



FACULTAD DE CIENCIAS DE INGENIERIA

PROVEIDO 000712-2026-UNH/FCI

EXPEDIENTE : **2026-0007073**

FECHA

28/04/2026

ASUNTO: SE REMITE EXPEDIENTE DE LA DESIGNACIÓN DE JURADOS PARA INFORME FINAL DE TESIS, MEDIANTE ACTO RESOLUTIVO, DEL INTERESADO JHON EVESON DE LA CRUZ CASTRO

Atender en 0 días

REFERENCIA : OFICIO N° 000215-2026-EPIAS DESIGNACIÓN DE JURADOS PARA INFORME FINAL DE TESIS, MEDIANTE ACTO RESOLUTIVO

DEPENDENCIA DESTINO	TRAMITE	PRIORIDAD	INDICACIONES
UNIDAD FUNCIONAL DE SECRETARIA DOCENTE - FCI SÁEZ HUAMÁN WILFREDO	ATENDER	NORMAL	

PALOMINO PASTRANA PEDRO ANTONIO
DECANO(A)(e)



UNH

UNIVERSIDAD NACIONAL DE
HUANCVELICA

ESCUELA PROFESIONAL DE
INGENIERIA AMBIENTAL Y SANITARIA



Firmado digitalmente por DUEÑAS
JURADO Carlos FAU 20168014962
soft
Cargo: Director(A) De Escuela
Profesional
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 28.04.2026 09:43:58 -05:00

"Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres"
"Año de la Esperanza y el Fortalecimiento de la Democracia"

Huancavelica, 28 de Abril del 2026

OFICIO N° 000215-2026-UNH/EPIAS

Señor (a):

VICTOR GUILLERMO SANCHEZ ARAUJO
DECANO(A)

Presente.

Asunto: DESIGNACIÓN DE JURADOS PARA INFORME FINAL DE TESIS, MEDIANTE ACTO RESOLUTIVO.

Referencia: INFORME 000012-2026-UNH/UFGGT-EPIAS (31MAR2026)

De mi consideración:

Es grato dirigirme a usted, para hacerle llegar el saludo cordial a nombre de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental y Sanitaria y el mío propio, en atención al documento de la referencia, solicito la aprobación mediante acto resolutivo a jurados evaluadores del informe final de tesis, el cual adjunto al presente los documentos de la referencia:

ASESOR:

Dr. FERNANDO MARTIN TORIBIO ROMÁN

JURADOS:

Dr. PEDRO ANTONIO PALOMINO PASTRANA

Dr. CESAR CASTAÑEDA CAMPOS

Mg. CARLOS DUEÑAS JURADO

Dr. JORGE LUIS HUERE PEÑA

Dr. WILFREDO SAEZ HUAMAN

PRESIDENTE

SECRETARIO

VOCAL

ACCESITARIO 1

ACCESITARIO 2

INFORME FINAL DE TESIS:

"DISPONIBILIDAD HÍDRICA DE BOFEDALES DE LA CUENCA RÍO ICHU Y SU RELACIÓN CON SEQUÍAS PARA LA CIUDAD DE HUANCVELICA, 2025"

PRESENTADO POR:

JHON EVERSON DE LA CRUZ CASTRO

Hago propicia la oportunidad para expresarle el testimonio de mi especial consideración y estima personal.

Atentamente,

Documento Firmado Digitalmente

CARLOS DUEÑAS JURADO
DIRECTOR(A) DE ESCUELA PROFESIONAL
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA AMBIENTAL Y SANITARIA

CDJ/hcq
cc.:

N° Expediente: 2026-0007073



"Esta es una copia auténtica imprimible de un documento electrónico archivado por la Universidad Nacional de Huancavelica, aplicando lo dispuesto por el Art. 25 de D.S. 070-2013-PCM y la Tercera Disposición Complementaria Final del D.S. 026-2016-PCM".
Su autenticidad e integridad pueden ser contrastadas a través.
Dirección web: <https://sgd.unh.edu.pe:8181/verifica/inicio.do>
Código de Verificación: TYQNRNS



	Reglamento de grados y títulos de la Universidad Nacional de Huancavelica	Código:	RE-VRAC-PO01-1-1
		Versión:	1
		Página:	Página 66 de 95

Anexo 03

Ficha de evaluación del informe final de tesis/trabajo de investigación/trabajo académico



UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAVELICA

(Creada por ley N° 25265)

FACULTAD DE CIENCIAS DE INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA

FICHA DE EVALUACIÓN DE INFORME DE TESIS/TRABAJO DE INVESTIGACIÓN/TRABAJO ACADÉMICO

Título de la tesis	Disponibilidad hídrica de bofedales de la cuenca río Ichu y su relación con sequías para la ciudad de Huancavelica, 2025		
Tesista(s)	Bach. Jhon Everson De la Cruz Castro		
Asesor(a)	Dr. Fernando Martin Toribio Román		
Jurado Evaluador	Presidente:		
	Secretario:		
	Vocal:		
INCOMPLETO (1)		BUENO (2)	MUY BUENO (3)
CRITERIOS DE EVALUACIÓN			ESCALA
TÍTULO			1 2 3
1	El título presenta claridad, precisión y coherencia (mínimo 15 y máximo 20 palabras)		x
2	Delimitación adecuada		x
RESUMEN			1 2 3
3	Contiene el problema y objetivo de investigación o población y/o muestra.		x
4	Precisa el método, técnica e instrumentos de estudio.		x
5	Precisa los resultados, conclusiones y palabras clave.		x
6	Tiene un máximo de 250 palabras y están redactadas en un solo párrafo.		x
INTRODUCCIÓN			1 2 3
7	Contiene el problema de investigación y los antecedentes de estudio.		x
8	Se señala los objetivos de investigación y la hipótesis.		x
9	Describe brevemente el estudio y presenta la estructura del informe de investigación.		x
CAPÍTULO I. EL PROBLEMA			
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA			1 2 3
10	Delimita y contextualiza el problema.		x
11	La redacción del planteamiento del problema es coherente.		x
12	Argumentación con referencias bibliográficas.		x
FORMULACIÓN DEL PROBLEMA			1 2 3
13	La formulación del problema está redactada con claridad y precisión.		x
14	El problema presenta variable(s) y tiene relación con el título.		x
15	Los problemas específicos se relacionan con el problema general.		
OBJETIVOS			1 2 3
16	El objetivo general evidencia el propósito del estudio		x
17	Los objetivos específicos se derivan del objetivo general y son factibles de alcanzar.		x
18	Los objetivos responden al problema de investigación.		x



JUSTIFICACIÓN			1	2	3
19	Se exponen las razones ¿por qué?, ¿para qué? y la viabilidad del estudio.				x
LIMITACIONES			1	2	3
20	Explica las limitaciones en el control de la(s) variable(s), selección de la muestra, instrumentos de medición y la generalización de los resultados.				
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO					
ANTECEDENTES			1	2	3
21	Presenta los antecedentes y los integra en relación con el problema de investigación.				x
22	En los antecedentes se mencionan el problema, objetivo(s), metodología, población, resultados y conclusiones.				x
BASES TEÓRICAS			1	2	3
23	La organización de las bases teóricas es coherente y corresponde a las variables de estudio.			x	
24	Las bases teóricas fundamentan las variables de estudio.			x	
DEFINICIÓN DE TÉRMINOS			1	2	3
25	Define los conceptos más relevantes del estudio.				x
26	Utiliza 10 conceptos como mínimo con fuentes en orden alfabético.				x
HIPÓTESIS			1	2	3
27	La hipótesis se enuncia de manera clara y precisa.	Proyectos de investigación que consideren hipótesis, se califica y se otorga el puntaje correspondiente		x	
28	La hipótesis responde al problema de investigación.				
VARIABLES			1	2	3
29	Identifica(n) con precisión la(s) variable(s) de estudio			x	
OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES			1	2	3
30	La operacionalización presenta definición conceptual y operacional de la(s) variable(s) o también presenta dimensiones (si es pertinente), indicadores, ítems o instrumentos			x	
CAPÍTULO III. METODOLOGÍA			1	2	3
31	Identifica el ámbito de estudio.				x
32	Selecciona y fundamenta el tipo y nivel de investigación.				x
33	Existe correspondencia entre nivel y diseño de investigación.				
34	Señala la población y muestra de estudio.	Proyectos de investigación que consideren hipótesis, se califica y se otorga el puntaje correspondiente		x	
35	Selecciona y fundamenta el tipo de muestreo a utilizar.				
36	Selecciona y fundamenta las técnicas e instrumentos a utilizar en el estudio.			x	
37	Precisa los procedimientos para la recolección de datos.			x	
38	Especifica y fundamenta la(s) técnica(s) y procedimientos estadísticos(s) para el análisis de datos.			x	
CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN					
RESULTADOS			1	2	3
39	Describe en forma detallada y secuencial los resultados y se corresponden con los objetivos.			x	
40	Las tablas y las figuras sirven de complemento para la descripción de los resultados.			x	
DISCUSIÓN			1	2	3
41	Interpreta y justifica los resultados.			x	
42	Explica la relación de los resultados con los antecedentes, bases teóricas y la hipótesis.			x	




CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		1	2	3
43	Las conclusiones se sustentan en los resultados y responden a los objetivos.		x	
44	Las recomendaciones se corresponden con las conclusiones, se dirige a instituciones, autoridades o personas para implementar los hallazgos del estudio y sugiere nuevas investigaciones.		x	
REFERENCIAS		1	2	3
45	Las citas y referencias se corresponden con el estilo de redacción.		x	
46	Todas las citas están referenciadas y validadas.		x	
ANEXOS		1	2	3
47	Incluye la matriz de consistencia, validación del instrumento, instrumentos utilizados, consentimiento informado, base de datos, evidencia de aplicación de instrumento y otros de acuerdo a la naturaleza del estudio.		x	



CONTEO TOTAL DE MARCAS		3	7	9
(realice el conteo de marcas en cada una de las tres categorías de la escala y anote)		A	B	C

$$Puntaje\ Total = 1(A) + 2(B) + 3(C) = 1*0 + 38*2 + 3*9 = 76 + 27 = 103$$

Para el resultado final, ubicar el puntaje obtenido en la siguiente tabla:

RESULTADO	INTERVALO
Desaprobado 	[1 – 47]
Replantear 	(47 – 94]
Aprobado 	(94 – 141]

Huancavelica, 27 de abril de 2026

Presidente

Secretario

Vocal



Firmado digitalmente por TORIBIO ROMAN Fernando Martin FAU
20168014962 soft
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 27.04.2026 17:21:51 -05:00

Asesor

Nota:

- * El presente formato de acta es flexible, debiendo contener mínimamente la información descrita.
- * * El presente formulario se emplea en dos etapas: I. Verificación previa del asesor y II. Evaluación por los jurados. El asesor completa únicamente los campos relativos a su revisión y firma exclusivamente en su sección. Los jurados completan y firman únicamente en el espacio destinado a sus cargos.
- ***El jurado reunido, culminada la evaluación de la tesis, el jurado (presidente) debe informar el resultado del presente anexo a la Escuela Profesional.



Reglamento de grados y títulos de la Universidad Nacional
de Huancavelica

Código: **RE-VRAC-PO01-1-1**

Versión: 1

Página: **Página 66 de 95**



INFORME DE CAMBIO DE TÍTULO DE TESIS



Página
1 de 1

A : DIRECTOR DE LA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA AMBIENTAL Y SANITARIA
M Sc. CARLOS DUEÑAS JURADO

DE : ASESOR DE PROYECTO DE TESIS
DR. FERNANDO M. TORIBIO ROMÁN

ASUNTO : CAMBIO DE TITULO DE TESIS

REFERENCIA : RESOLUCIÓN N° 0170-2025-D-FCI-R-UNH

FECHA : 21-04-2026

Me dirijo a Ud. para informarle respecto al cambio de título del trabajo de investigación - Tesis, el cual se realizó en coordinación con el Tesista; quedando de esta manera el nuevo título del trámite.

Título anterior	Análisis de la disponibilidad de agua superficial de los bofedales de la cuenca del río Ichu y su relación con el riesgo de sequías en la ciudad de Huancavelica, para el año 2025
Nuevo Titulo	“Disponibilidad hídrica de bofedales de la cuenca río Ichu y su relación con sequías para la ciudad de Huancavelica, 2025”



Firmado digitalmente por TORIBIO
ROMAN Fernando Martin FAU
20168014962 soft
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 21.04.2026 08:23:34 -05:00

ASESOR
DR. FERNANDO M TORIBIO ROMAN



UNH

UNIVERSIDAD NACIONAL DE
HUANCAVELICA

UNIDAD FUNCIONAL DE GESTION DE
GRADOS Y TITULOS - EPIAS



Firmado digitalmente por ENRIQUEZ
NATEROS Nilo Abelardo FAU
20168014962 soft
Cargo: Coordinador De Gestion De
Grados Y Titulos
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 31.03.2026 17:20:32 -05:00

"Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres"
"Año de la Esperanza y el Fortalecimiento de la Democracia"

Huancavelica, 31 de Marzo del 2026

INFORME N° 000012-2026-UNH/UFGGT-EPIAS

A: **CARLOS DUEÑAS JURADO**
DIRECTOR(A) DE ESCUELA PROFESIONAL
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA AMBIENTAL Y SANITARIA

ASUNTO: **PROPUESTA DE DESIGNACION DE JURADOS PARA INFORME FINAL DE TESIS.**

Referencia: PROVEIDO 000178-2026-UNH/EPIAS (19MAR2026)

Fecha elaboración: Huancavelica, 31 de Marzo de 2026

Tengo el agrado de dirigirme a usted para saludarle cordialmente y a la vez remitir la propuesta de designación de jurados evaluadores de la tesis titulada: "**ANÁLISIS DE LA DISPONIBILIDAD DE AGUA SUPERFICIAL DE LOS BOFEDALES DE LA CUENCA DEL RÍO ICHU Y SU RELACIÓN CON EL RIESGO DE SEQUÍAS EN LA CIUDAD DE HUANCAVELICA, PARA EL AÑO 2025**", del bachiller: **DE LA CRUZ CASTRO, Jhon Everson**; egresado de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental y Sanitaria, a fin de que su despacho remita a quien corresponda para su aprobación mediante acto resolutivo, para tal efecto se propone a los siguientes docentes:

Dr. Jorge Luis, HUERE PEÑA

Dr. Pedro Antonio, PALOMINO PASTRANA

Dr. César, CASTAÑEDA CAMPOS

Dr. Wilfredo, SAEZ HUAMÁN

Mg. Carlos, DUEÑAS JURADO

Sin otro particular es propicia la ocasión para hacerle llegar las muestras de mi especial consideración.

