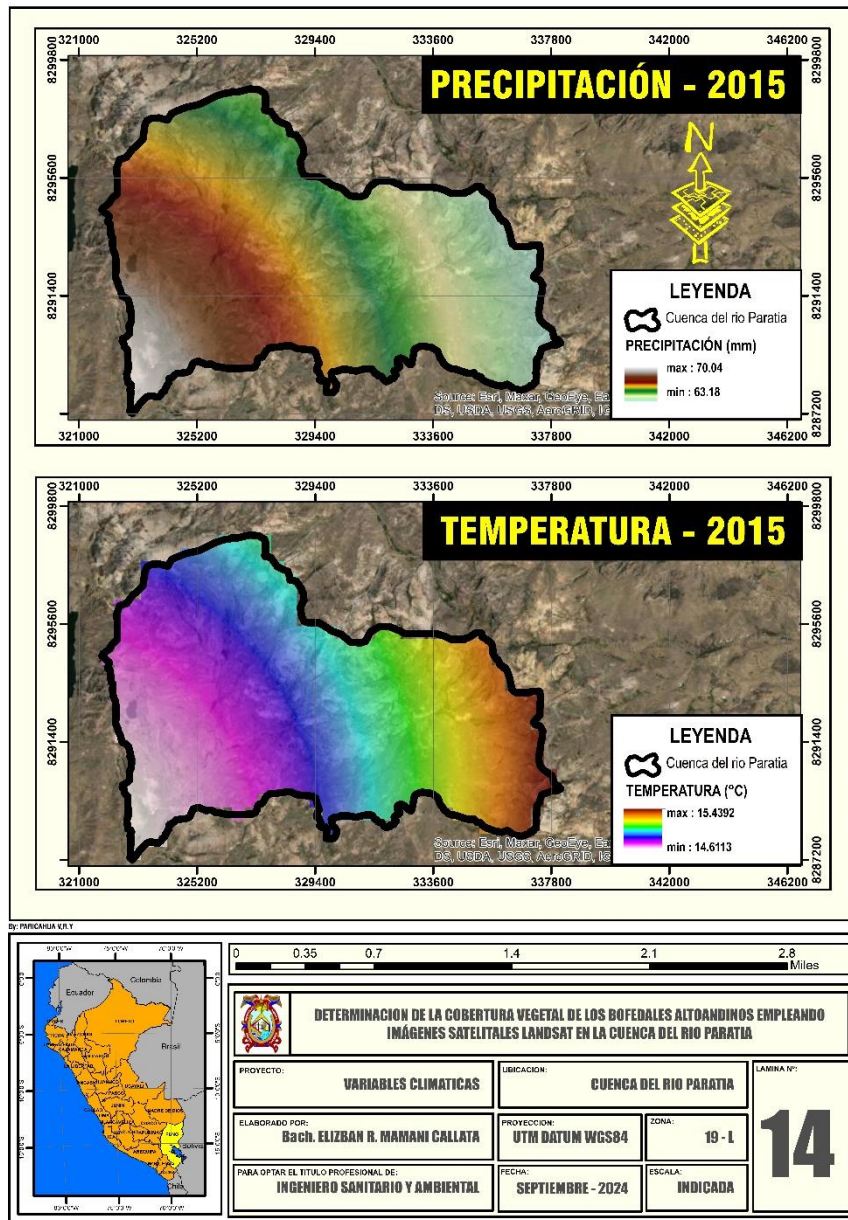
Precipitación y temperatura de la cuenca del río Paratia al año 2010



En la figura 22, se exhibe la precipitación y grado término de la cuenca del río Paratia al año 2010, indicando que la precipitación fluctúa entre 61.37mm a 71.16mm; mientras que la temperatura fluctúa entre 12.38°C a 14.94°C, respectivamente.

Figura 23

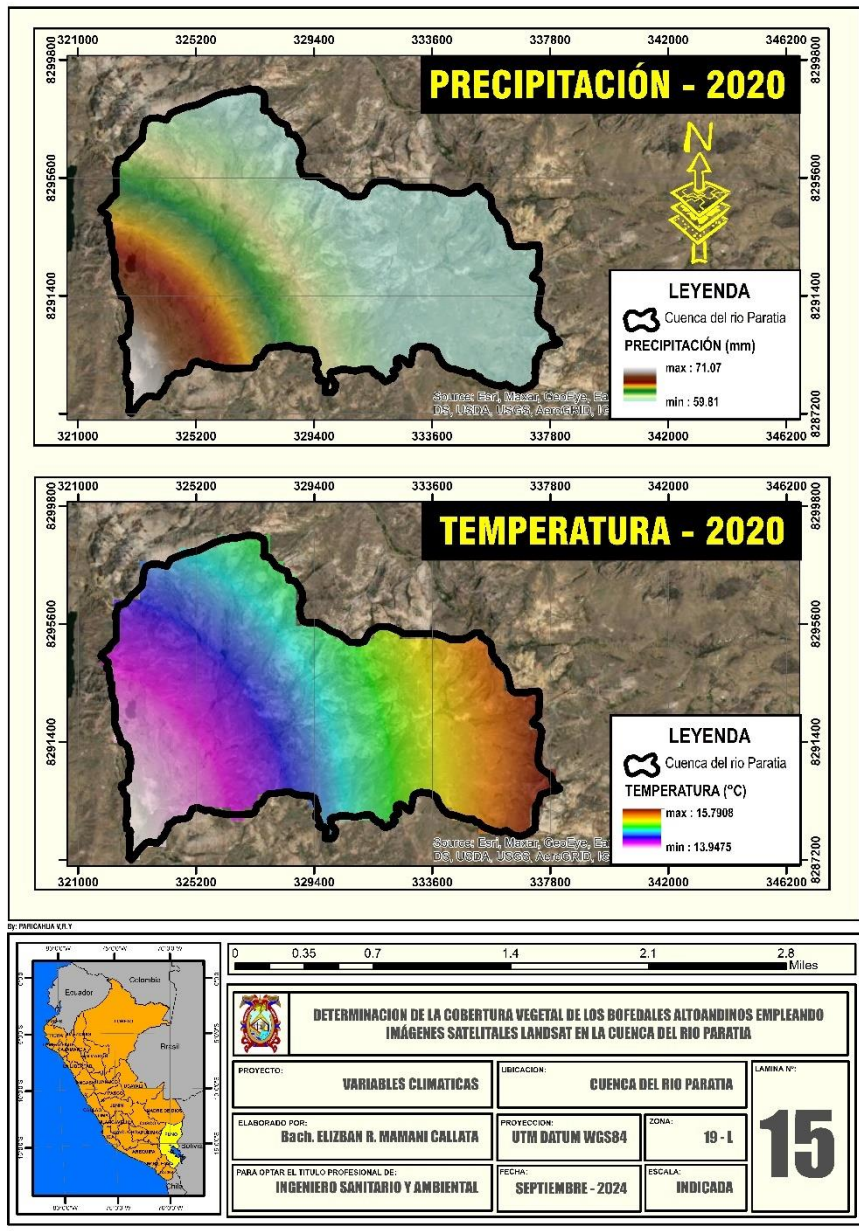
Precipitación y temperatura de la cuenca del río Paratia al año 2015



En la figura 23, se exhibe la precipitación y grado término de la cuenca del río Paratia al año 2015, indicando que la precipitación fluctúa entre 63.18mm a 70.04mm; mientras que la temperatura fluctúa entre 14.61°C a 15.44°C, respectivamente.

Figura 24

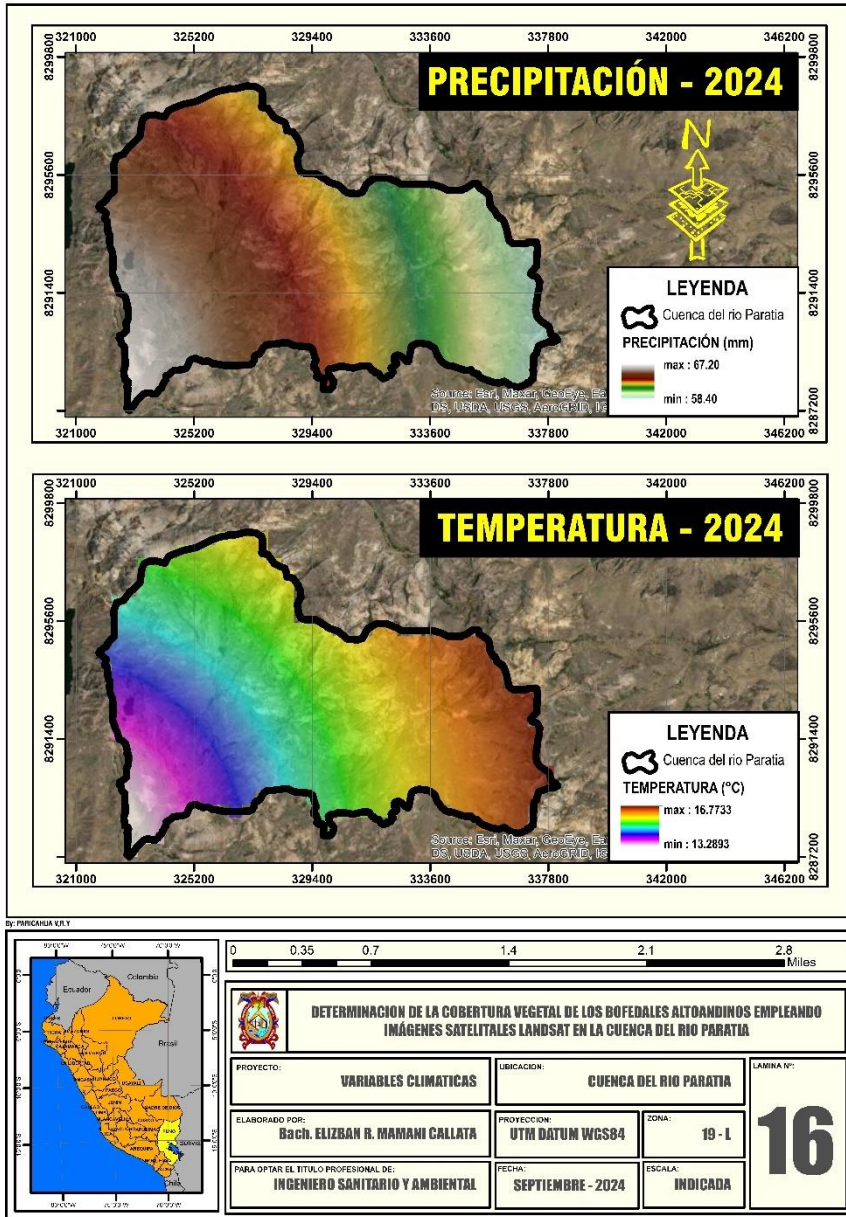
Precipitación y temperatura de la cuenca del río Paratia al año 2020



En la figura 24, se exhibe la precipitación y grado término de la cuenca del río Paratia al año 2020, indicando que la precipitación fluctúa entre 59.81mm a 71.07mm; mientras que la temperatura fluctúa entre 13.95°C a 15.79°C, respectivamente.