Atentamente,

Documento Firmado Digitalmente

NILO ABELARDO ENRIQUEZ NATEROS
COORDINADOR DE GESTION DE GRADOS Y TITULOS
UNI. FUN. GESTION DE GRADOS Y TITULOS - EPI AMBIENTAL

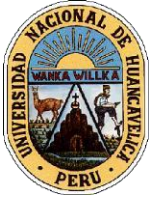
NEN
cc.:

N° Expediente: 2026-0007073



"Esta es una copia auténtica imprimible de un documento electrónico archivado por la Universidad Nacional de Huancavelica, aplicando lo dispuesto por el Art. 25 de D.S. 070-2013-PCM y la Tercera Disposición Complementaria Final del D.S. 026-2016-PCM". Su autenticidad e integridad pueden ser contrastadas a través.
Dirección web: <https://sgd.unh.edu.pe:8181/verifica/inicio.do>
Código de Verificación: L9RVNIX





**UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCVELICA
(CREADA POR LEY Nº 25265)
FACULTAD DE CIENCIAS DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y
SANITARIA**



REVISIÓN DE INFORME FINAL DE TESIS

ASESOR: DR.. FERNANDO MARTIN TORIBIO ROMÁN

EGRESADO: Bach. DE LA CRUZ CASTRO, Jhon Everson

TÍTULO DE INFORME FINAL DE TESIS:

“ANÁLISIS DE LA DISPONIBILIDAD DE AGUA SUPERFICIAL DE LOS BOFEDALES DE LA CUENCA DEL RÍO ICHU Y SU RELACIÓN CON EL RIESGO DE SEQUÍAS EN LA CIUDAD DE HUANCVELICA, PARA EL AÑO 2025”

OBSERVACIONES:

Habiendo levantado las observaciones por parte del bachiller, se emite la opinión favorable para proseguir con los trámites correspondientes de acuerdo con el literal d) del Artículo 17° del Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad Nacional de Huancavelica – Versión 003

Huancavelica, 25 de febrero de 2026



Firmado digitalmente por TORIBIO
ROMAN Fernando Martin FAU
20168014962 soft
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 19.03.2026 12:07:04 -05:00

**ASESOR
DR. FERNANDO M. TORIBIO ROMÁN**



ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA AMBIENTAL Y SANITARIA

PROVEIDO 000178-2026-UNH/EPIAS

EXPEDIENTE : **2026-0007073**

ASUNTO: DESIGNACION DE JURADOS PARA INFORME FINAL DE TESIS

FECHA

19/03/2026

Atender en 0 días

REFERENCIA : SOLICITUD N° 02

SOLICITO DESIGNACION DE JURADOS PARA INFORME FINAL DE TESIS

DEPENDENCIA DESTINO	TRAMITE	PRIORIDAD	INDICACIONES
UNI. FUN. GESTION DE GRADOS Y TITULOS - EPI AMBIENTAL ENRIQUEZ NATEROS NILO ABELARDO	ATENDER	NORMAL	

DUEÑAS JURADO CARLOS
DIRECTOR(A) DE ESCUELA PROFESIONAL

NOMBRE DEL TRABAJO

PROYECTO_DE_TESIS_DE LA CRUZ.docx

RECUENTO DE PALABRAS

32255 Words

RECUENTO DE CARACTERES

186485 Characters

RECUENTO DE PÁGINAS

168 Pages

TAMAÑO DEL ARCHIVO

35.9MB

FECHA DE ENTREGA

Mar 19, 2026 12:06 PM GMT-5

FECHA DEL INFORME

Mar 19, 2026 12:12 PM GMT-5

● 7% de similitud general

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

- 6% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 5% Base de datos de trabajos entregados
- 2% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

● Excluir del Reporte de Similitud

- Material bibliográfico
- Material citado
- Material citado
- Coincidencia baja (menos de 10 palabras)

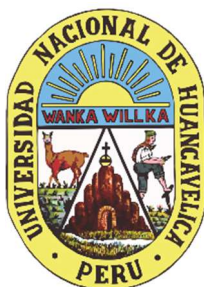


Firmado digitalmente por TORIBIO
ROMAN Fernando Martín FAU
20168014962 soft
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 19.03.2026 12:21:56 -05:00

16 UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCVELICA

(Creada por ley N° 25265)

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y
SANITARIA



TESIS:

“Análisis de la disponibilidad de agua superficial de los bofedales de la cuenca del río Ichu y su relación con el riesgo de sequías en la ciudad de Huancavelica, para el año 2025”

LINEA DE INVESTIGACIÓN:

INVESTIGACIÓN CLIMÁTICA

PRESENTADO POR:

Bach. DE LA CRUZ CASTRO, Jhon Everson

1 PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO AMBIENTAL Y SANITARIO

HUANCVELICA – PERÚ

2025

17 INDICE GENERAL

INDICE GENERAL.....	ii
INDICE DE TABLAS.....	v
INDICE DE FIGURAS.....	vii
8 INTRODUCCIÓN	xi
CAPITULO I PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	13
1.1.Descripción del problema.....	13
1.2.Formulación del problema.....	15
1.2.1.Problema general.....	15
1.2.2.Problemas específicos.....	16
1.3. Objetivos	16
1.3.1. Objetivo general.....	16
1 1.4. Justificación.....	17
1.4.1. Social.....	17
1.4.2. Ambiental.....	17
1.4.3. Práctico	18
CAPITULO II MARCO TEÓRICO	19
2.1. Antecedentes.....	19
2.1.1. A nivel internacional	19
2.1.2. A nivel nacional.....	26
2.1.3. A nivel local	34
2.2. Bases teóricas	36
2.2.1. Teoría del Cambio climático	36
2.2.1. Teoría del ciclo hidrológico	40
2.2.2. Teoría no paramétrica en sistemas naturales	45
2.2.2. Propagación de Sequías	46
2.2.3. Tipología de las Sequías.....	47
2.2.4. Análisis multiescalar de sequias.....	48
2.2.5. Índices espectrales en teledetección hidrológica	50
2.2.6. Regulación hidrológica de humedales altoandinos.....	51

2.2.8. Análisis de tendencias en series hidro climáticas.....	53
2.3. Definición de términos	54
2.3.1. Bofedales.....	54
2.3.2. Cuenca hidrográfica	54
2.3.3. Déficit hídrico	55
2.3.4. Disponibilidad de agua superficial.....	55
2.3.5. Índice Estandarizado de Precipitación (SPI).....	55
2.3.6. Índice Normalizado de Agua (NDWI)	56
2.3.7. Proyecciones climáticas	56
2.3.8. Resiliencia.....	56
2.3.9. Riesgo de sequía	56
2.3.10. Sequía.....	57
2.3.11. Sistema de Información Geográfica (SIG).....	57
2.4. Hipótesis	57
2.4.1. Hipótesis general.....	57
2.4.2. Hipótesis específica.....	58
2.5. Variables	58
2.5.1. Variable Dependiente	58
2.5.2. Variable Independiente.....	58
2.6. Operacionalización de variables.....	59
CAPITULO III MATERIALES Y MÉTODOS	61
3.1. Ámbito temporal y espacial.....	61
3.1.1. Ámbito temporal	61
3.1.2. Ámbito espacial	61
3.2. Tipo de investigación.....	64
3.3. Nivel de investigación	64
3.4. Métodos de investigación	64
3.4.1. Método general	64
3.4.2. Método específico	65
3.5. Diseño de investigación.....	65
3.6. Población, muestra y muestreo.....	66
3.6.1. Población de investigación.....	66

3.6.2. Muestra de investigación	66
3.6.3. Muestreo de la investigación.....	68
3.7. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	68
3.7.1. Técnica de recolección de datos.....	68
3.7.2. Instrumento de recolección de datos.....	69
3.8. Técnica de procesamiento y análisis de datos	70
3.8.1. Técnicas de procesamiento	70
3.8.2. Análisis de datos	72
CAPITULO IV DISCUSIÓN DE RESULTADOS	73
4.1. Análisis de información.....	73
4.1.1. Procesamiento de datos satelitales	73
4.1.2. Procesamiento de datos meteorológicos	80
4.1.3. Integración geoespacial y análisis multitemporal	89
4.1.4. Análisis estadístico y correlacional	94
4.1.5. Análisis de tendencias y evaluación de escenarios	102
4.2. Prueba de hipótesis.....	110
4.2.1. Proceso de prueba de normalidad	110
4.2.1. Proceso de prueba de hipótesis	111
4.3 Discusión de resultados	116
CONCLUSIONES	119
RECOMENDACIONES	121
REFERENCIAS BIBLOGRAFICAS	122
ANEXOS	138
Matriz de Consistencia.....	140

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Evidencias y mecanismos en el cambio climático	39
Tabla 2 Función de los componentes hidrológicos	43
Tabla 3 Factores y mecanismos del ciclo hidrológico.....	44
Tabla 4 Métodos no paramétricos en ciencias naturales	46
Tabla 5 Clasificación de sequías	47
Tabla 6 Aplicación de escalas del SPI.....	49
Tabla 7 Índices espectrales de uso común.....	50
Tabla 8 Componentes hídricos de humedales altoandinos.....	52
Tabla 9 Factores de degradación en humedales altoandinos.....	53
Tabla 10 Comparación de métodos de análisis de tendencias.....	53
Tabla 11 Cuadro de operacionalización de variables	59
Tabla 12 Coordenadas UTM de puntos monitoreados en la Subcuenca media del río Ichu.....	74
Tabla 13 Generalidades del uso del sensor remoto Sentinel - 2.....	75
Tabla 14 Lista de bandas espectrales del satélite Sentinel – 2	76
Tabla 15 Intervalos de valores y clasificación para el NDWI.....	77
Tabla 16 Intervalos de valores y clasificación para el NDVI.....	78
Tabla 17 Intervalos de valores y clasificación para el NDMI	78
Tabla 18 Valores de NDWI, NDVI, NDMI de los puntos de monitoreo obtenidos por geoprocesamiento (Subcuenca media preurbana del río Ichu)	79
Tabla 19 Descripción de funciones de la plataforma CHIRPS	80
Tabla 20 Datos de precipitación mensual (mm/mes) desde el año 1990 al 2025 para el área de estudio (Subcuenca media preurbana del río Ichu).....	82
Tabla 21 Valores y clasificación del Índice de Precipitación Estandarizado (SPI)...	84

Tabla 22 Materiales y dimensiones para el aforamiento de caudal superficial.....	89
Tabla 23 Valores de los caudales (m ³ /s) determinados en el monitoreo de campo (Subcuenca media preurbana del río Ichu)del periodo mayo-diciembre del 2025	90
Tabla 24 Clasificación para los valores de caudales hallados.....	91
Tabla 25 Valores promedios de índices espectrales (NDWI, NDVI, NDMI), Caudal y clasificación correspondiente al periodo mayo-diciembre del 2025 (Subcuenca media preurbana del río Ichu).....	93
Tabla 26 Resultados de prueba de Grubss para el NDWI, Caudal y escalas de SPI. 95	
Tabla 27 Estadística descriptiva de las variables en los puntos de monitoreo	96
Tabla 28 Resultados Test Mann – Kendall +Sen para el NDWI en el periodo mayo-diciembre del 2025.....	103
Tabla 29 Resultados Test Mann – Kendall +Sen para el Caudal del periodo mayo-diciembre del 2025.....	105
Tabla 30 Resultados Test Mann – Kendall +Sen para el SPI-6 del periodo mayo-diciembre del 2025.....	107
Tabla 31 Prueba de normalidad para las variables de estudio.....	110
Tabla 32 Prueba estadística para la hipótesis general.....	112
Tabla 33 Prueba estadística no paramétrica para hipótesis específica 1	113
Tabla 34 Prueba estadística no paramétrica para hipótesis específica 2	114
Tabla 35 Prueba estadística no paramétrica para hipótesis específica 3	115

INDICE DE FIGURAS

Figura 1 Balance radiativo terrestre	38
Figura 2 Cambios de escorrentía en respuesta al calentamiento atmosférico continuo	40
Figura 3 Dinámica del ciclo hidrológico.....	42
Figura 4 Prolongación de una sequía meteorológica a una hidrológica	49
Figura 5 Teledetección aplicada a recursos hídricos.....	51
Figura 6 Ubicación geográfica del área de estudio (Subcuenca media preurbana del río Ichu).....	62
Figura 7 Hidrografía del área de estudio (Subcuenca media preurbana del río Ichu)	63
Figura 8 Selección de bofedales para su estudio (Subcuenca media preurbana del río Ichu) en el periodo 2025	67
Figura 9 Delimitación del área de estudio (Subcuenca media preurbana del río Ichu)	74
Figura 10 Media mensual histórica de precipitaciones (1990-2025) para el área de estudio (Subcuenca media preurbana del río Ichu).....	81
Figura 11 Índice de Precipitación Estandarizado a escala de 3 meses (SPI-3) (1990-2025) para la Subcuenca media preurbana del río Ichu	86
Figura 12 Índice de Precipitación Estandarizado a escala de 6 meses (SPI-6) (1990 – 2025) para la Subcuenca media preurbana del río Ichu	87
Figura 13 Índice de Precipitación Estandarizado a escala de 12 meses (SPI-12) (1990-2025) para la Subcuenca media preurbana del río Ichu	88
Figura 14 Boxplot obtenidos para el NDWI, Caudal y escalas de SPI del periodo mayo-diciembre de 2025 en la Subcuenca media preurbana del río Ichu.....	94
Figura 15 Series temporales (NDWI, Caudal, SPI) en el 2025 para la Subcuenca media preurbana del río Ichu.....	98

Figura 16 Análisis de correlación entre el NDWI – SPI-6 (Variable independiente – variable dependiente) del periodo mayo-diciembre del 2025	99
Figura 17 Análisis de correlación entre el NDWI – Caudal en el periodo mayo-diciembre del 2025	100
Figura 18 Análisis de correlación del Caudal y el SPI-6 (variable independiente – variable dependiente) para el periodo mayo-diciembre del 2025	101
Figura 19 Tendencias para el NDWI del periodo mayo-diciembre del 2025 para la Subcuenca media preurbana del río Ichu	102
Figura 20 Tendencias para el Caudal del periodo mayo-diciembre del 2025 para la Subcuenca media preurbana del río Ichu	104
Figura 21 Tendencias para el SPI-6 del periodo mayo-diciembre del 2025 para la Subcuenca media preurbana del río Ichu	106
Figura 22 Evaluación de escenarios del SPI-6 al 2030 para la Subcuenca media preurbana del río Ichu	108
Figura 23 Respuestas del NDWI, Caudal según categorías del SPI frente a escenarios proyectados hacia el 2030	109
Figura 24 Mapa de ubicación y accesibilidad a los puntos de monitoreo	143
Figura 25 Cálculo de NDWI, NDVI y NDMI realizado el 14/05/2025 (Subcuenca media preurbana del río Ichu)	144
Figura 26 Cálculo de NDWI, NDVI y NDMI realizado el 29/05/2025 (Subcuenca media preurbana del río Ichu)	145
Figura 27 Cálculo de NDWI, NDVI y NDMI realizado el 13/06/2025 (Subcuenca media preurbana del río Ichu)	146
Figura 28 Cálculo de NDWI, NDVI y NDMI realizado el 23/06/2025 (Subcuenca media preurbana del río Ichu)	147
Figura 29 Cálculo de NDWI, NDVI y NDMI realizado el 10/07/2025 (Subcuenca media preurbana del río Ichu)	148

Figura 30 _Cálculo de NDWI, NDVI y NDMI realizado el 23/07/2025 (Subcuenca media preurbana del río Ichu)	149
Figura 31 _Cálculo de NDWI, NDVI y NDMI realizado el 07/08/2025(Subcuenca media preurbana del río Ichu)	150
Figura 32 _Cálculo de NDWI, NDVI y NDMI realizado el 19/08/2025 (Subcuenca media preurbana del río Ichu)	151
Figura 33 _Cálculo de NDWI, NDVI y NDMI realizado el 08/09/2025 (Subcuenca media preurbana del río Ichu)	152
Figura 34 _Cálculo de NDWI, NDVI y NDMI realizado el 21/09/2025 (Subcuenca media preurbana del río Ichu)	153
Figura 35 _Cálculo de NDWI, NDVI y NDMI realizado el 31/10/2025 (Subcuenca media preurbana del río Ichu)	154
Figura 36 _Cálculo de NDWI, NDVI y NDMI realizado el 20/11/2025 (Subcuenca media preurbana del río Ichu)	155
Figura 37 _Cálculo de NDWI, NDVI y NDMI realizado el 05/12/2025 (Subcuenca media preurbana del río Ichu)	156
Figura 38 _Cálculo de NDWI, NDVI y NDMI realizado el 20/12/2025 (Subcuenca media preurbana del río Ichu)	157
Figura 39 Medición de caudal (Subcuenca media preurbana del río Ichu).....	158
Figura 40 _Cálculo matemático de caudal.....	159
Figura 41 _Obtención de datos de precipitación (1990 – 2025) en RStudio para la (Subcuenca media preurbana del río Ichu).....	160
Figura 42 _Obtención de precipitación mensual (1990 - 2025) en el área de estudio (Subcuenca media preurbana del río Ichu) en RStudio.....	160
Figura 43 _Obtención del SPI (1990 – 2025) para la Subcuenca media preurbana del río Ichu en RStudio	161
Figura 44 _Validación de datos en RStudio de variables hidro climáticas periodo mayo – diciembre del 2025 para la Subcuenca media preurbana del río Ichu.....	161

Figura 45	Análisis de correlación de variables RStudio.....	162
Figura 46	Evaluación de escenario del SPI-6 hacia el 2030 en RStudio para la Subcuenca media preurbana del río Ichu	162
Figura 47	Base de datos obtenidos para los puntos de monitoreo del periodo mayo – diciembre del 2025 para el área de estudio (Subcuenca media preurbana del río Ichu)	163
Figura 48	Base de datos obtenidos para SPI y proyección de escenarios.	164

INTRODUCCIÓN

El agua constituye un recurso esencial para la vida, el equilibrio ecológico y el desarrollo de las sociedades; sin embargo, su disponibilidad se ve progresivamente afectada por la variabilidad climática, el uso ineficiente y la degradación ambiental (Villalobos, 2008). En el Perú, los ecosistemas altoandinos ⁷⁴ cumplen un rol estratégico en la regulación hídrica al almacenar y liberar agua de manera gradual, contribuyendo al abastecimiento poblacional y al equilibrio hidrológico de las cuencas (Instituto Nacional de Investigación y Ecosistemas de Montaña, 2023). Investigaciones recientes relacionan que el retroceso glaciar y las modificaciones en los índices de precipitaciones están aumentando la desestabilidad hídrica en las cuencas altoandinas, esto a su vez conlleva a la frecuencia de eventos extremos como sequías e inundaciones (Instituto Geofísico del Perú, 2010).

Los bofedales y humedales altoandinos son considerados sistemas eco hidrológicos fundamentales para la regulación del agua dependiendo de la estación y temporadas climáticas contribuyen al ciclo hidrológico del agua almacenándola o liberándola (Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña, 2023). La ciudad de Huancavelica depende directamente de los aportes hídricos provenientes de la cuenca del río Ichu, donde la disponibilidad de agua superficial está condicionada por procesos climáticos y por la funcionalidad hidrológica de los ecosistemas altoandinos. La intensificación de periodos secos y la evidencia de reducción en la regulación hídrica durante el estiaje evidencian la necesidad de comprender la dinámica de disponibilidad de agua superficial en estos sistemas y su relación con el riesgo de sequías (Ayala Bizarro, 2020).

Ante el incremento en la severidad de las sequías, se hace evidente la falta de estudios que relacionen la disponibilidad hídrica superficial de los ecosistemas altoandinos con eventos extremos en la cuenca del río Ichu. Investigar la disminución de este recurso y proyectar su comportamiento ante escenarios climáticos críticos es fundamental para entender y mitigar los impactos de los fenómenos severos actuales

La presente investigación tiene como finalidad analizar la disponibilidad de agua superficial en los bofedales de la cuenca del río Ichu y su relación con el riesgo de sequías en la ciudad de Huancavelica para el año 2025, mediante el uso de indicadores espectrales de humedad y el Índice Estandarizado de Precipitación como indicador de variabilidad climática.

El informe de investigación se estructura en cinco capítulos. El Capítulo I desarrolla el planteamiento del problema, la formulación de objetivos y la justificación científica del estudio en el contexto hidrológico de la cuenca analizada. El Capítulo II sistematiza los fundamentos teóricos y los antecedentes científicos sobre disponibilidad hídrica en ecosistemas altoandinos, eco hidrología de bofedales y sequía meteorológica, estableciendo el marco conceptual que sustenta el análisis. El Capítulo III define el enfoque metodológico de la investigación, describiendo el diseño de estudio, la delimitación del área de análisis, los procedimientos de obtención de índices espectrales de humedad, el cálculo del Índice Estandarizado de Precipitación, las mediciones de caudal superficial y la aplicación de pruebas estadísticas no paramétricas para el análisis de tendencias, correlaciones y diferencias entre escenarios climáticos. El Capítulo IV presenta el procesamiento de la información, la evaluación temporal de la disponibilidad de agua superficial, el análisis de la relación entre variables hidrológicas y climáticas y la discusión de los resultados en el marco de la dinámica hidrológica de los bofedales. Finalmente, el Capítulo V sintetiza los hallazgos mediante conclusiones técnicas y establece recomendaciones orientadas a la gestión hídrica y al desarrollo de investigaciones futuras en la ciudad de Huancavelica.

1 CAPITULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Descripción del problema

Contemporáneamente el acceso al agua está manifestando problemas globales. Se entiende que este recurso es esencial para la vida pues contribuye también al desarrollo social; el crecimiento poblacional, el cambio climático, el uso inadecuado de agua y el crecimiento poblacional son variables que afectan directamente al riesgo de disponibilidad de este recurso, mostrando su disminución a ritmo preocupante (Centro Nacional de Planeamiento Estratégico, 2023).

Según la Organización de las Naciones Unidas (ONU), el mundo ya enfrenta a la actualidad problemas en la gestión y escasez hídrica, lo cual indica que más de 2.300 millones de personas en el mundo están incluidas a esta problemática, proyectado al año 2050, más del 50 % de la población global subsistirá en condiciones de estrés hídrico severo (Li, 2023), este escenario muestra severidad en las zonas de alta montaña, donde los glaciares, humedales y bofedales son ecosistemas que regulan el agua, estos a su vez, muestran ya un panorama de alteraciones significativas debido al aumento de la temperatura global y los cambios en los patrones de precipitación (Santa Cruz et al., 2022). Justamente los humedales altoandinos vienen a ser uno de los ecosistemas afectados por el cambio climático, estos ecosistemas regulan el ciclo hidrológico, ya que capturan, almacenan agua en las temporadas de pluviosidad y las

liberan a manera gradual en temporadas de estiaje o sequía, su deterioro a nivel mundial está conllevando graves consecuencias para la seguridad hídrica a las poblaciones que están dependientes de estos ecosistemas (Morales Saravia, 2019). Según la Organización Meteorológica Mundial (OMM), la temperatura global está aumentando lo cual conlleva a la evaporación del agua en los humedales de las montañas, que a su vez contribuye la disminución de las precipitaciones lo cual desempeña al desequilibrio en la disponibilidad hídrica (Llosa et al., 2009).

En el nivel nacional, Perú presenta una geografía compleja y la distribución de los recursos hídricos muestra un panorama desigual, la crisis del agua tiende a ser un problema creciente, nuestro país contiene importantes fuentes de agua dulce, a pesar de su gran cantidad su distribución es de manera desigual, claro está, la región costa mantiene mayores índices de población pero presenta escasez crónica de agua y caso inverso en la región sierra y selva, mantienen fuentes naturales como glaciares, ríos, quebradas, nevados y bofedales o también denominados como humedales altoandinos (Autoridad Nacional del Servicio Civil, 2021). Sin embargo, fenómenos como El Niño y la Niña a esto atribuimos el cambio climático, están influyendo en el cambio de patrones de las variables meteorológicas y conlleva también a la frecuencia de eventos extremos, ejemplos como la desglaciación acelerada, impactos en los patrones de precipitación y hasta la frecuencia o aumento de sequías, han mantenido alerta a la sostenibilidad hídrica en muchas poblaciones y comunidades (Pabón Caicedo & Montealegre Bocanegra, 2017). Según datos del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI) y la Autoridad Nacional del Agua (ANA), varias regiones altoandinas están registrando disminución en la disponibilidad de agua superficial, lo que afecta a la producción agrícola, la producción ganadería y el abastecimiento de agua hacia su consumo (Autoridad Nacional del Agua, 2010).

La región de Huancavelica, considerada como una región vulnerable del país enfrenta una crisis hídrica que va en aumento debido a la disminución del agua en sus fuentes naturales, una de las fuentes que abastece a la capital es el río Ichu, su dinámica hidrológica depende en gran medida de los bofedales y de los glaciares Antarazu, Huamanrazu y Ccarhuarazu que contribuyen a su formación y se consolidan dentro de

su cuenca, pero hacia los últimos años, se está observando una disminución progresiva en la disponibilidad de agua superficial en los bofedales, esto genera una preocupación sobre el futuro de abastecimiento hídrico a la ciudad de Huancavelica (Ayala Bizarro, 2020). El decrecimiento del agua en los bofedales puede estar relacionada con diversos factores, como la variabilidad climática, el incremento de la temperatura, los cambios en los patrones de precipitación y la degradación del suelo. La falta de lluvias en ciertas temporadas y la reducción en la capacidad de almacenamiento de los bofedales están generando un mayor riesgo de sequías (Ñahui Martínez, 2021b), lo que podría afectar de manera directa la disponibilidad de agua para consumo humano, agrícola y ganadero en la región.

Por lo tanto, ante la creciente incertidumbre sobre la seguridad hídrica en la región y primordial en la ciudad de Huancavelica, se hace necesario realizar una investigación que analice la disponibilidad de agua superficial en los bofedales de la cuenca del río Ichu y su relación con el riesgo de sequías, para el año 2025. Esta investigación permitirá generar información puntual para la toma de decisiones en materia de gestión del agua y por supuesto a la adaptación al cambio climático, contribuyendo a la formulación de estrategias para garantizar la sostenibilidad hídrica en Huancavelica y otras regiones altoandinas que enfrentan problemáticas similares.

1.2. Formulación del problema

1.2.1. Problema general

¿Cómo influye la disponibilidad de agua superficial de los bofedales de la cuenca del río Ichu en el riesgo de sequías que enfrenta la ciudad de Huancavelica, considerando las variaciones estacionales proyectado en el año 2025?

24 1.2.2. Problemas específicos

1.2.2.1. Problema específico 1.

¿Cuál es el estado actual de conservación de los bofedales en la cuenca del río Ichu y cómo se manifiesta su disponibilidad de agua superficial durante el año?

1.2.2.2. Problema específico 2.

¿Existe una correlación significativa entre la disponibilidad de agua superficial de los bofedales y el Índice de Sequía Estandarizado (SPI) para la ciudad de Huancavelica?

1.2.2.3. Problema específico 3.

¿Cuáles son las proyecciones de disponibilidad de agua de los bofedales y el del riesgo de sequías en la ciudad de Huancavelica para los próximos 5 años?

33 1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Analizar la disponibilidad de agua superficial de los bofedales de la cuenca del río Ichu y su influencia en el riesgo de sequías para la ciudad de Huancavelica, considerando las variaciones estacionales proyectado en el año 2025.

1.2.3.1. Objetivo específico 1.

Evaluar la conservación actual de los bofedales en la cuenca del río Ichu y determinar su disponibilidad de agua superficial durante el periodo 2025.

1.2.3.2. Objetivo específico 2.

Determinar la magnitud de la correlación entre la disponibilidad de agua superficial de los bofedales y el Índice de Sequía Estandarizado para la ciudad de Huancavelica.

1.2.3.3. Objetivo específico 3.

Estimar proyecciones y proponer escenarios futuros de disponibilidad de agua superficial de los bofedales y el riesgo de sequias en la ciudad de Huancavelica para los periodos a 5 años.

1.4. Justificación

En los últimos años, la disponibilidad de agua se mantiene como un factor determinante para la sostenibilidad ambiental en nuestro país. No obstante, las fuentes o cuerpos que garantizan el abastecimiento hídrico están experimentando alteraciones críticas en sus regímenes estables. Dado que los ríos se originan en las zonas altoandinas, es importante la evaluación consistente de los ecosistemas que los sustentan. Los bofedales o humedales altoandinos destacan por su función de regulación y almacenamiento de agua, pero el incremento de actividades antrópicas y el cambio climático degradan sus capacidades y aporte a la seguridad hídrica. El incremento de insolación, prolongación de sequias y cambios en la dinámica de las precipitaciones están generando preocupación lo cual induce a estudiar a carácter científico estos fenómenos.

1.4.1. Social

El estudio demuestra que ⁶⁷ el acceso al agua es fundamental para el desarrollo de la población de Huancavelica, el identificar los factores que provocan la reducción de agua permite proponer soluciones de rigurosidad científica hacia la seguridad hídrica en las siguientes generaciones.

1.4.2. Ambiental

Esta investigación evaluará el estado actual de los humedales altoandinos (bofedales) y su tendencia de variabilidad de agua disponible. Estos ecosistemas, situados en cabeceras de cuenca no solo sustentan el abastecimiento de agua, sino que actúan como sumideros de carbono y habitas esenciales para la biodiversidad, la degradación de estos ecosistemas aumenta su vulnerabilidad a fenómenos

meteorológicos extremos, por ello esta investigación identifica los efectos del cambio climático y su importancia de mantener el equilibrio ambiental.

1.4.3. Práctico

Los resultados de esta investigación tendrán utilidad para investigaciones consecutivas y para algunos organismos públicos de interés, informando de la toma de decisiones que se pueden concretar e implementar medidas de adaptación, orientar el uso eficiente del recurso y fortalecer la gestión técnica en la cuenca del río Ichu.

¹ CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

2.1.1. A nivel internacional

Pérez et al. (2024), realizaron un estudio¹ en la cuenca del río Guachal (GRB) en el departamento del Valle del Cauca, Colombia denominado³¹ *Disentangling the socio-natural dynamics of drought and water scarcity in Colombia's Tropical Andes*, el estudio determino que la problemática no es solo climática, sino resultados de cambios en uso del suelo y el consumo excesivo de agua por parte de sectores económicos dominantes dedicados en la producción de caña de azúcar, estos factores antropogénicos, sumados a las sequias intensificadas por el fenómeno El Niño (ENSO), exacerbaron la crisis en la región. La investigación critica las respuestas políticas actuales por ser reactivas e ineficaces ante los impulsores estructurales de largo plazo y para mejorar la gestión se propuso nuevos indicadores de sequía, inventario de daños y mecanismos de control de demanda. Finalmente destacaron la necesidad de integrar los sistemas humanos y naturales para fortalecer la ciencia de la sequía y participación social.

Belay et al. (2024), realizaron un trabajo de investigación titulado *Estimation of spatially distributed groundwater recharge in data-scarce regions*, donde evaluaron métodos de estimación de recarga de aguas subterráneas en la cuenca alta del río Beles, Etiopía, una zona con limitados datos hidrometeorológicos. Aplicaron los enfoques WetSpass, Fluctuación del Nivel Freático (WTF) y Balance de Masa de Cloruros (CMB), integrando sensores remotos y mediciones in situ. Los resultados revelaron variabilidad espacial con promedios anuales de 420 mm, 308 mm y 365 mm, respectivamente. Se halló una correlación del 72 % entre WetSpass y WTF, validando la utilidad de datos satelitales en regiones con escasas estaciones. El estudio determinó que la recarga es influenciada por el uso del suelo, la pendiente y la precipitación según la zona. Finalmente, se concluyó que la teledetección mejora la precisión de las estimaciones, siendo clave para la gestión sostenible en áreas vulnerables.

Romero Calle & Vera Chávez (2023), realizaron un estudio titulado ³⁶ *Evaluación del agua subterránea de bofedales para la provisión de agua en la comunidad Micaya*, analizaron la disponibilidad y sostenibilidad del agua subterránea en los bofedales de la comunidad Micaya, en el altiplano boliviano. Mediante un enfoque integral que incluyó balances hídricos, ensayos geotécnicos y geofísicos, el estudio determinó una creciente escasez hídrica causada por la reducción de la recarga natural y el retroceso glaciar. Los resultados revelaron déficits hídricos significativos en periodos secos y una capacidad limitada de los suelos para retener agua a largo plazo. Se identificó que estos humedales dependen críticamente del flujo subterráneo, por lo que su sobreexplotación aceleraría la degradación del ecosistema. Ante estos hallazgos, los autores enfatizaron la necesidad de implementar infraestructuras de captación y estrategias de manejo sostenible. Finalmente, resaltaron la importancia de integrar estudios hidrogeológicos en la planificación local para garantizar un uso eficiente del recurso en zonas de alta vulnerabilidad climática.

Chávez et al. (2023), en su investigación titulada *Andean peatlands at risk? ¹¹ spatiotemporal patterns of extreme NDVI anomalies, water extraction and drought severity in a large-scale mining area of Atacama, northern Chile*, analizaron los patrones espacio - temporales ³⁷ de anomalías extremas del NDVI, la extracción de agua

y la **severidad de la sequía en Atacama, Chile**. Mediante el uso de imágenes Landsat (1986-2018), evaluaron 442 bofedales identificando cambios críticos en su productividad. La metodología integró el índice climático SPEI con la distribución geoespacial de derechos de agua otorgados a la industria extractiva. Los resultados revelaron que el NDVI del verano austral se correlacionó significativamente con la severidad de la sequía durante el pico de la temporada de crecimiento. Se concluyó que, aunque la precipitación y la temperatura influyen mayormente en la productividad, el aumento histórico en la extracción de agua plantea riesgos de degradación a largo plazo. Este estudio destaca la vulnerabilidad de los humedales altoandinos frente a la presión industrial y climática, subrayando la importancia de monitorear anomalías extremas para su conservación.

Jafarzadeh et al. (2022), en su trabajo de investigación titulado *Remote Sensing and Machine Learning Tools to Support Wetland Monitoring: A Meta-Analysis of Three Decades of Research*, realizaron una revisión sistemática de tres décadas de investigación sobre el uso de sensores remotos y aprendizaje automático en el monitoreo de humedales. Al evaluar 344 estudios, determinaron que la combinación de datos satelitales con algoritmos avanzados mejoró significativamente la precisión en la clasificación de cobertura y detección de cambios. El estudio destacó que el uso de imágenes multiespectrales y de radar (SAR), con modelos de aprendizaje profundo, optimizó la observación incluso ante nubosidad. Asimismo, se evidenció una tendencia hacia **el uso de plataformas como Google Earth Engine para el procesamiento masivo de datos**. La investigación concluyó que el monitoreo efectivo requiere la integración de múltiples fuentes de información para la conservación de estos ecosistemas. Finalmente, resaltaron la necesidad de políticas públicas que fomenten la teledetección en la planificación ambiental y la gestión de recursos vulnerables.