Figura 25

Precipitación y temperatura de la cuenca del río Paratia al año 2024



En la figura 25, se exhibe la precipitación y grado término de la cuenca del río Paratia al año 2024, indicando que la precipitación fluctúa entre 58.40mm a 67.20mm; mientras que la temperatura fluctúa entre 13.29°C a 16.77°C, respectivamente.

En la tabla 16, se aprecia el resumen de la precipitación y grado término de la cuenca del río Paratia – periodo 1990 al 2024; indicando que presentan una precipitación promedio de 51.64mm a 76.11mm; además una temperatura promedio entre 13.15 a 15.07°C

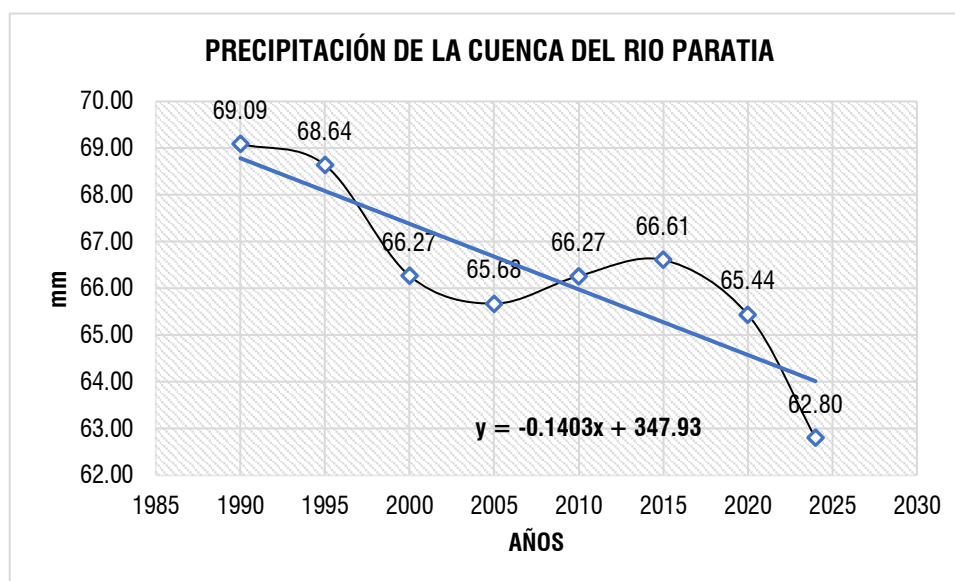
Tabla 16

Precipitación y temperatura de la cuenca del río Paratia – periodo 1990 al 2024

Año	Precipitación (mm)			Temperatura (°C)		
	min.	max.	media	min.	max.	media
1990	62.33	75.85	69.09	14.62	15.41	15.02
1995	58.70	78.58	68.64	13.70	15.03	14.37
2000	58.91	73.63	66.27	12.34	13.95	13.15
2005	65.33	66.02	65.68	14.62	15.51	15.07
2010	61.37	71.16	66.27	12.38	14.94	13.66
2015	63.18	70.04	66.61	14.61	15.44	15.03
2020	59.81	71.07	65.44	13.95	15.79	14.87
2024	58.40	67.20	62.80	13.29	16.77	15.03

Figura 26

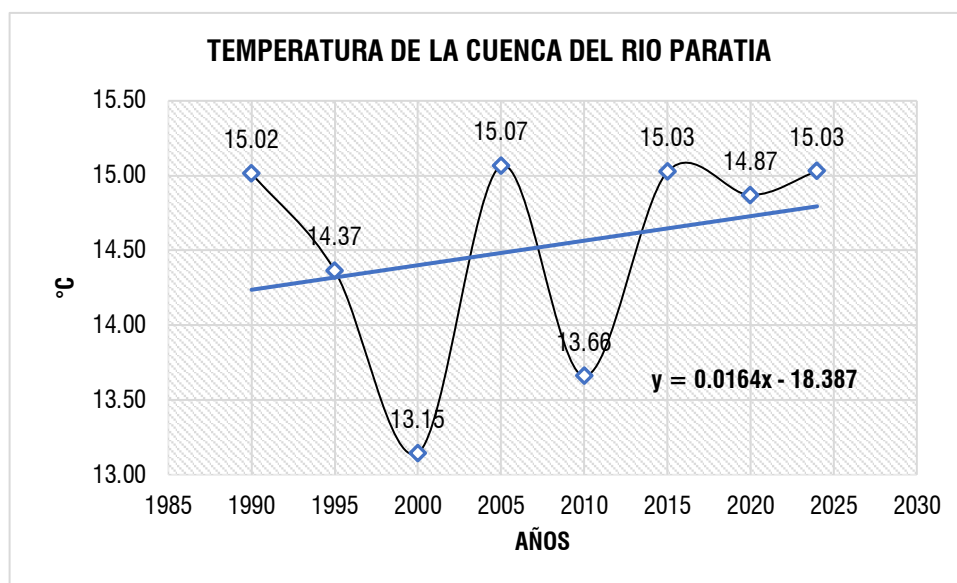
Tendencia de la precipitación de la cuenca del río Paratia – periodo 1990 al 2024



En la figura 26, se exhibe la tendencia de la precipitación de la cuenca del río Paratia – periodo 1990 al 2024, indicando que presenta una tendencia de decrecimiento de la precipitación en la cuenca del río Paratia para los periodos evaluados respectivamente.

Figura 27

Tendencia de la temperatura de la cuenca del río Paratia – periodo 1990 al 2024

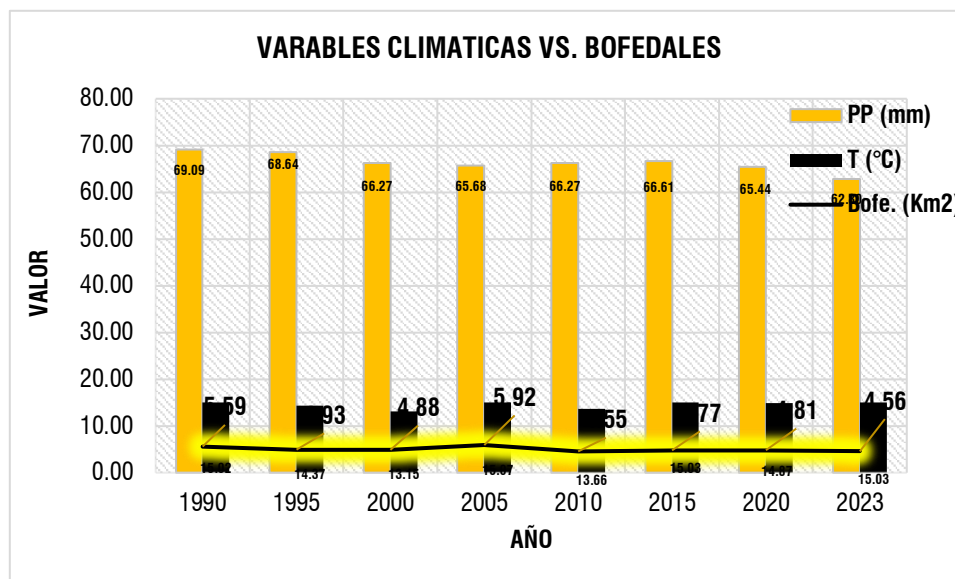


En la figura 27, se exhibe la tendencia de la temperatura de la cuenca del río Paratia – periodo 1990 al 2024, indicando que presenta una tendencia de crecimiento del grado término en la cuenca del río Paratia para los periodos evaluados respectivamente.

c) Relación de la precipitación y grado término con la superficie de las Turberas altoandinos

Figura 28

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



En la figura 28, se exhibe relación de la precipitación y grado térmico con la extensión de las turberas, indicando que mientras la precipitación disminuye la extensión de las turberas también disminuye; constatando una relación proporcional; además mientras que el grado térmico aumenta la extensión de las turberas disminuye, constatando una relación inversamente proporcional respectivamente.