Bustos Castelblanco (2021), en su investigación titulada *Análisis de la disponibilidad hídrica superficial en la cuenca alta y media del río La Vieja bajo escenarios de cambio climático*, evaluó la disponibilidad hídrica superficial en la cuenca del río La Vieja bajo escenarios de cambio climático y variaciones en el uso del suelo. Utilizó herramientas hidroeinformáticas y Modelos de Circulación General,

calibrados mediante la eficiencia de Nash - Sutcliffe, para simular la oferta hídrica futura. Los hallazgos determinaron que la escasez no depende de la cantidad total de agua, sino de su distribución temporal, con déficits críticos en periodos secos. Se identificó que municipios como Armenia y Quimbaya presentan déficit hídrico persistente en todas las proyecciones realizadas. El estudio concluyó que la variabilidad climática impacta directamente en la estabilidad del recurso, sugiriendo medidas como la reforestación y la construcción de infraestructura de almacenamiento. Finalmente, se resaltó la necesidad de regular la actividad agropecuaria para garantizar la seguridad hídrica a largo plazo en la región.

Wickel et al. (2021), realizaron un trabajo de investigación titulado *Monitoreo hidro-ecológico y modelación de bofedales de altura en la cuenca Katari*, donde evaluaron la dinámica eco-hidrológica de los bofedales altoandinos en la cuenca Katari, Bolivia, mediante datos satelitales y modelación hidrológica. Utilizaron imágenes Landsat (1984-2020) e índices espectrales como el NDVI y el MNDWI para realizar un análisis multitemporal de la cobertura vegetal y el agua superficial. A través de la herramienta WEAP, desarrollaron un modelo conceptual para analizar la oferta y demanda hídrica, evidenciando que la variabilidad de estos humedales depende de la disponibilidad de agua y el retroceso glaciar. Los resultados mostraron que el NDVI alcanza su máximo en la estación húmeda, mientras que el MNDWI reflejó la dependencia de la escorrentía por derretimiento. Se concluyó que la disminución de glaciares impacta negativamente la recarga y regulación hídrica futura. El estudio resaltó que el monitoreo con sensores remotos es clave para la gestión sostenible frente a la variabilidad climática y las actividades antropogénicas. Finalmente, se enfatizó la necesidad urgente de medidas de conservación para la estabilidad hídrica.

Shi et al. (2021), en su investigación titulada *Using Time Series Optical and SAR Data to Assess the Impact of Historical Wetland Change on Current Wetland in Zhenlai County, Jilin Province, China*, evaluaron el impacto del cambio histórico en los humedales de Zhenlai, China, empleando series de tiempo de datos ópticos y SAR. La investigación generó mapas anuales de resolución de 30 m (1985-2018) mediante Landsat en Google Earth Engine para explorar procesos de degradación.

Metodológicamente, integraron datos de Sentinel-1B y Sentinel-2 para identificar periodos estables de degradación y restauración con alta resolución temporal. Los resultados permitieron clasificar zonas vulnerables y transformaciones del suelo utilizando el algoritmo de Bosque Aleatorio (RFC). Se determinó que la combinación de datos multitemporales S12' ofreció mayor precisión en el mapeo de dinámicas hídricas. El estudio concluyó que la calidad ecológica es resultado integral de las trayectorias históricas del uso de la tierra, el régimen pluvial y el retorno de agua de actividades agrícolas. Finalmente, se resaltó que la integración de sensores es fundamental para comprender la evolución y vulnerabilidad de estos ecosistemas.

Mukherjee (2020), en su investigación titulada *Wetland habitat stability assessment in hydro-geomorphological (HGM) and surface water availability (SWA) conditions in a lower Gangetic floodplain region of Eastern India*, analizó la estabilidad de los humedales en la llanura del río Ganges, India, evaluando condiciones hidro-geomorfológicas y la disponibilidad de agua superficial. Mediante imágenes Landsat, clasificación difusa e índices compuestos, el estudio determinó que hasta un 24 % de los humedales enfrenta un alto riesgo de degradación, mientras que solo un 11 % muestra alta estabilidad. Los hallazgos revelaron un incremento en la fluctuación estacional del nivel hídrico, sugiriendo una tendencia a la desecación en periodos de sequía. Se identificó que el 77 % de estos ecosistemas depende críticamente del flujo subterráneo y la conectividad fluvial. La validación mediante curvas ROC y el índice Kappa confirmó la precisión del método difuso para delimitar zonas vulnerables. El estudio concluyó que la degradación está vinculada a la pérdida de conexión con cuerpos fluviales, recomendando el monitoreo basado en teledetección para fortalecer la planificación hídrica y la conservación de estos hábitats.

Pérez-Cutillas et al. (2020), en su investigación titulada *Climate change impacts on water provision capacity in a high-mountain Mediterranean basin*, analizaron los efectos del cambio climático en la capacidad de provisión hídrica de la cuenca del río Ródano, entre Suiza y Francia. El objetivo fue comprender la disponibilidad futura de agua y variaciones del balance hídrico según factores altitudinales. Mediante un modelo de servicios ecosistémicos, evaluaron 5 escenarios

climáticos, incluyendo periodos actuales y proyecciones futuras bajo trayectorias de concentración RCP 4.5 y 8.5. Los resultados proyectaron una reducción significativa del caudal, hasta 30% en las condiciones más críticas hacia finales de siglo. Se identificó que las áreas de alta montaña, dependientes del deshielo, son las más sensibles y vulnerables a estos cambios. El estudio concluyó que las diferencias en el balance hídrico final están condicionadas por rasgos altitudinales. Esto permite comparar la situación actual con proyecciones futuras para identificar áreas de intervención prioritaria. Finalmente, la investigación destacó la importancia de evaluar la interacción entre ecosistemas y servicios esenciales ante el calentamiento global.

Houshang Ehsani & Shakeryari (2020), en su trabajo de investigación titulado *Monitoring of wetland changes affected by drought using four Landsat satellite data and Fuzzy ARTMAP classification method (case study Hamoun wetland, Iran)*, analizaron los cambios en los humedales de Hamoun, Irán, causados por sequías y actividades antropogénicas. Mediante imágenes Landsat (1977-2014) y el método de clasificación Fuzzy ARTMAP, realizaron una detección multitemporal de la cobertura hídrica. Los resultados revelaron reducciones críticas de superficie en las primeras fases debido a la disminución del flujo del río Hirmand, aunque se registró una recuperación del 9.23 % hacia 2014 por la conservación. Se identificó una correlación directa entre la retracción del humedal, el aumento de tormentas de polvo y la reducción del NDVI. El análisis meteorológico confirmó que el incremento de sequías y la menor precipitación exacerbaron la degradación del ecosistema. El estudio concluyó que los métodos de clasificación avanzados permiten un monitoreo preciso para la toma de decisiones. Finalmente, se resaltó la importancia de la gestión política climática para mitigar la desertificación en estos ecosistemas vulnerables.

Yager et al. (2019), en su investigación titulada *Socio-ecological dimensions of Andean pastoral landscape change: bridging traditional ecological knowledge and satellite image analysis in Sajama National Park, Bolivia*, analizaron las transformaciones en los paisajes pastorales del Parque Nacional Sajama, integrando el conocimiento ecológico tradicional con el análisis de imágenes satelitales Landsat (1986-2016). Los resultados revelaron una reducción crítica de bofedales saludables,

los cuales disminuyeron de 33.8 km² a 21.7 km², mientras los pastizales secos se cuadruplicaron en el mismo periodo. Las comunidades aymaras identificaron como causas la escasez hídrica, cambio climático y la pérdida de prácticas comunitarias. Sin embargo, se demostró que la infraestructura de riego colectiva permitió conservar mejor estos ecosistemas en zonas específicas. El estudio concluyó que la integración de saberes locales y teledetección ofrece una comprensión detallada de los cambios socioecológicos. Asimismo, se enfatizó que fortalecer el manejo comunitario del agua es fundamental para la sostenibilidad de los bofedales. Finalmente, la investigación resaltó la importancia de la gestión hídrica ante los efectos climáticos globales.

Choubin et al. (2016), realizaron un trabajo de investigación titulado *Application of several data-driven techniques to predict a Standardized Precipitation Index*, donde evaluaron la precisión de modelos de predicción de sequías en la cuenca de Maharlu-Bakhtegan, Irán, una región caracterizada por su alta variabilidad climática. El estudio empleó tres enfoques: sistemas neurodifusos (ANFIS), árboles de decisión (M5P) y redes neuronales (MLP), analizando 25 señales climáticas globales para predecir el Índice de Precipitación Estandarizado (SPI). Los resultados demostraron que el modelo MLP obtuvo el mejor rendimiento en predicciones a corto plazo, especialmente al incorporar índices climáticos del mes previo. Por su parte, M5P y ANFIS destacaron en proyecciones de mayor anticipación, aunque el primero tendió a subestimar eventos extremos. Los hallazgos resaltaron que el uso de inteligencia artificial y señales climáticas globales mejora significativamente la previsión de sequías. El estudio concluyó que estas herramientas son fundamentales para la gestión eficiente de recursos hídricos en zonas áridas. Finalmente, se validó la eficacia de estos modelos mediante indicadores estadísticos y diagramas de Taylor.

Paredes & Guevara (2013), en su investigación titulada *A probabilistic model for the prediction of meteorological droughts in Venezuela*, desarrollaron y validaron un modelo probabilístico para la predicción temprana de sequías meteorológicas en Venezuela, utilizando datos de 632 estaciones pluviométricas y el índice estandarizado de precipitación (SPI). La metodología incluyó un análisis de componentes principales para delimitar subregiones homogéneas y un análisis de correlación desfasada entre

series del SPI y anomalías de variables macroclimáticas. El modelo, fundamentado en cuatro variables macroclimáticas y cuatro rangos de SPI, permitió identificar la probabilidad de ocurrencia de eventos de sequía con una precisión validada de entre el 85.19 % y el 100 %. Los resultados demostraron que la regionalización de anomalías de precipitación y la selección rigurosa de predictores son aspectos cruciales para la exactitud predictiva. Se concluyó que el modelo es una herramienta altamente eficaz para la alerta temprana frente a fenómenos de sequía a nivel nacional. Finalmente, el estudio resaltó la importancia de utilizar modelos probabilísticos para fortalecer la gestión del riesgo climático y la planificación hídrica.

Espinosa et al. (2011), en su trabajo de investigación titulado ⁴² *Análisis multitemporal de cambios ocurridos en humedales utilizando imágenes satelitales. Período 1984 – 2011*, evaluaron la evolución de los humedales altoandinos en Chile, mediante sensores remotos y técnicas de análisis espacial. Utilizando imágenes ASTER y Landsat, aplicaron algoritmos de detección de cambios y el índice NDVI para identificar variaciones en la cobertura vegetal y la disponibilidad hídrica. Los resultados evidenciaron modificaciones significativas y una tendencia a la disminución de la vegetación debido a la extracción de agua, turismo y la expansión agropecuaria. Se identificó una reducción crítica en los niveles de humedad en humedales como Tebinquinche y Aguas Calientes entre 2000 y 2010. El estudio reveló que la estabilidad de la cobertura vegetal depende directamente del agua en el suelo y la disponibilidad hídrica superficial. Los hallazgos subrayaron la importancia de la teledetección para monitorear patrones de deterioro en el tiempo. Finalmente, se propusieron estrategias de mitigación ante el impacto antropogénico y el cambio climático para la conservación de estos ecosistemas.

2.1.2. A nivel nacional

Ángeles Clemente et al. (2024), en su investigación titulada ²² *Comparison between Standardized Precipitation Index (SPI) and Standardized Evapotranspiration Index (SPEI) for Agricultural Drought over Mantaro Valley, Peru*, compararon los índices ¹¹ SPI y SPEI en el Valle del Mantaro, Perú, para evaluar su eficacia en la

identificación de sequías agrícolas y su relación con la variabilidad climática andina. Analizando datos de seis estaciones meteorológicas entre 1990 y 2021, determinaron que el 30% del periodo presentó condiciones de sequía. El estudio halló que el SPI distingue con mayor precisión las estaciones húmedas y secas, mientras que el SPEI identifica con más frecuencia eventos moderados a extremos al integrar la temperatura y el calentamiento global. El análisis estadístico mediante el índice de Kappa evidenció una concordancia sustancial, aunque no perfecta, entre ambos indicadores. Asimismo, se observó que la duración y severidad de las sequías fueron más persistentes en escalas temporales de 12 meses. La investigación concluyó que el SPEI es más adecuado para regiones con alta variabilidad térmica como los Andes peruanos. No obstante, el SPI se mantiene como una herramienta útil ante la falta de datos de temperatura. Finalmente, se resaltó la importancia de seleccionar el índice según la disponibilidad de información y los objetivos de gestión hídrica.

Gribbin et al. (2024), en su investigación titulada *Bofedal wetland and glacial melt contributions to dry season streamflow in a high-Andean headwater watershed*, analizaron el papel de los bofedales y el derretimiento glaciar en la regulación del caudal base de una cuenca altoandina en el sur. El estudio empleó un enfoque basado en isótopos estables y mediciones de caudal durante la transición de la temporada húmeda a seca en 2022. Los resultados indicaron que los bofedales desempeñan el papel de regulación hídrica, aportando entre un 9% y un 20% del flujo total del río durante el estiaje. Se identificó que, mientras el flujo glaciar se redujo drásticamente, el agua almacenada en los bofedales mantuvo el suministro hídrico, a pesar de experimentar procesos de evaporación. La investigación determinó que la pérdida de cobertura de nieve ocurre rápidamente al inicio del estiaje, dejando a estos humedales como la principal fuente de agua estable. Se concluyó que los bofedales actúan como reservas temporales que amortiguan los efectos de la estacionalidad ante el retroceso glaciar por el cambio climático. Finalmente, el estudio resaltó la importancia de estos ecosistemas para garantizar la disponibilidad hídrica después de las lluvias.

Talaverano et al. (2024), en su investigación titulada *Variación temporal de bofedales andinos utilizando tecnología de información geográfica en el distrito de*

Uranmarca, Apurímac - Perú, analizaron la variabilidad espacio-temporal de los bofedales en Uranmarca, utilizando tecnologías de información geográfica e imágenes Landsat 8 y 9. Mediante la aplicación de índices espectrales como el NDVI y el NDII, se evaluaron los cambios en la humedad superficial y la vegetación de estos ecosistemas. Los resultados revelaron fluctuaciones significativas, con una superficie que alcanzó su máximo en 2017 y disminuyó drásticamente hacia 2020. Se determinó una pérdida neta de 55,255.49 m² en una década, evidenciando un proceso de degradación vinculado a la variabilidad climática y factores antrópicos. El estudio concluyó que estos bofedales mantienen la regulación hídrica y el abastecimiento de las comunidades locales. Se identificó que la alteración de estos humedales compromete la disponibilidad de agua en las microcuencas. Finalmente, se recomendó la instalación de miras hidrométricas para fortalecer el monitoreo hídrico in situ.

Paredes Gomez (2023), en su investigación denominada ¹² *Característica fisicoquímica de las aguas superficiales del bofedal alto andino Guitarrachayocc, Distrito de Paras, Cangallo – Ayacucho, 2018 - 2019*, evaluó las características fisicoquímicas del agua superficial en el bofedal Guitarrachayocc, el estudio se desarrolló a 4,586 m.s.n.m., estableciendo 14 estaciones de muestreo en sistemas lénticos y lóticos para analizar parámetros de pH, conductividad y dureza. Los resultados revelaron alta heterogeneidad espacial y temporal, con variaciones significativas entre riachuelos y agua estancados. Se identificaron niveles de CE de hasta 1,149.1 µS/cm y condiciones de acidez con pH de 3.0 en ciertos sectores lénticos. Estos hallazgos evidenciaron un mayor grado de mineralización e influencia de procesos geológicos y materia orgánica en descomposición. La investigación concluyó que la calidad del agua está condicionada por la estacionalidad, la geología local y la presión antrópica. Finalmente, se resalta ⁵ la vulnerabilidad de estos ecosistemas ante el cambio climático. El estudio subrayó la importancia de monitorear la composición química para comprender la salud integral de los bofedales altoandinos.

Sulca & Joaquin (2023), en su investigación titulada *Influencia de la variabilidad climática en la dinámica espacio-temporal de los bofedales altoandinos en la microcuenca Chicllarazo. Periodo 1988-2022*, evaluaron el impacto de la

variabilidad climática en los bofedales de la microcuenca Chicllarazo, utilizando imágenes Landsat y Sentinel-2, aplicaron el índice NDVI y pruebas estadísticas de Mann-Kendall para analizar la dinámica de estos ecosistemas. ⁶⁰ Los resultados determinaron que la precipitación acumulada predomina en la extensión de los bofedales, con una dependencia del 48.38 %, mientras que la temperatura no mostró influencia significativa. El estudio registró la reducción anual del 6.8 % en la cobertura vegetal, acumulando una pérdida total de 2,656.3 ha. vinculada a periodos secos. Se identificó vulnerabilidad alta ante el cambio climático, evidenciando que la estabilidad de estos humedales depende de la disponibilidad hídrica (pluvial/glaciar). La investigación concluyó que la variabilidad climática condiciona severamente la dinámica estacional de los humedales. Finalmente, se resaltó la importancia de la teledetección para monitorear la degradación de estos reguladores hídricos.

Ross et al. (2023), en su investigación titulada *Seasonal water storage and release dynamics of bofedal wetlands in the Central Andes*, analizaron los procesos de almacenamiento y liberación de agua en bofedales de la cuenca Vilcanota-Urubamba, el estudio combinó imágenes Sentinel-2 con monitoreo in situ mediante registradores ultrasónicos para comprender la variabilidad estacional y la contribución al flujo base. Los resultados mostraron una marcada fluctuación en la cobertura, que se expandió significativamente tras la estación húmeda. Se estimó que estos humedales contribuyeron con hasta el 74 % del flujo total en la estación seca, con tiempos de retardo de hasta 32 días. La investigación evidenció que los bofedales actúan como reguladores clave para la seguridad hídrica en las cabeceras andinas. Se determinó una relación directa entre la extensión del ecosistema y la disponibilidad de agua en periodos de déficit. Sin embargo, se resaltó su vulnerabilidad ante el cambio climático y el aumento de la evaporación. El estudio concluyó que la degradación de estas áreas comprometería la regulación hidrológica futura. Finalmente, se validó el rol de los bofedales como almacenadores críticos de agua en los Andes Centrales.

Villar Acevedo (2023), en la investigación denominada ⁶ *Desarrollo de un sistema de monitoreo para la evaluación de bofedales por medio de la observación terrestre*, diseñó un sistema de monitoreo basado en teledetección para evaluar

bofedales en la microcuenca Yuracmayo, la metodología integró imágenes Landsat, Sentinel-2 y reanálisis con GloFAS-ERA5 con mediciones de campo para caracterizar la respuesta hidrológica. Los resultados identificaron una tendencia creciente en la temperatura y una reducción sostenida de caudales, evidenciando un deterioro del balance hídrico. Se determinó que la cobertura de bofedales disminuyó más del 50 % entre 2017 y 2021, afectando su capacidad de almacenamiento. Asimismo, se registró una reducción del 20 % en la regulación hidrológica de la microcuenca entre 1984 y 2014. El estudio concluyó que la degradación de estos ecosistemas compromete la retención y liberación gradual de agua hacia el río Rímac. Se halló que las bajas tasas de infiltración indican un estado de funcionalidad ecosistémica crítica en zonas degradadas. Finalmente, la investigación demostró que la observación terrestre es una herramienta eficaz para el monitoreo continuo de humedales altoandinos.

Cuadros et al. (2022), en su investigación titulada *Diseño de metodología para la evaluación de la calidad de bofedales por teledetección*, propusieron una metodología para evaluar la calidad y extensión de los bofedales en Moquegua, mediante técnicas de teledetección con imágenes satelitales y drones. El estudio integró sensores de diversa resolución, como Sentinel-2, Skysat y drones de alta precisión, complementados con evaluaciones de campo. Se establecieron como indicadores principales la humedad, la estacionalidad (vía NDMI) y la vegetación dominante según su contribución ecosistémica. Los resultados determinaron que los bofedales permanentes poseen una mayor calidad ambiental por su capacidad para acumular turba y regular el agua. Se observó que la degradación vegetal por sobrepastoreo o plagas puede ocurrir independientemente de los cambios en la humedad del suelo. La investigación concluyó que es necesario evaluar estos indicadores de forma separada para una interpretación precisa. Finalmente, se validó la eficacia del modelo conceptual para la gestión de humedales altoandinos.

Baldoceda et al. (2022), en su investigación titulada *Análisis del porcentaje de humedad, materia orgánica y porosidad del suelo de dos tipos de bofedales*, evaluaron la relación entre humedad, materia orgánica y porosidad en dos bofedales de la Reserva Paisajística Nor Yauyos Cochas: uno natural (Huachipampa) y otro manejado (Tambo

Real). Mediante enfoque cuantitativo y análisis de laboratorio en distintas temporadas, los resultados evidenciaron que el bofedal natural presentó porosidad estable entre 40% y 60%, mientras que el manejado mostró variabilidad inestable de hasta 76%. En Huachipampa, la humedad alcanzó picos del 91.18% asociados a la especie *Distichia muscoides*, clave en la formación de turba. Por el contrario,⁹³ en Tambo Real, la humedad dependió directamente de la influencia de los canales de infiltración. El estudio determinó que el contenido de materia orgánica fue significativamente mayor en el sistema natural, favoreciendo la retención hídrica a largo plazo. Se concluyó que los bofedales manejados presentan capacidades hídricas fluctuantes según su mantenimiento. Finalmente, se resaltó que la estructura del suelo y la acumulación de turba son determinantes para la estabilidad físico-química de estos ecosistemas.

Oshun et al. (2022), en su investigación titulada *Seasonal water storage in peat-forming bofedales sustains baseflow in the Andes*, analizaron el papel de los bofedales altoandinos como reguladores hídricos en la microcuenca Upper Ramuschaka, en los Andes Centrales. Mediante un enfoque integral que combinó monitoreo de humedad, aguas subterráneas, geofísica y análisis hidroquímico, el estudio evaluó la estructura hidráulica de estos ecosistemas durante tres años.⁶⁴ Los resultados demostraron una relación positiva entre la cobertura de bofedales y el caudal base, capturando agua de áreas significativamente mayores a su tamaño. Se estimó que estos humedales almacenan aproximadamente 105,000 m³ de agua, aportando hasta el 98% del flujo total en la estación seca. La investigación determinó que la capacidad de regulación depende de la profundidad de la turba y la presencia de capas arcillosas. Se concluyó que los bofedales son críticos para la seguridad hídrica y la mitigación del estrés hídrico superficial. Finalmente, el estudio cuantificó la contribución hidrológica de la turba en la liberación gradual de agua hacia los ríos.

Gómez-Sánchez et al. (2022), en su investigación titulada *Análisis de la dinámica hídrica de los bofedales altoandinos y su relación con la variabilidad climática en la región sur del Perú*, estudiaron el comportamiento hidrológico de los bofedales frente a las fluctuaciones climáticas. La metodología integró sensores remotos, monitoreo con piezómetros y drones para analizar la humedad del suelo en

Puno, Cusco y Arequipa. Los resultados determinaron que suelos con más del 20% de MO retienen hasta el 85% de la precipitación, mientras que bofedales degradados perdieron el 35% de su capacidad de regulación en dos décadas. Se identificó una correlación significativa entre la variabilidad climática y la disponibilidad hídrica, registrando una disminución del 12% en la superficie hídrica asociada a valores negativos del SPI. La investigación concluyó que estos ecosistemas atenúan efectos de la sequía y regulan el flujo en cabeceras de cuenca. El estudio resaltó que el sobrepastoreo y el drenaje artificial aceleran la pérdida de almacenamiento hídrico. Finalmente, se validó la importancia de la turba en la seguridad hídrica regional.

Rascón et al. (2021), en su investigación denominada *Dry and Wet Events in Andean Populations of Northern Peru: A Case Study of Chachapoyas, Peru*, analizaron la variabilidad climática en Chachapoyas, mediante los índices SPI y SPEI durante el periodo 1981-2019. La metodología empleó datos de estaciones locales y del conjunto PISCO-SENAMHI para evaluar eventos secos y húmedos en diversas escalas temporales. Los resultados mostraron una tendencia creciente de eventos húmedos extremos recientemente, mientras que la sequía más severa se registró en 1993, afectando la disponibilidad hídrica. Se halló una alta correlación entre ambos índices, especialmente en escalas de 12 y 24 meses, validando su eficacia en la detección de déficits hídricos. El estudio reveló que cambios en la precipitación y temperatura impactan críticamente en el abastecimiento humano y agrícola. Se concluyó que el balance hídrico regional es sensible a la reducción de lluvias durante periodos secos. Finalmente, la investigación enfatizó la necesidad de fortalecer el monitoreo hidrometeorológico para prever eventos extremos.

Pauca-Tanco et al. (2020), en su investigación titulada *Análisis espacio-temporal y climático del humedal altoandino de Chalhuanca (Perú) durante el periodo 1986-2016*, evaluaron la variación de los bofedales en Chalhuanca, La metodología integró imágenes Landsat 5, 7 y 8, el cálculo del NDVI y el análisis de series de tiempo de temperatura y precipitación. Los resultados mostraron que el área de los bofedales aumentó a razón de 12 ha/año, alcanzando 882.52 ha al final del periodo. Se identificó incremento decadal en la precipitación como en las temperaturas (máx./mín.) El

estudio halló una correlación significativa entre la precipitación y la cobertura vegetal ($r=0.92$), sugiriendo que el aumento de lluvias favoreció la expansión del humedal. No obstante, la relación con la temperatura fue menos marcada, indicando posibles efectos indirectos del calentamiento global mediante la fusión glaciaria. Se concluyó que la dinámica de ecosistemas depende críticamente de la variabilidad hídrica superficial. Finalmente, la investigación resaltó la utilidad de las pruebas estadísticas y la teledetección para comprender la respuesta de los humedales ante cambios climáticos.

Alberto Castillo & Joseli Matos (2019), en su investigación ³² *Evaluación del estado ambiental del bofedal altoandino 'Yanacancha' comunidad campesina de Miraflores - Yauyos 2019*, analizaron el estado ambiental del bofedal Yanacancha, mediante un diseño no experimental longitudinal, evaluaron la calidad hídrica, suelo, flora y fauna en temporadas húmeda y seca. Los resultados revelaron alteraciones significativas por factores antropogénicos y climáticos, destacando la presencia de metales pesados que exceden los ECA. Se identificó reducción de la cobertura vegetal por sobrepastoreo y disminución del nivel freático en el estiaje. El estudio evidenció que la variabilidad climática afecta la dinámica hídrica, mermando el caudal y la estabilidad del ecosistema en periodos de sequía. Se concluyó que, aunque el bofedal es un reservorio y regulador hidrológico fundamental, presenta una alta vulnerabilidad. Finalmente, la investigación subrayó la importancia de conservar estos hábitats para mantener la provisión de servicios ecosistémicos y la biodiversidad endémica

Otto & Gibbons (2017), en su investigación titulada ²⁰ *Potential Effects of Projected Decrease in Annual Rainfall on Spatial Distribution of High Andean Wetlands in Southern Peru*, analizaron el impacto de la disminución proyectada de precipitaciones de distribución espacial en los humedales altoandinos del sur, utilizando la teledetección, determinaron que estos ecosistemas representan el 2.5% del área total de la región. La investigación estableció una correlación significativa ($R^2=0.82$) entre la precipitación media anual y la presencia de bofedales, proyectando pérdidas totales en microcuencas áridas ante la reducción de lluvias. Los resultados mostraron que la densidad de humedales es mayor en cuencas con más de 1000 mm anuales, mientras que zonas con menos de 500 mm presentan una vulnerabilidad

crítica a la aridización. Se evidenció que la menor pluviosidad no solo reducirá la extensión de bofedales, sino también su capacidad de almacenamiento hídrico. El estudio concluyó que el cambio climático compromete el rol regulador de estos ecosistemas en el flujo base de los ríos. Finalmente, se resaltó la importancia de considerar estas proyecciones climáticas para la gestión del recurso hídrico

¹ 2.1.3. *A nivel local*

Maldonado-Fonkén et al. (2024), en su investigación titulada ³⁵ *Plant communities of high-Andean bofedal wetlands across a trans-Andean transect in southern Peru*, caracterizaron comunidades vegetales de bofedales en un transecto entre Ayacucho - Huancavelica para evaluar su diversidad y distribución en relación con factores ambientales. Se identificaron 13 comunidades vegetales dominadas por especies como *Distichia muscoides*, presente en el 90% de los sitios muestreados. La composición y abundancia de especies se relacionó con variables ambientales como la elevación, humedad del suelo y la profundidad de la napa freática. Los bofedales con mayor contenido de humedad y menor profundidad de napa freática mantienen mayor estabilidad en su diversidad vegetal. Se evidenció mayor heterogeneidad de los bofedales de la región de lo que se había reportado previamente, lo que resalta la necesidad de considerar esta heterogeneidad en las estrategias de conservación y manejo sostenible. Los bofedales más degradados, especialmente aquellos afectados por sobrepastoreo y reducción de la disponibilidad hídrica, mostraron pérdida significativa en la cobertura vegetal y en la capacidad de retención de agua.

Ñahui Martínez (2021a), en su investigación denominada ¹ *Comportamiento y estrategias de conservación del recurso hídrico de bofedales en Callqui Chico, Huancavelica*, analizó el estado actual y propuso estrategias de conservación para los bofedales de Callqui Chico, ante la creciente presión climática y antrópica, incluyó un enfoque cualitativo y descriptivo que evaluó factores climatológicos, diversidad biológica, características fisicoquímicas del suelo y aspectos socioeconómicos. Los resultados evidenciaron disminución progresiva de la precipitación e incremento térmico, provocando mayor evapotranspiración y desbalance hídrico. Se identificó que

bofedales con MO superior al 4.21 % mantienen mejor la humedad, mientras que aquellos con salinidad presentan mayor infiltración y pérdida de agua. El estudio destacó que las zonas con pendientes pronunciadas y escasa cobertura vegetal sufren una acelerada erosión y degradación. Como estrategias, propuso la restauración ecológica, mejores prácticas de riego y pastoreo, y capacitación local en gestión sostenible. Finalmente, la investigación subrayó la importancia de estas acciones para asegurar la permanencia del recurso hídrico en la región.

Crispin Cunya & Jimenez Diaz (2019), en su investigación titulada *Valoración económica ambiental de los bofedales del distrito de Pilpichaca, Huancavelica, Perú*, evaluaron la importancia económica y ambiental de 8,369.67 hectáreas de bofedales en Pilpichaca, a través de sus servicios ecosistémicos. Utilizando el concepto de Valor Económico Total (VET), el estudio estimó la contribución de estos ecosistemas a la sostenibilidad hídrica, almacenamiento de agua y la captura de C. Los resultados evidenciaron que la provisión de agua es el servicio más valioso, superando al almacenamiento de C en suelos altoandinos. Se determinó que la presencia de bofedales mejora significativamente la regulación hídrica de la cuenca, favoreciendo la disponibilidad de agua durante la estación seca. Esta función asegura estabilidad en actividades económicas como la ganadería de camélidos. La investigación resaltó que la pérdida de bofedales por presión antropogénica y cambio climático compromete la seguridad hídrica de las comunidades. Finalmente, se reforzó la necesidad de implementar estrategias de conservación y gestión sostenible para proteger bofedales.

Maldonado (2018), en su investigación titulada *Dinámica espacio-temporal de la flora de bofedales en Ayacucho y Huancavelica 2010-2012*, analizó la variabilidad de las comunidades vegetales en seis bofedales de Ayacucho y Huancavelica, la metodología empleó transectos de 50 metros para caracterizar la estructura y dominancia de especies como *Distichia muscoides* y *Plantago tubulosa*. Los resultados identificaron seis comunidades diferenciadas, observándose que la abundancia y diversidad fueron mayores en la temporada húmeda. En contraste, la estación seca registró disminución significativa de la cobertura vegetal y del contenido hídrico. El análisis mediante índices de Shannon y Pielou evidenció reducción en la riqueza de

especies durante períodos de baja disponibilidad de agua. Se determinó que los bofedales expuestos al sobrepastoreo mostraron degradación acelerada y menor capacidad de retención de humedad. El estudio sugirió que las comunidades vegetales responden de manera diferencial a la variabilidad climática según su resiliencia. Finalmente, se resaltó la importancia de monitorear estas dinámicas para la conservación de los reguladores hídricos altoandinos.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Teoría del Cambio climático

El cambio climático coetáneo se interpreta científicamente como la alteración del balance energético del sistema climático terrestre inducida principalmente por el incremento antropogénico de gases de efecto invernadero (WMO, 2024). El clima terrestre es el resultado del equilibrio dinámico entre radiación solar entrante y la radiación termal emitida por el planeta, este balance energético determina la temperatura media global y está gobernado por las leyes físicas, la termodinámica y transferencia radiativa (Chandrasekhar, 1960).