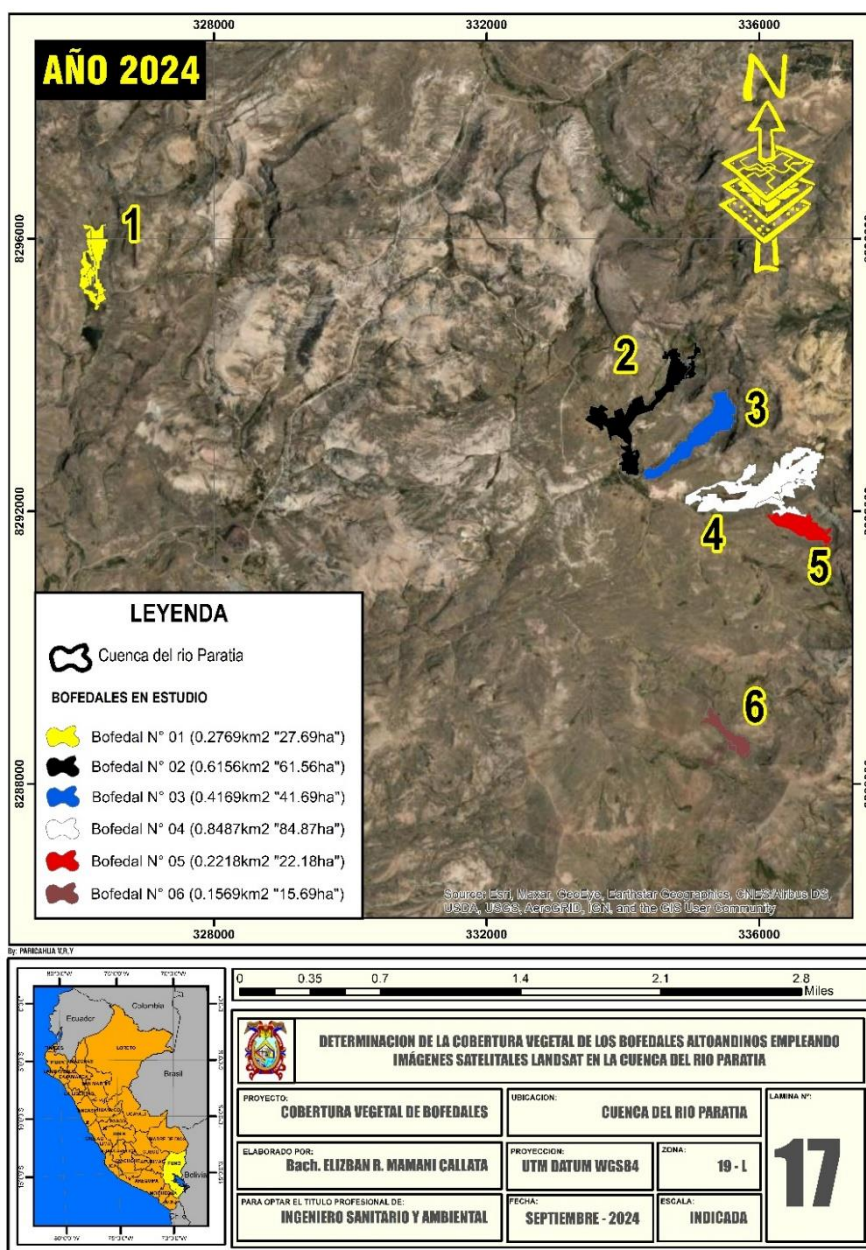
Ante ello en los últimos 30 años en la cuenca del río Paratia hay disminución de la precipitación y aumento en la temperatura que es el primordial causante de la Pérdida de extensión de las turberas.

4.1.3. Determinar el estado de los bofedales altoandinos de la cuenca del río Paratia

Se ha tomado en consideración 6 bofedales, siendo los que presentan mayor extensión territorial para determinar el estado de las turberas altoandinos de la cuenca del río Paratia

Figura 29

Bofedales en estudio de la cuenca del río Paratia



En la figura 29, se estima que las turberas en estudio de la cuenca del río Paratia, indicando que el bofedal N° 01, presenta una extensión territorial de 27.69km²; mientras que el bofedal N° 02, presenta una extensión territorial de 61.56km², además el bofedal N° 03, presenta una extensión territorial de 41.69km², así como también el bofedal N° 04, presenta una extensión territorial de 84.87km², de igual forma el bofedal N° 05, presenta una extensión territorial de 22.18km², y finalmente con respecto al bofedal N° 06, presenta una extensión territorial de 15.69km², respectivamente.

a. Condición del agua

En la tabla 17, se aprecia los atributos e indicadores de condición del agua, indicando que, de los 6 bofedales evaluados, presentan una profundidad de la napa freática promedio entre 4.25cm a 20.52cm; representando en un puntaje 10.30, 20.5 y 30.8 respectivamente; mientras que la capacidad de conductividad eléctrica fluctúa entre 0.12 $\mu\text{S/cm}$ a 0.29 $\mu\text{S/cm}$, representando en un puntaje 8.8.

Tabla 17

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

Bofedal	Condición del agua			
	Napa freática (cm)		Conductividad eléctrica ($\mu\text{S/cm}$)	
	Valor	Puntaje	Valor	Puntaje
1	5.27	20.5	0.29	8.8
2	6.58	20.5	0.13	8.8
3	8.65	20.5	0.14	8.8
4	4.25	30.8	0.28	8.8
5	6.94	20.5	0.27	8.8
6	20.52	10.3	0.12	8.8

b. Condición del suelo

En la tabla 18 y 19, se aprecian los atributos e indicadores de condición del agua, indicando que, de los 6 bofedales evaluados, presentan una profundidad de la turba promedio entre 145.36cm a 213.53cm; representando en un puntaje de 6.1 y 9.2 respectivamente; mientras que la materia orgánica fluctúa entre 38.22% a 54.96%, representando en un puntaje de 3; así mismo la densidad aparente fluctúa entre 0.24g/cm³ a 0.58g/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 18

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	180.36	6.1	38.22	3
2	196.54	6.1	41.32	3
3	145.36	6.1	39.42	3
4	213.53	9.2	53.24	3
5	185.42	6.1	49.67	3
6	183.57	6.1	54.96	3

Tabla 19

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	0.32	1.2	B	1.90
2	0.58	1.2	B	1.90
3	0.47	1.2	B	1.90
4	0.24	2.3	A	2.90
5	0.59	1.2	C	1.00
6	0.58	1.2	C	1.00

c. Condición de la biota

En la tabla 20 y 21, se aprecia los atributos e indicadores de condición de la biota indicando que, de los 6 bofedales evaluados, presentan un porcentaje de especies nativas promedio entre 61% a 79%; representando en un puntaje de 5.8 respectivamente; mientras que la riqueza de especies fluctúa entre 6 a 8 especies, representando en un puntaje de 1 y 2.1; así mismo el porcentaje de cobertura vegetal está al 82 y 96% representando en un puntaje de 1 y 3; y finalmente la biomasa fluctúa entre 605.00 kg MS/ha a 1265.00 kg MS/ha, representando en un puntaje de 1.7, 3.4 y 5.1.

Tabla 20

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

Bofedal	Condición de la biota			
	Especies nativas (%)		Riqueza de especies (transecto)	
	Valor	Puntaje	Valor	Puntaje
1	65.00	5.8	6.00	1
2	67.00	5.8	7.00	1
3	75.00	5.8	7.00	1
4	68.00	5.8	8.00	2.1
5	79.00	5.8	7.00	1
6	61.00	5.8	7.00	1

Tabla 21

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	85.00	1	675.00	3.4
2	82.00	1	730.00	3.4
3	85.00	1	665.00	3.4
4	96.00	2	1265.00	5.1
5	83.00	1	605.00	1.7
6	88.00	1	765.00	3.4

d. Alteración del paisaje

En la tabla 22, se aprecia los atributos e indicadores de la alteración del paisaje, indicando que, de los 6 bofedales evaluados, presentan existencia de elementos de degradación entre rangos de A, B y C; representando en un puntaje de 2.7 y 5.3 y 8.0 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 22

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	B	5.30
2	C	2.70	C	2.70
3	B	5.30	B	5.30
4	A	8.00	A	8.00
5	C	2.70	C	2.70
6	B	5.30	B	5.30



En la tabla 23, se aprecia los valores relativos de propiedades e indicadores del ambiente bofedal; indicando que el bofedal N° 1 y 3, presentan un puntaje total de 63.30; caracterizado como un estado de bofedal BUENO; mientras que el bofedal N° 2, 5 y 6, presenta un puntaje total de 55.50, 52.20, 58.10; caracterizados igualmente como un estado de bofedal REGULAR; así mismo el bofedal N° 4, presentan un puntaje total de 88.00, caracterizado como un estado de bofedal MUY BUENO; así mismo según la evaluación realizada, se determinó tales estados, debido a que el estudio se realizó en época de estiajes (sequias); mas no en temporada de avenidas (lluvias).



Tabla 23

Valores relativos de atributos e indicadores del ecosistema bofedal

		Valores relativos de atributos e indicadores del ecosistema bofedal					
Atributos	Indicadores	Valor relativo (Numero de bofedales)					
		1	2	3	4	5	6
Condición del agua	Acuífero en estación seca (cm)	20.5	20.5	20.5	30.8	20.5	10.3
	Propiedad conductiva (µS/cm)	8.8	8.8	8.8	8.8	8.8	8.8
Condición del suelo	Altura de turba (cm)	6.1	6.1	6.1	9.2	6.1	6.1
	Sustrato orgánico (%)	3	3	3	3	3	3
	Densidad volumétrica (g/cm ³)	1.2	1.2	1.2	2.3	1.2	1.2
	Evidencia de erosión (cualitativo)	1.90	1.90	1.90	2.90	1.00	1.00
Condición de la biota	Especies locales (%)	5.8	5.8	5.8	5.8	5.8	5.8
	diversidad de especies (n.º especies / área)	1	1	1	2.1	1	1
	Capa vegetal viva (%)	1	1	1	2	1	1
	Biomasa aérea (kg MS/ha)	3.4	3.4	3.4	5.1	1.7	3.4
Alteraciones en el paisaje	Existencia de componentes de degradación (cualitativo)	5.30	2.70	5.30	8.00	2.70	5.30
	Conectividad hidrológica de la turbera (cualitativo)	5.30	2.70	5.30	8.00	2.70	5.30
Puntaje total		63.30	58.10	63.30	88.00	55.50	52.20
Estado del bofedal		BUENO	REGULAR	BUENO	MUY BUENO	REGULAR	REGULAR

4.2. Discusión

4.2.1. Para el objetivo específico N° 1

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 las turberas; 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; atribuyéndose 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 preservación y restauración de las turberas; 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 la regresión glaciar del nevado Huaytapallana tiene un impacto significativo en la extensión de las turberas, ampliando así su extensión dentro del espacio 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 extensión de bofedal de 1990 a 2021 (629,01 ha y 551,07 ha, respectivamente), con una índice de variación anual de -0,42%, lo que simboliza



2,68 ha por año. Esto sugiere que se están desarrollando propuesta e iniciativas para la conservación del 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 las turberas en la microcuenca Acocancha-Lima entre 2013 y 2019; como resultado, es imperativo restaurar y preservar las turberas, que sirven como la primordial 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 calentamiento global, ya que estos factores tienen un impacto en los atributos clave de las turberas y su capacidad para suministrar servicios de los ecosistemas, incluyendo la función más crucial de proporcionar recursos hídricos, el secuestro de carbono, la fauna, la flora y el paisaje.

4.2.2. Para el objetivo específico N° 2

Estos resultados con respecto a García (2021), presentan cierta similitud, indicando que en el periodo evaluado de 8 años se presentó 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 grados térmicos y disminución de la precipitación); sugiriendo que se lleven a cabo esfuerzos de conservación y restauración en las turberas para preservar la prestación de servicios ecosistémicos esenciales en las áreas de recarga de



agua, preservar la sostenibilidad ambiental de la región en estudio y atenuar el efecto del cambio climático en las turberas. "

Además, referente al análisis efectuado por Toribio (2023), presentan aspectos comparables; en el cual indica que la extensión de las turberas con las precipitaciones reveló una dirección de crecimiento en la cantidad y el área total promedio de bofedales, correlacionándose positivamente con las magnitudes de lluvias; todo ello es corroborado por Pamo (2022), donde indica que Las variaciones en precipitación y temperatura tienen un fuerte efecto en la vegetación de las turberas, acelerando los procesos de degradación, especialmente; finalmente con respecto al estudio realizado por Gutierrez (2018), también indican que la extensión de las turberas reduce o, en algunos casos, desaparece a medida que aumenta la grado térmico máxima anual, y que la extensión de las turberas aumenta a medida que aumentan las precipitaciones. Estas conclusiones sugieren que el cambio climático es uno de Los aspectos que condicionan el comportamiento de las turberas.

4.2.3. Para el objetivo específico N° 3

Dichos hallazgos obtenidos 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 extensión 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 curso de conservación de las turberas 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 las turberas 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 las turberas en la microcuenca de Acocancha-Lima se encuentran en un estado regular; por ello ee requiere recuperar y salvaguardar las turberas, ya que representan la principal fuente hídrica para los habitantes de Huaros, así como para el río Chillón.



CONCLUSIONES

PRIMERA: El cambio histórico multitemporal de la extensión de los bofedales de la cuenca del río Paratia presenta una tasa de decrecimiento de -3.68%; siendo indicativo de que la extensión de los bofedales está en disminución entre los periodos de 1990 al 2024.

SEGUNDA: La precipitación presenta una relación proporcional frente a la extensión de los bofedales; por que a medida que la lluvia disminuye la extensión de los bofedales también disminuye; además con respecto a la temperatura existe una relación inversamente proporcional frente a la extensión de los bofedales; por que a medida que la temperatura aumenta, la extensión de los bofedales disminuye.

TERCERA: El estado de los Bofedales de la cuenca del río Paratia están en un estado regular, bueno y muy bueno; siendo el principal indicativo de que los bofedales estén en estado regular, el sobrepastoreo, modificación climática y del 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 el bofedal que se encuentran en estado muy bueno, no presenta ninguna actividad antrópica.



RECOMENDACIONES

- PRIMERA:** Se recomienda realizar indagaciones para de delimitación de los bofedales que se presentan en las cuencas de la región y del país y que por sus características son complicados de delimitar, por ende, también divulgar la ejecución de planes de conservación.
- SEGUNDA:** Se recomienda a las autoridades municipales implementar las estrategias de conservación de bofedales altoandinos propuestos (zanjas de infiltración y reforestación con especies nativas) las cuales ayudaran a su preservación y la sostenibilidad en la cuenca del rio Paratia.
- TERCERA:** Se recomienda que este trabajo de investigación sirva de base para futuros estudios cuyo objetivo sea el estudio de los bofedales de las cuencas de la región y de la nación. Adicionalmente, se prevé que terceros utilicen este trabajo como punto de partida y lo complementen con sus propios aportes, dado el respaldo científico y el uso de la teledetección y los SIG mediante el tratamiento de datos raster y vectoriales.
- CUARTA:** Se recomienda seguir investigando con métodos de teledetección para identificar posibles situaciones futuras que nos permitan gestionar adecuadamente la ecología de los bofedales altoandinos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aduvire, O., & Aduvire, H. (2021). Diagnóstico y rehabilitación de bofedales afectados por pasivos ambientales mineros. *Revista de Medio Ambiente y Minería*, 17 - 25.
- 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.
- Cabrera, E., & Vega, J. (2022). *Análisis del retroceso glaciar en los andes del norte del Ecuador durante un período de 30 años empleando teledetección*. Ibarra: Universida Tecnica del Norte.
- Castro, J. (2021). *Variación de cobertura vegetal de los bofedales en los centros poblados de Tinyaclla y Pueblo Libre en los años 2016-2018- Huancavelica*. Huancavelica: Universidad Nacional de Huancavelica.
- 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 rio Cachi*. Ayacucho: Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga .
- Córdova Baldeón, I. (2018). *"Instrumentos de investigación"*. Lima: San Marcos de Aníbal Jesús Paredes Galván.
- 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.
- 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.
- 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 .



- Granada, N., & Olave, J. (2023). *Análisis multitemporal de cambios en la cobertura vegetal y en el espejo de agua del Humedal Laguna de la Herrera entre 1962, 2019 y 2023*. Bogotá: Universidad Antonio Nariño.
- Gutierrez, Y. (2018). *Determinación de la dinámica espacial de bofedales mediante imágenes satelitales landsat frente a escenarios del cambio climático en la cuenca del río coata durante el período de 1984-2016*. Puno: Universidad Nacional del Altiplano de Puno.
- Hernandez, R., & Fernandez, C. (2018). *Metodología de la Investigación*. Mexico: McGrawHill Education.
- Imbaquingo, J. (2021). *Monitoreo de bofedales en la subcuenca del río chambo mediante el análisis multicriterio usando imágenes satelitales landsat 8 para el periodo 2013-2020*. Riobamba: Escuela superior politecnica de chimborazo.
- Imbaquingo, J. (2021). *Monitoreo de bofedales en la subcuenca del río Chambo mediante el análisis multicriterio usando imágenes satelitales Landsat 8 para el periodo 2013-2020*. Riobamba : Escuela Superior Politecnica del Chimborazo .
- 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 teledetección*, 1 - 14.

Javier, L., Portal, E., & Alcantara, F. (2021). Evaluación de la cobertura vegetal en bofedales altoandinos en función de la napa freática y precipitación utilizando imágenes de satélite. *Universidad Nacional Mayor de San Marcos*, 1 - 8.

Justo, L. (2023). *Influencia de la precipitación y la temperatura sobre la variabilidad espacio temporal de las superficies de los bofedales de Huanza, Huarochiri durante el período 1986-2022*. Lima: Universidad Privada del Norte.

Lacho, R. (2018). *Análisis multitemporal de las variaciones superficiales de glaciares y bofedales debido a la precipitación en la cuenca Callancocha en el departamento de Huancavelica*. Huancayo: Universidad Alas Peruanas.

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.



- Mejía. (2005). *Técnicas e instrumentos de investigación*. Lima: Centro de producción editoriale imprenta de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
- MINAM. (2019). *Guía de evaluación del estado del ecosistema bofedal*. Lima: Ministerio del Ambiente.
- MINAM. (2019). *Guía de evaluación del estado del ecosistema de bofedal*. Lima: Ministerio del Ambiente.
- MINAM. (2020). *Memoria descriptiva del mapa de cobertura vegetal del*. 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 sabías de los bofedales*. Lima: GIDAHATARI.
- 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, 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., & Oscoco, 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.
- Subia, Y. (2020). Multitemporal analysis of vegetation cover and land use change in Bahuaja Sonene national park and its buffer zone. *Uniciencia*, 1 - 10.



- Tafur, M. (2017). *Variación de la cobertura vegetal boscosa del santuario histórico bosque de Pomac - Shbp, del año 2008 al año 2015*. Lambayeque: Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo.
- Toribio, S. (2023). *Análisis del efecto espacio - temporal del retroceso glaciar del nevado Huaytapallana en los bofedales del Área de Conservación Regional Huaytapallana en el periodo de 1990 –2020, Junín – 2022*. Huancayo: Universidad Continental.
- Toribio, S. (2023). *Análisis del efecto espacio - temporal del retroceso glaciar del nevado Huaytapallana en los bofedales del Área de Conservación Regional Huaytapallana en el periodo de 1990 –2020, Junín – 2022*. Huancayo: Universidad continental.
- Villón, M. (2005). *Hidrología estadística*. Lima-Peru: Instituto Tecnológico de Costa Rica - Escuela de ingeniería Agrícola.
- Wang, M., Mao, D., Wang, Y., Li, H., Zheng, J., Xiang, H., . . . Zongming, K. (2024). Cambios interanuales de los humedales urbanos en las principales ciudades de China de 1985 a 2022. *Revista ISPRS de fotogrametría y teledetección*, 383 - 397.
- 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.