La atmósfera modifica este equilibrio mediante la absorción selectiva de radiación infrarroja por gases puntuales como CO₂, CH₄, N₂O y vapor de agua, este proceso, descrito primordialmente por Arrhenius (1896), se conoce como efecto invernadero y constituye el fundamento físico del calentamiento global. Este fenómeno incrementa la retención de radiación infrarroja que modifica los patrones de circulación atmosférica y oceánica, aumento de calor oceánico y la más importante que son los cambios en el ciclo hidrológico (United Nations World Water Development, 2020).

- Balance radiativo del sistema climático:

El sistema climático terrestre es descrito como un sistema termodinámico abierto gobernado por el balance entre radiación solar entrante y radiación infrarroja saliente (Arrhenius, 1896), la temperatura media global se determina por el equilibrio energético.

$$(1-\alpha)\frac{S}{4} = \sigma T_e^4$$

α : Albedo planetario.

S: Constante solar.

σ : Constante de Stefan-Boltzmann.

T_e : Temperatura efectiva de equilibrio.

La aplicación del balance radiativo planetario, permite estimar la temperatura efectiva de equilibrio de la Tierra al igualar la energía solar media absorbida por el sistema climático con la radiación infrarroja emitida al espacio, de modo que cualquier modificación en la composición atmosférica que reduzca la emisión infrarroja efectiva implica necesariamente un aumento de la temperatura de equilibrio hasta restablecer el balance energético (Taylor, 2005).

- Forzamiento radiativo antropogénico:

El cambio en el balance energético causado por gases de efecto invernadero se cuantifica mediante la ecuación del forzamiento radiativo (Ramaswamy et al., 2001). Para el dióxido de carbono, una aproximación ampliamente validada es:

$$\Delta F = 5.35 \ln \left(\frac{C}{C_0} \right)$$

ΔF : Forzamiento radiativo (W/m^2).

C: Concentración actual de CO_2 .

C_0 : Concentración de referencia.

Su aplicación consiste en calcular el cambio en el flujo energético neto del sistema climático generado por la variación relativa de la concentración atmosférica de dióxido de carbono respecto a un estado preindustrial, este forzamiento positivo representa un excedente de energía que rompe el equilibrio radiativo original y obliga al sistema climático a calentarse hasta alcanzar un nuevo estado estacionario compatible con el incremento de absorción infrarroja (Gunnar et al., 1998). En conjunto, ambas formulaciones operan de manera complementaria: la primera define el estado térmico de equilibrio del planeta y la segunda cuantifica la perturbación

energética que desplaza dicho equilibrio bajo influencia antropogénica, proporcionando un marco físico integrado para la interpretación del calentamiento global observado (Sherwood et al., 2020).

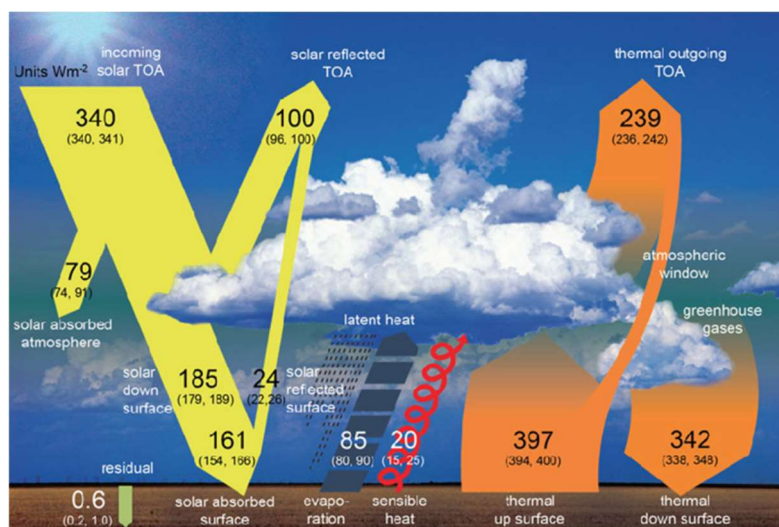
El sistema climático responde a los forzamientos radiativos mediante retroalimentaciones que amplifican o atenúan el calentamiento inicial (Wild et al., 2013), entre las más relevantes se encuentran:

- La retroalimentación del vapor de agua, que incrementa la opacidad atmosférica al infrarrojo.
- La retroalimentación hielo/albedo, que reduce la reflectancia superficial al disminuir la cobertura de hielo y nieve.
- Cambios en la nubosidad, cuya señal neta depende de su tipo y distribución espacial.

Estas retroalimentaciones, junto con la inercia térmica oceánica, explican la persistencia temporal de las señales de cambio y la reorganización del ciclo hidrológico, incluyendo alteraciones en la frecuencia e intensidad de precipitaciones extremas, sequías y caudales (Ambenje et al., 1994).

Figura 1

Balance radiativo terrestre



Nota: Imagen extraído de Wild et al. (2013).

El estudio científico del cambio climático integra teoría física, evidencia observacional y métodos estadísticos robustos para identificar señales persistentes en sistemas altamente variables. La evaluación conjunta entre la magnitud de cambios temporales en variables climáticas construye inferencias reproducibles sobre la evolución del sistema climático, fortalecer los cambios y apoya la interpretación física de los procesos observados (Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2023), particularmente pertinente en contextos donde la señal de cambio emerge gradualmente sobre una variabilidad natural significativa.

Tabla 1

Evidencias y mecanismos en el cambio climático

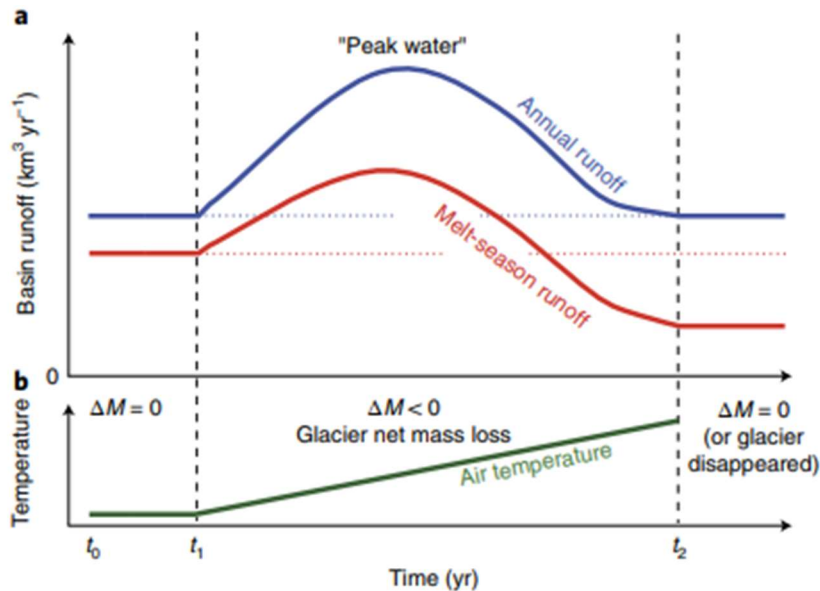
Evidencia observacional	Mecanismo físico dominante	Implicación hidroclimática
Aumento de temperatura media global	Forzamiento radiativo por GEI	Intensificación del ciclo hidrológico
Calentamiento oceánico	Inercia térmica y absorción de calor	Cambios en evaporación y circulación
Reducción de hielo y nieve	Retroalimentación hielo–albedo	Modificación de escorrentía estacional
Mayor frecuencia de extremos	Aire más cálido y húmedo	Incremento de precipitaciones intensas
Cambios regionales de precipitación	Reorganización de circulación	Redistribución espacial del recurso hídrico

Nota: Tabla elaborada con referencia del IPCC (2021).

La teoría del cambio climático aporta el marco explicativo que vincula los forzamientos climáticos globales con las dinámicas hidrológicas locales de ecosistemas altoandinos. ⁶² El incremento de la temperatura atmosférica y las alteraciones en los patrones de precipitación ya descritas, se manifiestan regionalmente en cambios en la estacionalidad hídrica, reducción de la recarga superficial y mayor recurrencia de periodos secos, procesos que afectan de manera directa la funcionalidad en la disponibilidad de agua a nivel mundial (Secretaría de la Plataforma Internacional de Recuperación, 2015).

Figura 2

Cambios de escorrentía en respuesta al calentamiento atmosférico continuo



Nota: La figura "a" muestra cambios de escorrentía en temporadas de deshielo, típicos en glaciares y zonas de cordilleras. La figura "b" muestra la pérdida de masa glaciaria con relación al aumento de temperatura. Imagen extraída de Huss & Hock (2018).

2.2.1. Teoría del ciclo hidrológico

El ciclo hidrológico es el sistema físico que describe la circulación continua del agua entre la atmósfera, la superficie terrestre y el subsuelo, impulsado por la energía solar y la gravedad (Margat et al., 2005). Su funcionamiento se rige por principios universales de la física, particularmente la conservación de la masa, la conservación de la energía y otros que representan sistemas intrínsecos, que en conjunto explican los procesos de evaporación, condensación, precipitación, infiltración, percolación, escorrentía y flujo subterráneo (Te Chow et al., 1988).

Sistemáticamente el ciclo hidrológico opera como una red dinámica de transferencias entre reservorios naturales (atmósfera, suelo, acuíferos, vegetación y cuerpos de agua). La disponibilidad hídrica y la respuesta hidrológica observable dependen no solo de la magnitud de las entradas (precipitación), sino también de los procesos de almacenamiento y liberación gradual del agua, los cuales introducen

desfases temporales entre la señal climática y la respuesta del sistema (Koutsoyiannis, 2020).

- Ecuación de balance hídrico: conservación de la masa.

El comportamiento cuantitativo del ciclo hidrológico en una cuenca se expresa mediante la ecuación de continuidad o balance hídrico, que establece que el agua ingresa al sistema distribuyéndose entre pérdidas atmosféricas, flujos de salida y almacenamiento (Penman et al., 1948).

$$P = ET + Q + \Delta S$$

44 P: Precipitación.

ET: Evapotranspiración.

Q: Escorrentía total (superficial + subterránea).

ΔS : Cambio en el almacenamiento de agua del sistema.

Esta relación formaliza que el sistema hidrológico se redistribuye entre reservorios y estados físicos. En ambientes con alta capacidad de almacenamiento, el término ΔS adquiere significancia y explica la respuesta no inmediata del caudal o de la humedad superficial frente a la precipitación (Priestley, 1972).

- Ley de Darcy: ecuación de difusividad hídrica.

El movimiento del agua en el suelo y el subsuelo está gobernado por el flujo de agua, que describe a través de materiales y ambientes porosos en función del gradiente hidráulico y las propiedades del medio (Darcy, 1856).

$$Q = -KA \frac{dh}{dl}$$

Q: Caudal de flujo subterráneo.

K: Conductividad hidráulica del medio.

A: Área transversal del flujo.

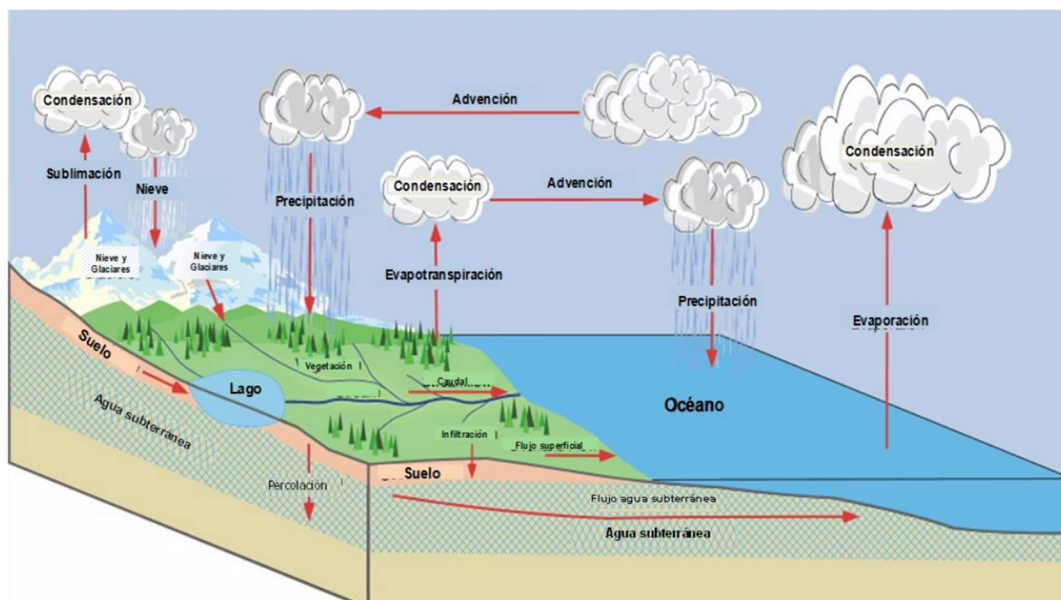
$\frac{dh}{dl}$: Gradiente hidráulico.

El signo negativo indica que el flujo ocurre desde zonas de mayor a menor energía hidráulica. Este principio explica la infiltración, el almacenamiento y la liberación progresiva del agua en suelos orgánicos saturados, generando tiempos de tránsito más largos y atenuación de picos de caudal (Gilvear & Bradley, 2009).

Puede representarse como un sistema de flujos y almacenamientos interconectados, la evaporación y la transpiración vegetal constituyen el flujo ascendente hacia la atmósfera, mientras que la precipitación representa el flujo descendente que reabastece los reservorios terrestres (Córdova Rodríguez & Rodríguez Iturbe, 2010). Parte del agua precipitada se infiltra en el suelo recargando acuíferos, mientras que el excedente genera escorrentía superficial que alimenta ríos y humedales (Oki et al., 2004). La magnitud relativa de estos procesos depende de factores climáticos, topográficos, edáficos y biológicos.

Figura 3

Dinámica del ciclo hidrológico



Nota: Imagen extraído de Ordoñez Gálvez (2011).

- Control energético de la evapotranspiración:
El intercambio de agua entre superficie y atmósfera depende del balance de energía disponible (Budyko, 1974).

$$ET = f(Rn, T, u, H)$$

Rn: Radiación neta.

T: Temperatura del aire.

u: Velocidad del viento.

H: Humedad atmosférica.

La evapotranspiración está controlada por la energía solar y las condiciones atmosféricas, por lo que regula la fracción de la precipitación que retorna a la atmósfera y modula el almacenamiento efectivo del sistema (Allen et al., 1998).

Esta conjugado al balance radiativo y la circulación atmosférica global, el calentamiento de la superficie incrementa la capacidad de la atmósfera para retener vapor de agua, intensificando los flujos evaporativos y modificando los patrones de precipitación, los cambios de temperatura y circulación atmosférica generan redistribuciones regionales del agua que también afectan a las funciones hidrológicas de sus componentes (Breña Puyol & Jacobo Villa, 2006).

Tabla 2

Función de los componentes hidrológicos

Componente	Proceso físico	Función hidrológica
Evaporación	Transferencia de agua líquida a vapor.	Regula humedad atmosférica.
Transpiración	Liberación de vapor por vegetación.	Conecta biosfera y atmósfera.
Precipitación	Condensación y caída de agua.	Principal fuente de recarga hídrica.
Infiltración	Entrada de agua al suelo.	Recarga de acuíferos.
Escorrentía	Flujo superficial gravitacional.	Alimenta ríos y humedales.
Almacenamiento	Retención en suelo, nieve o agua superficial.	Regula disponibilidad temporal.

Nota: Tabla elaborada con referencia de Breña Puyol & Jacobo Villa (2006).

La combinación de almacenamiento (ΔS), flujo subterráneo (ley de Darcy) y pérdidas por evapotranspiración introduce tiempos de respuesta que desacoplan parcialmente la señal climática de la respuesta hidrológica observable (Botter et al., 2011). En términos funcionales:

$$\text{Respuesta hidrológica} = f(\text{almacenamiento, infiltración, liberación gradual})$$

En sistemas con alta retención hídrica, la respuesta a la precipitación es no lineal y no instantánea, lo que fundamenta científicamente la presencia de correlaciones débiles o no significativas entre índices de precipitación acumulada y variables hidrológicas locales en escalas temporales cortas o intermedias (Florín Beltrán, 2010).

Tabla 3

Factores y mecanismos del ciclo hidrológico

Factor de control	Mecanismo de influencia	Resultado hidrológico
Temperatura atmosférica	Modifica evapotranspiración.	Cambios en humedad del suelo.
Precipitación	Determina recarga hídrica.	Variabilidad de caudales.
Topografía	Controla dirección del flujo.	Distribución espacial del agua.
Cobertura vegetal	Regula infiltración y transpiración.	Estabilidad del balance hídrico.
Propiedades del suelo	Controlan almacenamiento.	Persistencia de humedad.

Nota: Tabla elaborada con referencia de Chavarría -Vidal et al. (2022).