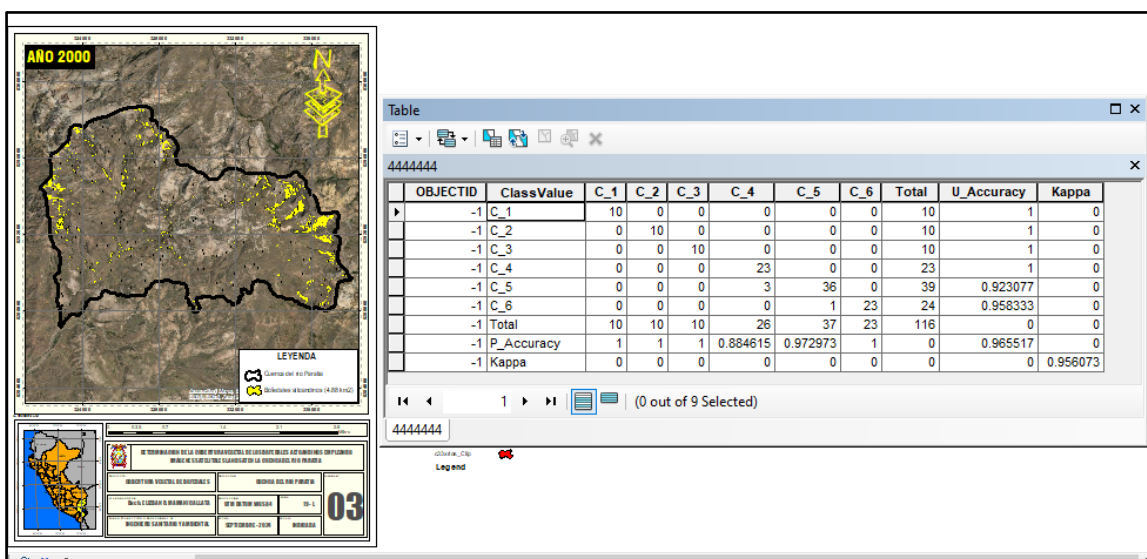
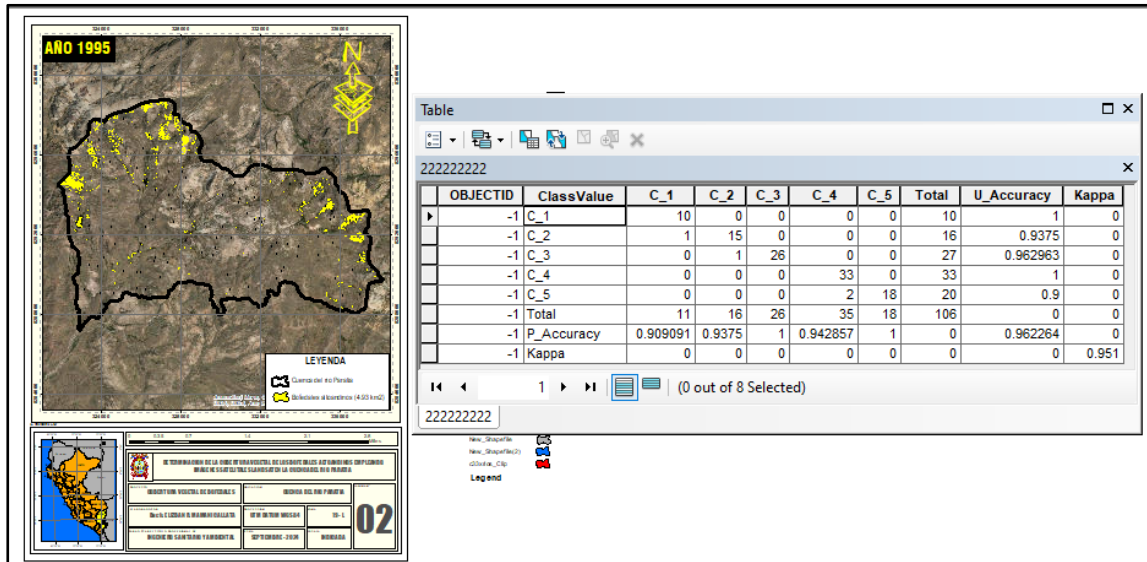
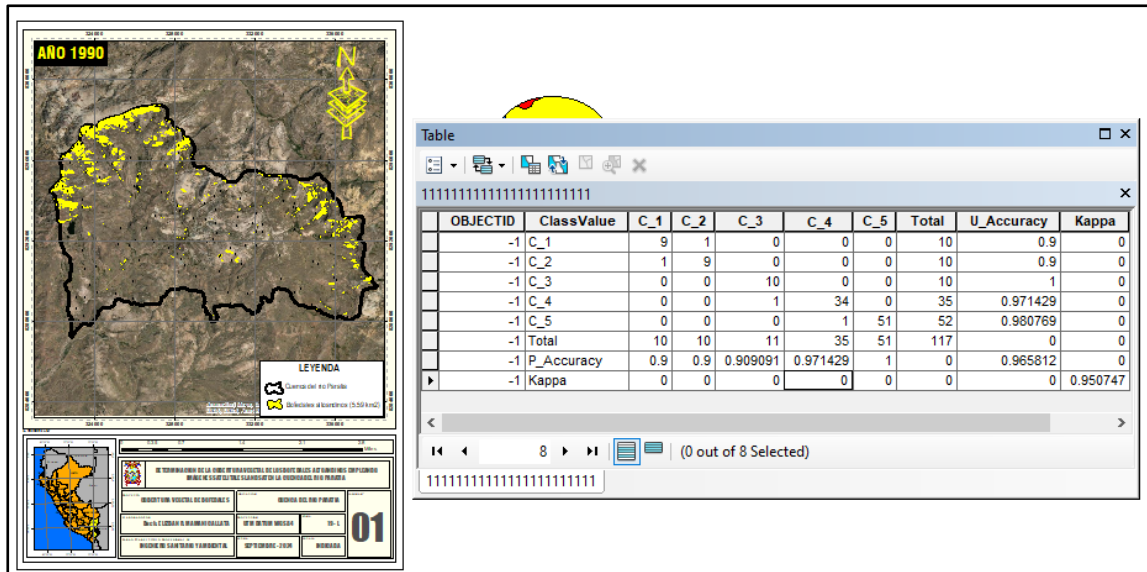


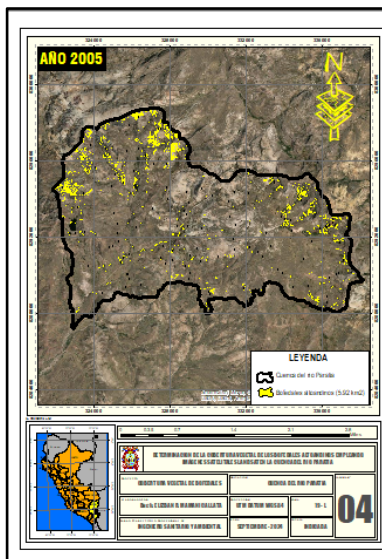
ANEXOS

Anexo 1. Matriz de consistencia

PROBLEMA	OBJETIVO	HIPÓTESIS	VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADOR	UND	METODOLOGIA
<p>General</p> <p>¿Cuánto es la cobertura vegetal de los bofedales altoandinos empleando imágenes satelitales Landsat en la cuenca del río Paratia?</p>	<p>General</p> <p>Determinar la cobertura vegetal de los bofedales altoandinos empleando imágenes satelitales Landsat en la cuenca del río Paratia</p>	<p>General</p> <p>La cobertura vegetal de los bofedales altoandinos va en descenso por el cambio climático mediante la aplicación de imágenes satelitales en la cuenca del río Paratia</p>	<p>Independiente</p> <p>Imágenes satelitales</p>	<p>Periodo de análisis de la cobertura vegetal de bofedales</p>	<p>Año 1990 al año 2024</p>	<p>---</p>	<p>Diseño de investigación</p> <p>No experimental</p> <p>Tipo de investigación</p> <p>Aplicativo</p> <p>INSTRUMENTOS:</p> <p>- Imágenes satelitales Landsat</p>
<p>Específicas</p> <p>¿Cuál es el cambio histórico multitemporal de los bofedales altoandinos empleando imágenes satelitales en la cuenca del río Paratia en el periodo 1990 - 2024?</p> <p>¿Cuál es la relación existente entre la precipitación y temperatura con la superficie de los bofedales altoandinos en la cuenca del río Paratia en el periodo 1990 - 2024?</p> <p>¿Cuál es el estado de los bofedales altoandinos de la cuenca del río Paratia?</p>	<p>Específicas</p> <p>Determinar el cambio histórico multitemporal de los bofedales altoandinos empleando imágenes satelitales en la cuenca del río Paratia en el periodo 1990 - 2024</p> <p>Determinar la relación existente entre la precipitación y temperatura con la superficie de los bofedales altoandinos en la cuenca del río Paratia en el periodo 1990 - 2024</p> <p>Determinar el estado de los bofedales altoandinos de la cuenca del río Paratia</p>	<p>Específicas</p> <p>Existe una variación del cambio histórico multitemporal de los bofedales altoandinos empleando imágenes satelitales en la cuenca del río Paratia en el periodo 1990 - 2024</p> <p>Existe una relación significativa entre la precipitación y temperatura con la superficie de los bofedales altoandinos en la cuenca del río Paratia en el periodo 1990 - 2024</p> <p>Los bofedales altoandinos de la cuenca del río Paratia se encuentran en un estado regular en mayor proporción.</p>	<p>Dependiente</p> <p>Cobertura vegetal de los bofedales altoandinos</p>	<p>Corrección de imágenes satelitales</p>	<p>Radiométrica</p>	<p>---</p>	
				<p>Atmosférica</p>	<p>---</p>		
				<p>Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI)</p>	<p>Banda 4 de la imagen satelital</p>	<p>---</p>	
				<p>Banda 5 de la imagen satelital</p>	<p>---</p>		
				<p>Validación de datos hallados</p>	<p>Clasificación supervisada</p>	<p>---</p>	
				<p>Índice Kappa</p>	<p>---</p>		
				<p>Análisis de la precipitación</p>	<p>Periodo de análisis (año 1990 al año 2022)</p>	<p>mm</p>	
				<p>Análisis de la Temperatura</p>	<p>Periodo de análisis (año 1990 al año 2022)</p>	<p>°C</p>	
				<p>Estado de conservación de los bofedales</p>	<p>Muy pobre</p>	<p>%</p>	
<p>Pobre</p>	<p>%</p>						
<p>Regular</p>	<p>%</p>						
<p>Bueno</p>	<p>%</p>						
<p>Muy bueno</p>	<p>%</p>						

Anexo 2. Indicadores de validación





Table

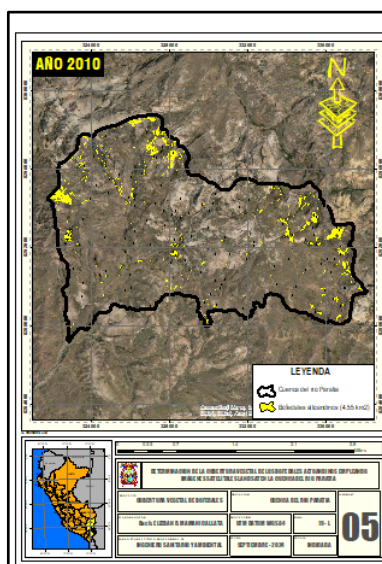
4444

OBJECTID	ClassValue	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	Total	U_Accuracy	Kappa
-1	C_1	10	0	0	0	0	0	10	1	0
-1	C_2	0	10	0	0	0	0	10	1	0
-1	C_3	0	1	14	0	0	0	15	0.933333	0
-1	C_4	0	0	1	24	0	0	25	0.96	0
-1	C_5	0	0	0	2	33	0	35	0.942857	0
-1	C_6	0	0	0	0	0	19	19	1	0
-1	Total	10	11	15	26	33	19	114	0	0
-1	P_Accuracy	1	0.909091	0.933333	0.923077	1	1	0	0.964912	0
-1	Kappa	0	0	0	0	0	0	0	0.956133	0

1 (0 out of 9 Selected)

4444

Legend



Table

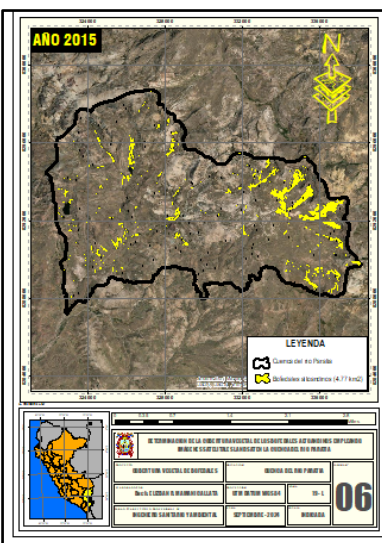
6666

OBJECTID	ClassValue	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	Total	U_Accuracy	Kappa
-1	C_1	10	0	0	0	0	0	10	1	0
-1	C_2	0	10	0	0	0	0	10	1	0
-1	C_3	0	0	13	0	0	0	13	1	0
-1	C_4	0	0	1	26	0	0	27	0.962963	0
-1	C_5	0	0	0	1	33	0	34	0.970588	0
-1	C_6	0	0	0	0	1	21	22	0.954545	0
-1	Total	10	10	14	27	34	21	116	0	0
-1	P_Accuracy	1	1	0.928571	0.962963	0.970588	1	0	0.974138	0
-1	Kappa	0	0	0	0	0	0	0	0.967558	0

1 (0 out of 9 Selected)

6666

Legend



Table

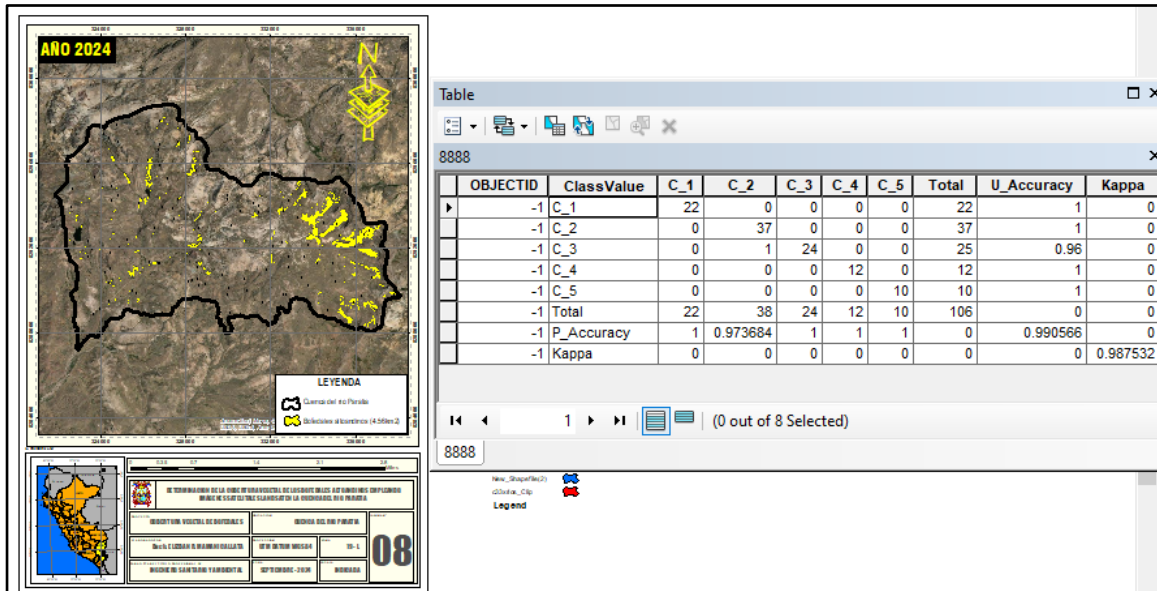
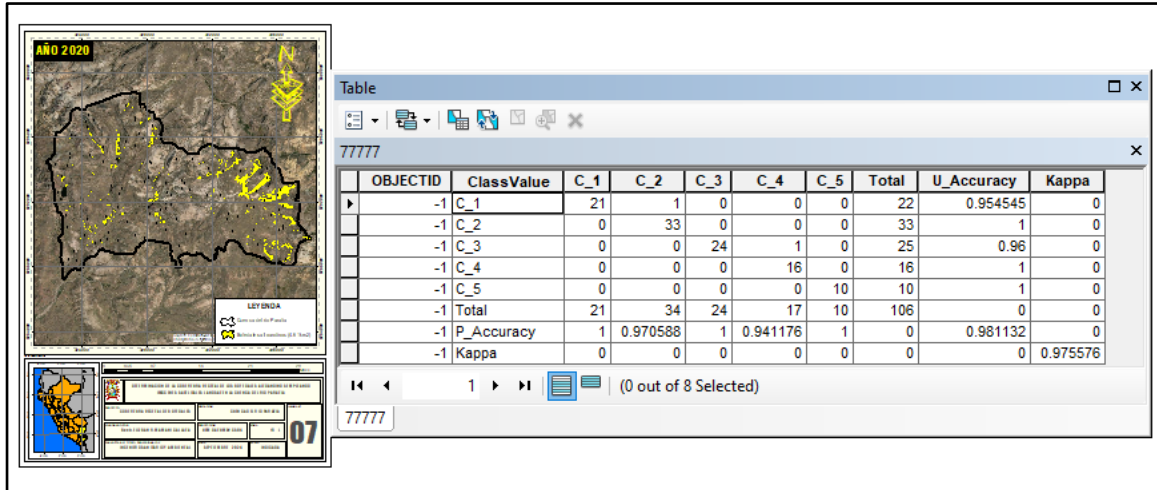
7777

OBJECTID	ClassValue	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	Total	U_Accuracy	Kappa
-1	C_1	20	1	0	0	0	21	0.952381	0
-1	C_2	0	34	0	0	0	34	1	0
-1	C_3	0	0	26	0	0	26	1	0
-1	C_4	0	0	0	14	0	14	1	0
-1	C_5	0	0	0	1	9	10	0.9	0
-1	Total	20	35	26	15	9	105	0	0
-1	P_Accuracy	1	0.971429	1	0.933333	1	0	0.980952	0
-1	Kappa	0	0	0	0	0	0	0.975116	0

1 (0 out of 8 Selected)

7777

Legend



Anexo 3. Datos de precipitación de las estaciones meteorológicas más próximas a la cuenca del río Paratia

Estación Pampahuta									
Año	Año								Media
	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2023	
Ene.	160.50	115.40	202.10	111.50	223.10	261.50	248.10	65.70	173.49
Febr.	67.10	151.50	258.80	267.50	231.00	230.70	187.60	133.60	190.98
Mar.	59.90	120.90	181.60	97.70	113.90	142.80	75.90	220.70	126.68
Abri.	36.80	40.80	23.30	60.20	57.30	94.50	71.00	35.50	52.43
May.	7.10	1.10	9.40	0.00	7.80	1.50	24.70	11.40	7.88
Jun.	31.50	0.00	3.90	0.00	0.00	0.70	1.40	0.00	4.69
Jul.	0.00	0.00	0.40	0.00	0.00	0.00	3.40	17.90	2.71
Agos.	7.50	2.60	7.70	0.60	0.00	3.20	0.00	0.20	2.73
Sept.	4.10	14.80	5.10	21.40	0.00	4.90	23.90	52.25	15.81
Octu.	93.50	15.10	89.70	17.70	23.20	55.70	64.53	76.10	54.44
Nov.	116.70	64.20	9.90	101.30	49.20	61.60	15.60	57.00	59.44
Dic.	91.40	142.80	136.10	136.10	151.90	179.70	194.30	155.70	148.50
Media	56.34	55.77	77.33	67.83	71.45	86.40	75.87	68.84	-