El ciclo hidrológico no es estacionario; su intensidad y distribución espacial varían en función de la variabilidad climática natural y de los forzamientos despreciables (Morejón Miranda et al., 2013). Cambios de la temperatura, cobertura vegetal o uso del suelo pueden modificar la manifestación de la evapotranspiración, escorrentía y almacenamiento (Bateman, 2007). En regiones andinas, la disponibilidad hídrica depende fuertemente de la precipitación estacional y del almacenamiento natural en suelos orgánicos las pequeñas variaciones en los flujos pueden generar impactos significativos en la oferta de agua superficial (Vera & Camilloni, 2015).

La comprensión de estos mecanismos es esencial para evaluar cambios en el comportamiento del agua en el tiempo, particularmente en contextos de variabilidad climática y transformación ambiental, proporcionando una base científica sólida para el análisis hidro climático contemporáneo (Araque Arellano, 2022).

2.2.2. Teoría no paramétrica en sistemas naturales

La teoría no paramétrica conforma un marco estadístico fundamental en el análisis de sistemas naturales, caracterizado por ser complejo, no lineal y ausencia de distribuciones probabilísticas anticipadas no asumen funcionales normales en las distribuciones como los métodos paramétricos, por ello permiten inferencias robustas a partir de datos observados sin estructuras estrictas (Anderson, 2001).

Los métodos no paramétricos se incluyen al marco metodológico esencial para el estudio de sistemas naturales complejos, la capacidad para modelar fenómenos sin imponer estructuras probabilísticas rígidas permite describir patrones emergentes, detectar tendencias y realizar inferencias robustas en contextos de alta incertidumbre. En disciplinas donde la variabilidad natural es dominante, estos métodos representan una alternativa científicamente sólida frente a los enfoques paramétricos tradicionales (Rodríguez-Barrios, 2017).

Los sistemas naturales están vinculados a procesos hidrológicos, fenómenos climáticos, biológicos o dinámicas en ecosistemas, ellos presentan heterogeneidad espacial frecuente, dependencia temporal y distribuciones asimétricas (López-Gómez & Williams-Linera, 2006). La estadística no paramétrica limita la aplicabilidad de modelos paramétricos clásicos, pero ofrece herramientas adecuadas en la estimación de densidades, pruebas de hipótesis y modelos funcional basado en datos (Diana, 2020). Un método no paramétrico se define como aquel que no especifica una familia paramétrica fija para describir la distribución de probabilidad de una variable aleatoria. Su objetivo principal es aproximar propiedades poblacionales mediante funciones empíricas o estimadores basados en ordenamientos y vecindad local (Sanit, 1999), las aplicaciones de métodos no paramétricos se dan en las siguientes ciencias naturales:

Tabla 4

Métodos no paramétricos en ciencias naturales

Área	Problema típico	Método no paramétrico
Ecología	Distribución espacial de especies	KDE espacial
Hidrología	Caudales extremos	Pruebas de rangos
Climatología	Tendencias meteorológicas	Test de Mann–Kendall
Biología	Curvas de supervivencia	Estimador Kaplan–Meier
Geociencias	Variabilidad de sedimentos	Bootstrap

Nota: Tabla elaborada con referencia de Helsel et al. (2020).

2.2.2. Propagación de Sequías

La sequías son procesos secuenciales, se describen de acuerdo a la propagación del déficit de precipitación y puede trasladarse a través del ciclo hidrológico hasta afectar el volumen y flujo en los ríos. Según Zhou et al. (2024), los mecanismos de propagación de una sequía son identificados mediante estos fenómenos críticos:

- **Agrupamiento:** evidenciado por periodos cortos y constantes de lluvia se combinan para formar un único evento de sequía prolongado en el área geográfica.
- **Atenuación:** la zona geográfica y ecosistemas suavizan el pico de la sequía, aun con la falta de lluvia extrema, el flujo de los ríos disminuye lentamente.
- **Retraso:** existe relación cronológica entre el valor significativo de sequía y el impacto en el volumen superficial del área geográfica.
- **Alargamiento:** persistencia de la sequía en los ecosistemas y su resalto en la escorrentía, incluso después de precipitaciones retorna a niveles normales.

El retraso es el indicador de mayor importancia en este fenómeno, representa el tiempo que tarda el déficit de precipitaciones en convertirse a un déficit de flujo superficial, un desfase intrínsecamente ligado en la memoria hidrológica del área, lo

cual puede determinarse con la reducción de caudal (Keyantash & Dracup, 2002). Ese proceso de transferencia ayuda a identificar la vulnerabilidad de regiones hidrológicas y cuencas en mostrar el tiempo de retraso de almacenamiento y periodos de recuperación en el agua disponible.

2.2.3. Tipología de las Sequías

La sequía es un fenómeno multiforme que evoluciona en ciclo hidrológico, el déficit de agua y el impacto sectorial define el comportamiento físico en las distintas formas que se manifiesta una sequía. Su tipología se basa en las desviaciones sostenidas del agua dentro del sistema hidrológico. De las diversas clasificaciones en la ocurrencia del evento, la más resaltante es la de (Marcos Valiente, 2001), que distribuye las sequías basadas al sistema de almacenamiento de la siguiente manera:

Tabla 5

Clasificación de sequías

Tipo	Nivel geográfico	Indicador	Proceso físico
Meteorológica o Atmosférica	Atmósfera	SPI (Índice de Precipitación Estandarizado)	Altas presiones y bloqueo de frentes.
Agrícola	Rizosfera	SMA (Anomalía de Humedad del Suelo)	Déficit de agua disponibles para transpiración.
Hidrológica	Drenaje hídrico	Caudal de estiaje	Agotamiento de flujo base y almacenamiento superficial.
Hidrogeológica	Acuíferos	Nivel piezométrico	Descenso de nivel freático por falta de recarga.

Nota: Tabla elaborada con referencia de Marcos Valiente (2001).

Una sequía meteorológica se refiere a un periodo prolongado de precipitación inferior al promedio climático regional que es manifestado hacia una inicial de este fenómeno, cuando este déficit atmosférico persiste, sus efectos se extienden hacia los componentes hídricos generando reducciones en su almacenamiento y flujos de

escorrentía superficial y subterráneo, esto conlleva a ser derivada como una sequía hidrológica, obviamente ambas interpretadas al mismo proceso de deficiencia hídrica (Wilhite & Glantz, 1985). Ambos fenómenos no son independientes ya que están interrelacionadas y reflejan la evolución del déficit hídrico en cuencas hidrográficas, cuya ocurrencia y severidad dependen de la duración del déficit de precipitaciones como las características del sistema hidrológico (Snyder & de Melo-Abreu, 2005).

2.2.4. Análisis multiescalar de sequías

Se fundamenta a la distribución no uniforme del déficit de precipitaciones, la escala temporal representa el periodo de acumulación de agua necesario que manifieste estrés hídrico en el sistema hidrológico, el análisis multiescalar permite identificar como cada componente del ciclo hidrológico responde a la acumulación del déficit en el tiempo (Van Loon, 2015), esa complejidad es obtenida mediante índices métricos de desviación estadística, en ellos se considera a los siguientes:

- SPI (Índice de Precipitación Estandarizado), mide anomalías en la lluvia, identifica sequías meteorológicas en escalas de 1 a 24 meses.
- SPEI (Índice de Precipitación-Evapotranspiración Estandarizado), incluye la temperatura, mide el balance hídrico, vital para detectar sequías agrícolas.
- SSI (Índice de Caudal Estandarizado), normaliza volúmenes agua de ríos, indicador principal de sequía hidrológica, permite ver como el déficit acumulado de lluvias afecta el agua superficial.

El SPI, es el índice estándar que la Organización Meteorológica Mundial recomienda en la ciencia del clima, una herramienta inconstante que requiere datos de precipitación que no utiliza datos crudos, sino que la transforma en desviaciones estándar respecto a la media (Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas, 2013). Ajusta los datos en función de la probabilidad y las distribuye a un modelo de normalidad estándar, esto permite categorizar la sequía según su rareza estadística, su clasificación es referente al valor numérico obtenido en un intervalo desde -2 a +2, valores aproximados significan la intensidad en las variantes positivo

(humedad) y negativo (seco) (Mckee et al., 1993). Como el SPI es multiescalar la técnica se aplica al componente hídrico evaluado de la siguiente manera:

Tabla 6

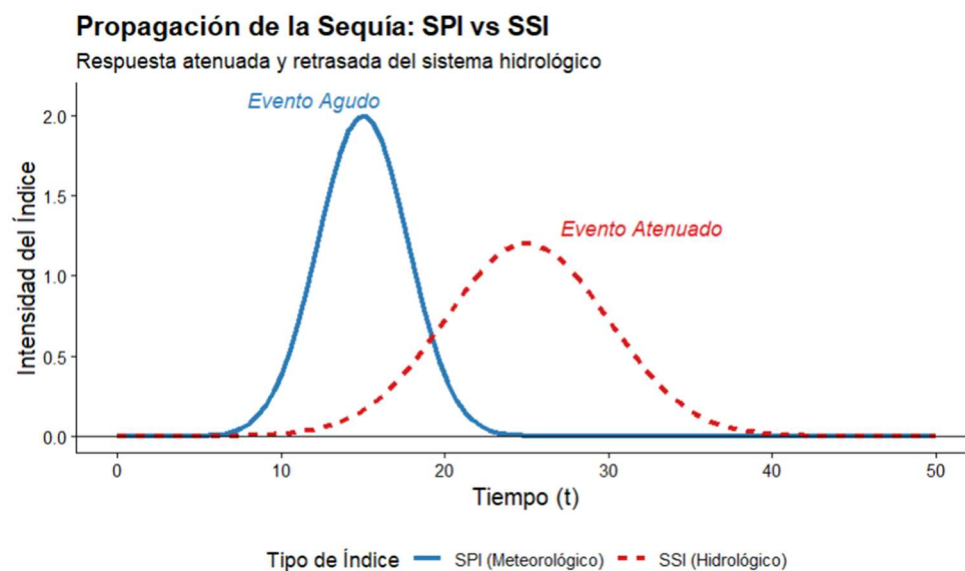
Aplicación de escalas del SPI

Escala (meses)	Técnica	Utilidad de monitoreo
SPI-1 a SPI-3	Corto plazo	Humedad superficial y sequías repentinas.
SPI-6	Plazo medio	Cambios de escorrentía superficial y crecimiento de cultivos en estaciones.
SPI-12	Largo plazo	Caudal de ríos principales y almacenamiento de embalses.
SPI-24 a más	Muy largo plazo	Recarga de acuíferos profundos y variabilidad climática.

Nota: Tabla elaborada con referencia de Mckee et al. (1993).

Figura 4

Prolongación de una sequía meteorológica a una hidrológica



Nota: Ambos eventos son medidos por el SPI, imagen extraída de Van Loon (2015).

También se manifiesta con la propagación de la sequía, un proceso con déficit de lluvia inicial medido por SPI (sequía meteorológica), se traslada con el tiempo hacia las reservas de agua dulce reflejándose en el SSI (sequía hidrológica), el fenómeno se caracteriza por tres factores claves: retraso temporal, el impacto en ríos y acuíferos no

es inmediato, la intensidad, capacidad de almacenamiento y la duración, si el sistema hidrológico permanece en crisis (McEvoy et al., 2016), desde un evento agudo puede convertirse a uno atenuado tal como resalta la figura 4.

2.2.5. Índices espectrales en teledetección hidrológica

Un índice espectral combina datos de reflectancia de bandas espectrales obtenidas mediante algoritmos matemáticos, con el objetivo de especificar alguna propiedad de la superficie (suelo, agua, etc.), el principio de reflectancia radica en la firma espectral, esto describe como un objeto refleja la energía de la longitud de onda, aprovechando este contraste para cuantificar variables biofísicas (Gu et al., 2007).

Los índices se seleccionan según el nivel de estudio y las características del sensor (LANDSAT, SENTINEL) en la descarga de metadatos satelitales, estos sensores mantienen sistemas convencionales a autocorregidos, como el sensor SENTINEL-2 donde los datos poseen corrección atmosférica y radiométrica, la cual estiman los cálculos a 10 m. de la superficie terrestre (Khalid et al., 2021). Generalmente la obtención de bandas espectrales se compone en la siguiente clasificación:

Tabla 7

Índices espectrales de uso común

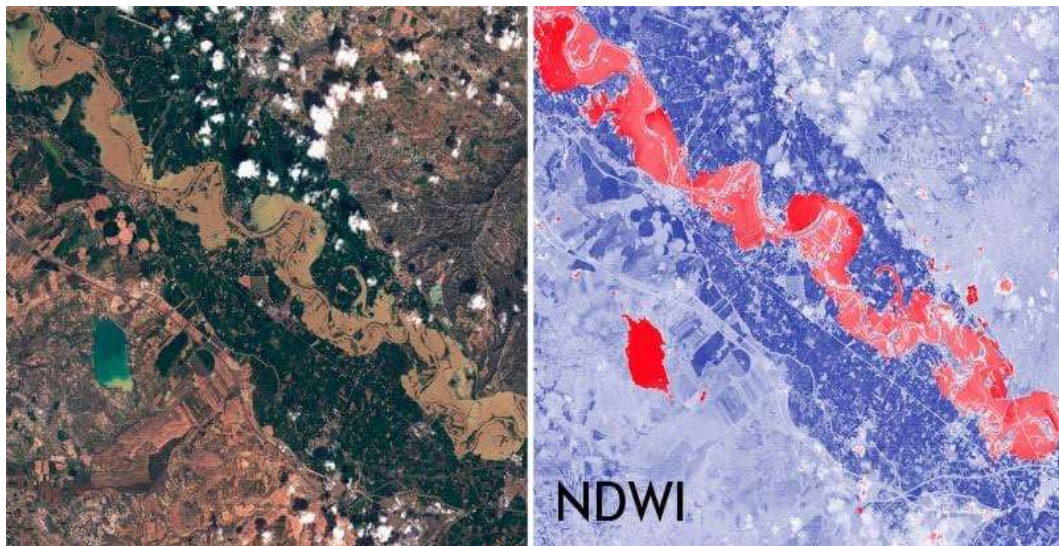
Índice	Nombre Técnico	Ecuación	Aplicación
NDVI	Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada	$(\text{NIR}-\text{R}) / (\text{NIR}+\text{R})$	Vigor fotosintético y biomasa.
NDWI	Índice Diferencial de Agua Normalizado	$(\text{G}-\text{NIR}) / (\text{G}+\text{NIR})$	Delimitación de cuerpos de agua.
NDMI	Índice de Humedad de Diferencia Normalizada	$(\text{NIR}-\text{SWIR}) / (\text{NIR}+\text{SWIR})$	Estrés hídrico del dosel.
SAVI	Índice de Vegetación Ajustado al Suelo	$[(\text{NIR}-\text{R}) / (\text{NIR}+\text{R}+\text{L})] \times (1+\text{L})$	Áreas con vegetación dispersa.

Nota: Tabla elaborada con referencia de Masafu & Williams (2024).

El NDVI evalúa el estado de vegetación por la alta absorción de clorofila en el espectro rojo y alta reflectancia del tejido foliar en el NIR muy apropiada para identificar masas que intervienen en ecosistemas andinos, el NDWI identifica aguas superficiales y humedad superficial muy útiles si quiere observar la reducción de lagunas, embalses y espejos de agua ideales para estudios en comportamientos estacionales de cuerpos hídricos, el NDMI es el índice más sensible al contenido de agua interna de la estructura foliar, la reflectancia en el SWIR detecta pérdida de agua en la planta descartando o afirmando el estrés hídrico en su masa (Mustafa et al., 2017).

Figura 5

Teledetección aplicada a recursos hídricos



Nota: Se observa la diferencia de colores para la identificación de agua y vegetación, imagen extraída de López Rodríguez (2024).

Estos índices son utilizados complementariamente en periodos transversales para la identificación de pérdidas o evolución periódica de elementos ecosistémicos útiles en estudios a gran escala (Martínez de Icaya-Gómez et al., 2025), uno de sus aportes se muestra en la figura 5 aplicándose a la gestión territorial.

2.2.6. Regulación hidrológica de humedales altoandinos

Los bofedales, son ecosistemas hidro mórficos que se caracterizan por suelos orgánicos de baja densidad y contenido de materia orgánica, la capacidad de

infiltración del suelo es superior a la intensidad de la lluvia ello hace que el flujo sea prácticamente disgregado, en lugar de ello este ecosistema reparte horizontalmente y retrasa el agua descargándolo en quebradas y ríos (Céleri & Feyen, 2009).