Nota. Obtenido del SENAMHI (2024)

Estación Cabanillas									
Año	Año								Media
	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2023	
Ene.	89.70	107.80	173.70	100.60	118.90	134.00	114.10	45.20	110.50
Febr.	63.70	94.90	116.50	278.30	144.20	238.10	172.40	88.20	149.54
Mar.	31.30	94.20	130.30	116.50	71.60	97.60	30.60	122.20	86.79
Abri.	18.90	23.70	52.70	49.60	26.80	80.40	0.30	24.00	34.55
May.	13.90	0.80	7.10	0.02	12.40	0.00	12.40	24.80	8.93
Jun.	43.10	0.00	6.20	0.00	0.00	0.00	0.00	8.00	7.16
Jul.	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	1.70	0.00	6.10	0.98
Agos.	9.00	5.80	7.40	0.01	0.00	8.30	0.00	0.00	3.81
Sept.	2.90	19.70	14.50	22.40	0.00	2.90	30.60	0.20	11.65
Octu.	92.70	18.70	57.10	74.94	28.40	23.40	68.70	26.60	48.82
Nov.	96.70	55.30	9.90	54.31	14.00	61.50	6.20	98.90	49.60
Dic.	91.80	61.80	114.20	174.50	136.30	212.20	203.30	115.50	138.70
Media	46.14	40.23	57.47	72.60	46.05	71.68	53.22	46.64	-

Nota. Obtenido del SENAMHI (2024)



Estación Crucero Alto									
Año	Año								Media
	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2023	
Ene.	179.10	86.10	173.30	51.62	189.23	158.50	115.50	60.00	126.67
Febr.	30.21	135.10	129.00	121.72	192.64	123.30	233.20	121.90	135.88
Mar.	85.70	216.20	59.60	57.68	64.45	78.70	35.70	176.90	96.87
Abri.	41.70	31.53	10.21	53.73	45.95	4.40	31.60	27.10	30.78
May.	15.90	0.11	12.53	0.01	4.84	11.80	7.40	14.90	8.44
Jun.	45.60	0.00	4.32	0.00	1.30	11.50	0.40	0.00	7.89
Jul.	0.00	0.00	0.00	0.00	0.11	6.80	0.00	8.90	1.98
Agos.	12.50	0.50	1.69	0.01	0.31	8.40	0.00	0.00	2.93
Sept.	0.00	8.71	0.23	10.46	3.40	0.00	11.90	2.50	4.65
Octu.	0.00	16.70	41.33	2.94	8.60	35.90	39.40	59.50	25.55
Nov.	91.80	49.10	10.03	19.73	6.32	17.90	1.50	133.90	41.29
Dic.	82.61	67.80	97.22	96.72	125.05	105.20	137.70	78.20	98.81
Media	48.76	50.99	44.96	34.55	53.52	46.87	51.19	56.98	-

Nota. Obtenido del SENAMHI (2024)

Estación Pucará									
Año	Año								Media
	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2023	
Ene.	147.11	98.20	126.90	63.00	198.10	122.80	125.20	52.40	116.71
Febr.	129.24	76.90	143.30	164.80	138.70	139.20	236.80	85.60	139.32
Mar.	85.55	78.90	107.90	123.30	66.40	171.10	22.40	97.10	94.08
Abri.	46.55	9.30	11.70	37.70	38.20	20.40	47.50	15.80	28.39
May.	17.56	2.60	4.20	0.00	6.00	27.70	17.80	32.00	13.48
Jun.	45.49	0.00	4.10	0.00	0.00	7.70	3.60	0.00	7.61
Jul.	0.01	0.30	0.10	0.00	0.00	0.40	0.00	5.20	0.75
Agos.	5.79	0.50	29.00	14.70	0.20	15.60	0.20	0.00	8.25
Sept.	22.16	7.70	0.30	6.20	1.20	7.80	24.40	13.80	10.45
Octu.	99.94	17.80	106.60	103.20	36.90	58.30	40.80	31.20	61.84
Nov.	93.71	94.30	35.60	73.40	27.90	29.90	71.00	63.60	61.18
Dic.	85.54	106.00	105.70	112.00	121.30	231.60	145.20	95.60	125.37
Media	64.89	41.04	56.28	58.19	52.91	69.38	61.24	41.03	-

Nota. Obtenido del SENAMHI (2024)

Estación Ayaviri									
Año	Año								Media
	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2023	
Ene.	190.20	96.30	136.80	70.60	192.30	142.60	188.90	65.50	135.40
Febr.	111.10	98.40	224.60	224.90	125.20	159.50	178.10	102.70	153.06
Mar.	38.60	132.50	108.60	130.20	87.90	169.40	57.30	108.00	104.06
Abri.	32.40	44.90	5.90	26.30	67.20	73.90	60.80	7.60	39.88
May.	3.80	0.50	6.20	0.30	15.20	7.60	3.30	43.50	10.05
Jun.	33.50	0.00	1.60	0.00	0.00	0.00	1.70	0.00	4.60
Jul.	0.00	0.00	4.10	0.00	0.00	0.50	0.00	6.00	1.33
Agos.	3.50	0.00	7.10	4.50	0.80	0.00	0.00	1.40	2.16
Sept.	15.00	5.10	2.50	4.80	0.40	2.80	14.70	11.00	7.04
Octu.	87.10	15.10	119.80	94.80	26.10	20.70	38.60	24.10	53.29
Nov.	71.70	70.50	8.60	83.00	30.30	50.70	56.10	72.00	55.36
Dic.	81.90	104.10	76.90	67.00	69.80	186.30	90.60	95.80	96.55
Media	55.73	47.28	58.56	58.87	51.27	67.83	57.51	44.80	-

Nota. Obtenido del SENAMHI (2024)

Anexo 4. Datos de temperatura de las estaciones meteorológicas más próximas a la cuenca del río Paratia

Estación Pampahuta									
Año	Año								Media
	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2023	
Ene.	13.74	13.28	11.35	12.87	12.32	11.63	14.37	14.12	12.96
Febr.	14.48	13.22	10.88	11.06	13.01	10.81	12.97	13.20	12.45
Mar.	14.58	11.88	11.64	12.23	13.34	11.41	13.53	13.14	12.72
Abri.	15.58	12.93	12.63	12.02	13.69	11.25	13.73	13.69	13.19
May.	15.27	13.06	13.16	12.32	13.25	12.05	13.70	12.85	13.21
Jun.	10.83	12.15	10.86	11.52	13.47	11.57	13.51	13.45	12.17
Jul.	13.41	13.50	10.69	12.15	13.11	12.17	13.29	15.32	12.96
Agos.	14.54	15.17	12.70	12.39	14.54	13.00	15.49	14.91	14.09
Sept.	16.15	14.82	14.45	12.52	15.33	14.03	15.21	16.30	14.85
Octu.	16.32	16.68	11.85	13.55	14.91	15.10	14.45	17.54	15.05
Nov.	15.44	14.41	15.14	12.65	16.31	14.51	17.60	17.18	15.41
Dic.	14.77	12.83	12.12	12.21	13.23	12.14	14.86	15.30	13.43
Media	14.59	13.66	12.29	12.29	13.88	12.47	14.39	14.75	-

Nota. Obtenido del SENAMHI (2024)

Estación Cabanillas									
Año	Año								Media
	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2023	
Ene.	16.56	16.97	15.75	17.06	17.10	16.73	17.93	18.48	17.07
Febr.	17.21	16.66	14.85	15.31	17.01	15.95	16.86	17.25	16.39
Mar.	17.27	14.66	15.58	17.00	17.41	15.48	16.81	17.23	16.43
Abri.	17.68	16.36	16.29	16.74	18.10	16.25	18.83	17.89	17.27
May.	18.12	16.56	16.27	16.78	17.81	16.60	17.47	16.88	17.06
Jun.	13.76	15.62	15.06	15.80	17.67	15.91	17.99	17.35	16.14
Jul.	15.85	16.48	14.67	16.34	17.34	16.46	18.25	19.13	16.81
Agos.	16.99	17.91	16.32	16.81	18.37	17.30	19.60	18.54	17.73
Sept.	18.31	17.33	18.18	17.57	19.35	18.31	17.80	20.13	18.37
Octu.	18.25	19.26	16.27	17.50	19.20	19.54	18.19	21.37	18.70
Nov.	17.53	17.84	19.80	17.89	20.59	19.61	21.17	20.55	19.37
Dic.	16.80	16.65	16.33	16.85	17.93	17.43	18.46	19.26	17.46
Media	17.03	16.86	16.28	16.80	18.16	17.13	18.28	18.67	-

Nota. Obtenido del SENAMHI (2024)

Estación Crucero Alto									
Año	Año								Media
	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2023	
Ene.	0.00	0.00	10.89	15.10	13.46	12.12	17.10	18.22	10.86
Febr.	0.00	0.00	10.74	14.36	13.96	12.06	15.94	17.45	10.56
Mar.	0.00	0.00	11.86	13.95	13.63	11.81	16.60	16.72	10.57
Abri.	0.00	0.00	13.05	13.97	13.56	14.05	16.16	17.71	11.06
May.	0.00	0.00	12.31	14.31	12.83	12.50	15.97	15.86	10.47
Jun.	0.00	0.00	10.71	14.49	13.07	10.73	15.78	15.89	10.08
Jul.	0.00	0.00	10.21	14.82	12.57	11.41	16.85	17.88	10.47
Agos.	0.00	0.00	12.23	14.52	14.17	12.50	18.06	17.84	11.16
Sept.	0.00	0.00	13.99	14.53	14.91	13.88	17.31	19.47	11.76
Octu.	0.00	0.00	12.77	16.09	14.86	14.22	17.24	20.18	11.92
Nov.	0.00	0.00	15.94	16.74	15.99	15.33	20.54	19.84	13.05
Dic.	0.00	0.00	12.74	16.52	13.59	12.30	17.34	18.38	11.36
Media	0.00	0.00	12.28	14.95	13.88	12.74	17.07	17.95	-

Nota. Obtenido del SENAMHI (2024)

Estación Pucará									
Año	Año								Media
	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2023	
Ene.	0.00	16.57	15.63	17.37	16.55	15.98	17.15	18.77	14.75
Febr.	0.00	16.46	14.59	16.12	17.16	15.71	16.67	17.61	14.29
Mar.	0.00	15.44	15.25	17.55	17.77	16.81	16.81	18.03	14.71
Abri.	0.00	17.10	16.87	17.79	18.27	17.11	16.31	18.27	15.22
May.	0.00	17.44	17.52	17.52	17.54	16.83	16.69	17.35	15.11
Jun.	0.00	16.14	15.76	16.44	17.99	15.40	16.49	17.22	14.43
Jul.	0.00	17.17	1.99	16.49	17.37	16.04	17.21	19.16	13.18
Agos.	0.00	18.45	0.00	17.06	18.37	16.94	17.98	18.39	13.40
Sept.	0.00	17.90	0.00	17.83	19.55	18.59	19.12	20.04	14.13
Octu.	0.00	19.36	0.00	17.79	19.59	18.61	19.79	21.28	14.55
Nov.	0.00	18.32	0.00	17.94	20.11	19.87	19.53	20.72	14.56
Dic.	0.00	16.78	0.00	17.39	17.62	16.49	16.53	18.82	12.95
Media	0.00	17.26	15.94	17.28	18.16	17.03	17.52	18.81	-

Nota. Obtenido del SENAMHI (2024)

Estación Ayaviri									
Año	Año								Media
	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2023	
Ene.	15.75	16.56	15.34	16.82	16.48	15.42	17.33	18.61	16.54
Febr.	16.94	17.41	14.83	15.91	17.82	14.66	17.03	16.94	16.44
Mar.	16.85	15.85	15.42	16.94	17.98	16.17	17.36	17.09	16.71
Abri.	17.16	17.41	17.44	17.67	18.27	16.08	16.21	17.74	17.25
May.	17.06	17.85	17.19	17.66	17.92	16.57	16.33	16.34	17.12
Jun.	14.11	16.28	15.07	17.01	18.32	16.46	16.31	17.19	16.35
Jul.	14.82	17.48	14.68	16.83	18.08	16.70	17.03	19.57	16.90
Agos.	16.17	19.25	16.48	17.75	18.99	17.97	17.88	18.92	17.93
Sept.	17.33	19.51	18.71	18.58	20.34	19.48	17.97	20.49	19.05
Octu.	17.45	19.50	16.31	18.28	20.14	20.74	20.41	21.74	19.32
Nov.	17.07	18.43	19.89	17.92	20.83	20.16	19.32	21.05	19.33
Dic.	15.32	16.26	16.58	17.16	18.39	17.25	18.20	19.30	17.31
Media	16.34	17.65	16.49	17.38	18.63	17.31	17.62	18.75	-

Nota. Obtenido del SENAMHI (2024)

Anexo 5. Formato de análisis de consistencia

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 critico 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 critico 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	
$GL = GL_1 + GL_2$	
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	
<ul style="list-style-type: none"> ▪ 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 (F_c) según :

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

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

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

Calculo del F tabular (valor crítico de F_t) F_t

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
$F_t =$	1.85

comparacion del F_c con el F_t

- 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

Anexo 6. Panel fotográfico



Nota. Bofedales en estudio



Nota. Bofedales en estudio



Nota. Bofedales en estudio



Nota. Transecto para determinar las especies vegetales del bofedal



Nota. Transecto para determinar las especies vegetales del bofedal



Nota. Toma de muestras de suelo



ANEXO 1
FORMULARIO DE AUTORIZACIÓN

AUTORIZACIÓN PARA LA INCORPORACIÓN DE LOS
TRABAJOS DE INVESTIGACIÓN
EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL UANCV

Formato digital:

Fecha de entrega: 21/04/2025

1. Datos del autor (es):

Nombres y Apellidos: ELIZBAN ROLANDO MAMANI CALLATA

Dirección: URB. CINCUENT. MIRAFLORES MZ. G LT.1

DNI/Carné de Extranjería/Pasaporte N°: 70536862

Teléfono: 999242698 email: GUIDO.ELIZBAN@GMAIL.COM

Nombres y Apellidos: _____

Dirección: _____

DNI/Carné de Extranjería/Pasaporte N°: _____

Teléfono: _____ email: _____

Facultad y/o Escuela de Posgrado: INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS

Escuela Profesional o Mención: INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL

Título o Grado Académico a optar: INGENIERO SANITARIO Y AMBIENTAL

Asesor: Mgr. SALVADOR TEODORO VALDIVIA CARDENAS

Esta obra se encuentra dentro de las siguientes denominaciones:
 Trabajo de Investigación Tesis Trabajo de Suficiencia Profesional Trabajo Académico

Título: DETERMINACIÓN DE LA COBERTURA VEGETAL DE LOS BOFEDALES ALTOANDINOS EMPLEANDO
IMÁGENES SATELITALES LANDSAT EN LA CUENCA DEL RIO PARATIA EN EL PERIODO 1990-2024

Palabras claves, (3 a 5 términos): COBERTURA VEGETAL, IMÁGENES SATELITALES, TEMPERATURA

¿Esta obra se desarrolló en la UANCV 1,2?
 2

1 Indicar si su producción intelectual ha empleado recursos tales como, instalaciones, laboratorios, insumos, equipos, bases de datos, asesoría técnica por parte del personal de la UANCV, financiamiento, entré otros relacionados.

2 Si su producción intelectual se desarrolló en la UANCV totalmente o parcialmente, deberá autorizar el depósito en el Repositorio de manera obligatoria.



2. Referencia de tesis:

- Bachiller
- Título
- 2da Especialidad
- Maestría
- Doctorado

3. Licencias:

a) Licencia estándar:

Bajo los siguientes términos, autorizo el depósito de mi tesis en el Repositorio Digital de la UANCV.

Con la autorización de depósito de mi producción Intelectual, otorgo a la Universidad Andina “Néstor Cáceres Velásquez” una licencia no exclusiva para reproducir, distribuir, comunicar al público, transformar (únicamente mediante su traducción a otros idiomas) y poner a disposición del público mi producción intelectual (incluido el resumen), en formato físico o digital, en cualquier medio, conocido o por conocerse, a través de los diversos servicios por la Universidad, creados o por crearse, tales como el Repositorio Digital de tesis UANCV, colección de producción intelectual, entre otros, en el Perú y en el extranjero por el tiempo y veces que considere necesarias, y libres de remuneraciones.

En virtud de dicha licencia, la Universidad Andina “Néstor Cáceres Velásquez” podrá reproducir mi producción intelectual en cualquier tipo de soporte y en más de un ejemplar, sin modificar su contenido, solo con propósitos de seguridad, respaldo y preservación. Declaro que la producción intelectual es una creación de mi autoría y exclusiva titularidad, coautoría con titularidad compartida, y me encuentro facultado a conceder la presente licencia y, asimismo, garantizo que dicha producción intelectual no infringe derechos de autor de terceras personas.

La Universidad Andina “Néstor Cáceres Velásquez” consignará el nombre del y/o los autor(es) de la producción intelectual, y no le hará ninguna modificación más que la permitida en la licencia.

Autorizo su publicación (marque con una X)

- Sí, autorizo que se deposite inmediatamente.
- Sí, autorizo que se deposite a partir de la fecha (d/m/a): _____
- No autorizo.

b) Licencia CREATIVE COMMONS 4.0 INTERNACIONAL:

Si usted concede una licencia CREATIVE COMMONS sobre su producción intelectual, mantiene la titularidad de los derechos de autor de esta y, a la vez, permite que otras personas puedan reproducirla, comunicarla al público y distribuir ejemplares de esta, bajo las condiciones siguientes:

¿Quiere permitir usos comerciales de su producción intelectual?

Sí: significa que usted permite la reproducción, distribución y comunicación pública de la producción intelectual incluso con fines comerciales.

No: significa que usted permite la reproducción, y comunicación pública de la producción intelectual, pero sin fines comerciales.

- Sí autorizo
- No autorizo



Jurisdicción de su Licencia

Todas las licencias CREATIVE COMMONS son de ámbito mundial, sin embargo, usted puede elegir entre la opción “internacional” o una adaptada a su jurisdicción, como para el caso peruano.

La opción “internacional” emplea el lenguaje y la terminología de los tratados internacionales; en cambio, la adaptada a su jurisdicción, recoge las particularidades de la legislación peruana.

En consecuencia, **la opción “internacional” goza de una mayor eficacia a nivel mundial, gracias a que tiene jurisdicción neutral.** Mientras que la opción adaptada a la jurisdicción del Perú goza de una mayor eficacia ante los tribunales peruanos.

Internacional

Nacional

Línea de investigación: CONTAMINACIÓN Y CALIDAD AMBIENTAL – P22

Firma de Autor



huella digital

21 de Abril del 2025

Fecha