Tabla 8

Componentes hídricos de humedales altoandinos

Componente	Función de regulación	Impacto geográfico
Infiltración	Captación de agua pluvial y glacial.	Reducción de avenidas (inundaciones).
Almacenamiento	Retención porífera en la turba.	Reserva hídrica anual.
Descarga	Liberación lenta y gradual por gravedad.	Mantenimiento de caudal en temporada seca.
Evapotranspiración	Control de microclima local.	Regulación de la humedad atmosférica.

Nota: Tabla elaborada con referencia de Gonnet & Damian (2021).

La regulación hídrica se fundamenta en las propiedades físicas de la turba, pues posee una porosidad extremadamente alta de hasta 90% que le permite almacenar grandes volúmenes de agua, desde las precipitaciones y deshielo, el bofedal absorbe excedente de agua reduciendo la escorrentía superficial y previniendo la erosión de aguas abajo, a eso se denomina efecto esponja (García & Otto, 2015). Los bofedales mantienen un flujo subsuperficial continuo, este flujo conforma al flujo base de los ríos, garantizando la disponibilidad de agua en temporadas secas, los componentes de la regulación hídrica en humedales altoandinos son los siguientes:

Los bofedales funcionan en forma grupal y son puntos de afloramiento de aguas subterráneas eso conlleva a una conexión entre laderas y humedales en el fondo de valles, la degradación de estos ecosistemas altera su servicio ecosistémico de regulación alterando drásticamente el hidrograma en las cuencas, hace que los ríos sean más estacionales, quiere decir, se cargan demasiado en lluvias y secos en estiaje (Laqui et al., 2024). Los factores que afectan su regulación se establecen en la tabla 9.

Tabla 9*Factores de degradación en humedales altoandinos*

Factor	Efecto físico	Consecuencia
Drenaje artificial	Oxidación de turba.	Perdida irreversible de almacenamiento.
Cambio climático	Menos recarga en deshielo	Descenso de nivel freático.
Sobrepastoreo	Compactación del suelo	Escorrentía erosiva.

Nota: Tabla elaborada con referencia de Wunderlich et al. (2023).

2.2.8. Análisis de tendencias en series hidro climáticas

Las tendencias de series hidro climáticas es un componente fundamental en el estudio de la variabilidad ambiental y el cambio climático. Las series temporales de precipitación, temperatura, caudal fluvial, evaporación y humedad atmosférica presentan características complejas, como no estacionariedad, dependencia temporal, asimetría estadística y presencia de valores extremos (Ruiz-Ochoa et al., 2023).

Una tendencia se define como un cambio monotónico sistemático en el valor esperado de una variable a lo largo del tiempo. La identificación de tales tendencias permite evaluar procesos de cambio ambiental, alteraciones del ciclo hidrológico y efectos del calentamiento global sobre sistemas naturales (Yıldız et al., 2024).

Tabla 10*Comparación de métodos de análisis de tendencias*

Método	Tipo de tendencia	Supuestos
Regresión lineal	Lineal	Normalidad y homocedasticidad
Mann–Kendall	Monótona	No paramétrico
Pendiente de Sen	Magnitud monotónica	No paramétrico
Pruebas de rangos	Cambio general	No paramétrico

Nota: Tabla elaborada con referencia de Yue & Pilon (2004).

La detección de tendencias estadísticamente significativas no implica causalidad directa, sino evidencia de cambio sistemático en la estructura temporal del

sistema, el análisis estadístico constituye una herramienta inferencial dentro de un marco interdisciplinario por ello se existen métodos de análisis de tendencias (Hirsch et al., 1982).

El uso conjunto de la prueba de Mann–Kendall y la pendiente de Sen es especialmente relevante en la investigación sobre cambio climático porque permite detectar y cuantificar tendencias sistemáticas en variables ambientales bajo condiciones de alta variabilidad natural, no normalidad y presencia de eventos extremos, características inherentes a los registros hidro climáticos de largo plazo (SENAMHI, 2020). Estos métodos no paramétricos ofrecen inferencias robustas frente a sesgos derivados de distribuciones desconocidas, datos faltantes y relaciones no lineales, lo que fortalece la validez estadística de la evidencia empírica utilizada para evaluar cambios persistentes en el sistema climático (Alonso Losa, 2022).

2.3. Definición de términos

2.3.1. Bofedales

Los bofedales son ecosistemas hidro mórficos que contienen una vegetación herbácea hidrófila, suelen desarrollarse en suelos de ligeras pendientes o planos, por su textura en forma de almohadilla permanecen saturados de agua y están situados en zonas de alta montaña. Contribuyen al ciclo hidrológico en la regulación y liberación gradual de agua hacia los ríos y quebradas (Ministerio del Ambiente, 2019).

2.3.2. Cuenca hidrográfica

Una ⁶⁵ cuenca hidrográfica es una zona topográfica delimitada por un río principal y sus afluentes, constituye un sistema de drenaje que depende de la precipitación, la escorrentía depende del relieve, vegetación y el suelo. Las cuencas son fuentes de recarga de agua superficial y subterránea, mantienen la biodiversidad y proporcionan recursos naturales, se pueden clasificar dependiendo al uso y destino del agua, también por su tamaño, son áreas geográficas muy esenciales porque atribuyen

funciones hidrológicas, ecológicas, ambientales y socioeconómicas (Araque et al., 2019).

2.3.3. Déficit hídrico

Es la escasez de agua en un territorio, esto se da cuando la demanda hídrica supera la disponibilidad del mismo recurso. Es una problemática a nivel mundial y puede intensificarse por fenómenos extremos y anomalías meteorológicas lo que mantiene que el déficit de agua se prolongue y cause restricciones en su uso como también la accesibilidad en su consumo (Wheeler et al., 2018).

2.3.4. Disponibilidad de agua superficial

La disponibilidad de agua superficial está comprendida al volumen presente de cuerpos de agua (ríos, lagunas, lagos, acuíferos) que se hallan en una cuenca hidrográfica, el agua superficial depende de los factores como la precipitación, evapotranspiración y la cuantificación del balance hídrico, lo cual es clave para la planificación en las demandas de uso, evitar déficit hídrico y gestiones que se hallan en su territorio (Silva-Hidalgo et al., 2013).

2.3.5. Índice Estandarizado de Precipitación (SPI)

El SPI es un indicador que cuantifica anomalías en la precipitación a manera probabilística, evalúa la severidad, duración de sequías y excesos de lluvias. Se calcula ajustando los datos de precipitación histórica a una distribución de probabilidad transformándolos en valores de normalización, un SPI negativo indica condiciones secas, un SPI positivo indica condiciones húmedas, sus valores extremos reflejan sequías severas e intensidad de precipitaciones. Es muy útil en el análisis de estudio de la disponibilidad de agua y acuíferos en un territorio y en escalas de evaluación que se deriva desde 1 a 24 meses (Organización Meteorológica Mundial, 2012).

2.3.6. Índice Normalizado de Agua (NDWI)

El NDWI es un indicador de teledetección de cuerpos de agua mediante imágenes espectrales satelitales, se calcula mediante la reflexión de espectros entre el infrarrojo cercano y la banda verde, ello permite que las superficies de agua resalten entre la vegetación y el suelo seco. Este índice facilita los cambios de extensión de cuerpos de agua (inundaciones o sequías), son obtenidas mediante sensores para producir imágenes satelitales que contribuyen a la precisión en la cartografía (McFeeters, 1996).

2.3.7. Proyecciones climáticas

Son estimaciones de escenarios climáticos futuros que se basan en modelos matemáticos, se desarrollan con técnicas estadísticas y dinámicas para diferentes regiones. Busca determinar modelos futuros sobre niveles de emisión de los gases de efecto invernadero, temperatura y precipitaciones para encontrar sus tendencias, ello permite determinar la vulnerabilidad de ecosistemas y otros factores para su mitigación y adaptación al cambio climático (SENAMHI, 2009).

2.3.8. Resiliencia

Es la disposición, adaptación y recuperación de la naturaleza y el hombre a los efectos del cambio climático, implementando estrategias de mitigación y anticipación frente a eventos extremos (inundaciones, sequías, olas de calor) (Kawamura & Brady, 2022).

2.3.9. Riesgo de sequía

Es la probabilidad o amenaza de sequía que puede vulnerar en un territorio, su evaluación consta de tres componentes: el peligro,⁷² el Índice de Precipitación Estandarizado (SPI) y la vulnerabilidad para determinar indicadores de severidad, duración y frecuencia. Para su análisis se ocupan factores ambientales, socioeconómicos y la densidad poblacional, estos permiten lograr una estimación de

métodos estadísticos, lo cual relaciona la disponibilidad de agua, uso de suelo y zonas de alto riesgo que pueden estar bajo el impacto de sequías (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología, 2016).

2.3.10. Sequía

Se considera como sequía a un evento de severidad que depende de la gestión del agua en un territorio, la disminución o inusual disponibilidad de agua es causada por la falta de precipitaciones o variación en la distribución del agua, cuando los promedios históricos son mínimos se experimentan déficit de indicadores hidrológicos y pueden alterar los ecosistemas y generar agentes vulnerables en una población, la escasez de agua está vinculada al cambio climático ya que está vinculado a la alteración en los fenómenos meteorológicos (Velasco et al., 2005).

2.3.11. Sistema de Información Geográfica (SIG)

Los Sistemas de Información Geográfica son plataformas que combinan base de datos, cartografía, modelos matemáticos para generar análisis espacial para diversos campos, sus herramientas tecnológicas permiten almacenar, y visualizar datos espaciales georreferenciados, es muy eficaz en el monitoreo de recursos naturales, planificación urbana y la gestión ambiental, de ello se consolida mapas, información cartográfica relevante y modelos de procesamiento de información geográfica (Olaya, 2014).

2.4. Hipótesis

2.4.1. Hipótesis general

La disponibilidad de agua superficial de los bofedales de la cuenca del río Ichu influye significativamente en el riesgo de sequías en la ciudad de Huancavelica, considerando las variaciones estacionales proyectadas para el año 2025.

2.4.2. Hipótesis específica

- ¹⁰ El estado de conservación de los bofedales en la cuenca del río Ichu influye en su disponibilidad de agua superficial a lo largo del año 2025.
- Existe una correlación significativa entre la disponibilidad de agua superficial de los bofedales y el Índice de Sequía Estandarizado (SPI) en la ciudad de Huancavelica.
- Las proyecciones de disponibilidad de agua superficial de los bofedales permiten estimar el riesgo de sequías en la ciudad de Huancavelica para los próximos 5 años.

³⁴ **2.5. Variables**

2.5.1. Variable Dependiente

Riesgo de sequias en la ciudad de Huancavelica.

2.5.2. Variable Independiente.

Disponibilidad de agua superficial en los bofedales de la cuenca del rio Ichu.

1 2.6. Operacionalización de variables

Tabla 11

Cuadro de operacionalización de variables

Variable	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensiones	Escala	Indicadores	Unidad	Instrumento	Técnica
Disponibilidad de agua superficial en los bofedales (Variable independiente).	Es la cantidad de agua en su capacidad superficial que mantienen los bofedales durante el año, son influenciadas por factores ambientales y climáticos	Se evaluó por medio de imágenes satelitales para determinar los cuerpos de agua y sus cambios en la humedad del suelo, también monitoreos en campo.	Extensión del área con agua superficial. Variación temporal del recurso hídrico.	-1 a +1 m ³ ha	Índice Diferencial de Agua Normalizado (NDWI). Índice de Humedad de Diferencia Normalizada (NDMI).	Índice (NDWI, NDMI). Metros cúbicos de agua superficial. Hectáreas de cobertura hídrica.	Imágenes satelitales (LANSAD, SENTINEL). Sistemas de Información Geográfica (SIG). Datos hidro-meteorológicos.	Análisis de imágenes satelitales. Procesamiento SIG. Análisis estadístico de datos hidrológicos.

	(Anthelme et al., 2014).				Volumen de agua en bofedales.		Datos de monitoreo en campo.	
Riesgo de sequías (Variable dependiente)	Es la probabilidad de ocurrencia de sequías en una cuenca, se evalúa a partiendo de datos de precipitación acumuladas en diferentes escalas de tiempo (Cieza & Mejía, 2019).	Se analizó los valores del Índice Estandarizado de Precipitación (SPI), para identificar los periodos de sequía y su intensidad propuesta por la metodología de (Mckee et al., 1993).	Intensidad de la sequía.	-2 a +2	Valores del SPI en escalas de 1, 3, 6 meses.	Índice SPI (valores negativos indican sequía).	Datos meteorológicos del SENAMHI y NOAA.	Análisis de series temporales de precipitación.
			Frecuencia de la sequía.	mm	Promedio de la precipitación en la cuenca.	Milímetros de precipitación.	Cálculo del SPI a partir de series de precipitación.	Cálculo del SPI.

CAPITULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. *Ámbito temporal y espacial*

3.1.1. *Ámbito temporal*

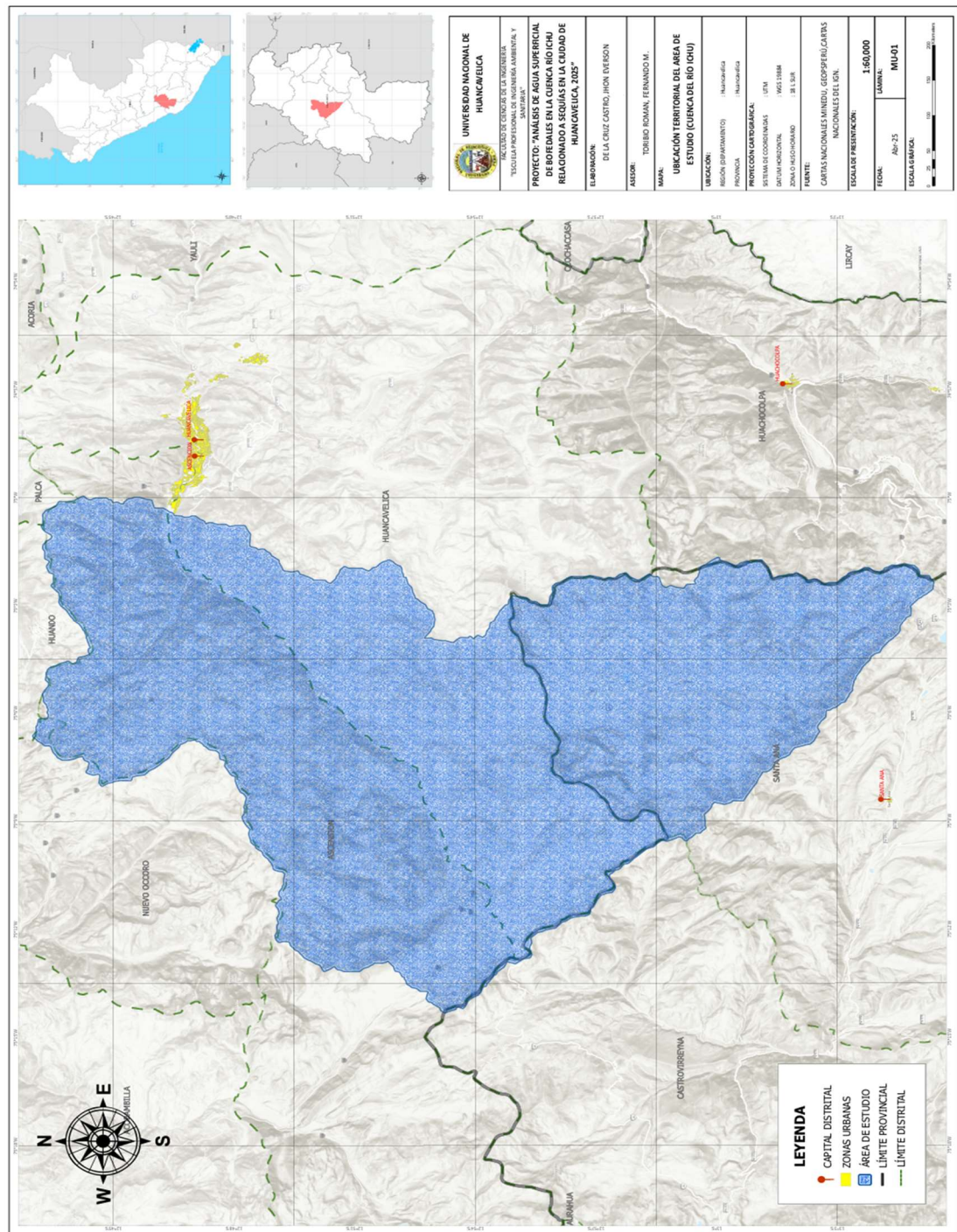
El trabajo de investigación se realizó en el periodo 2025, considerando su evaluación en las diferentes temporadas del año, también se consideró datos históricos para contrastar tendencias.

3.1.2. *Ámbito espacial*

Está comprendido por la cuenca del río Ichu, enfocándose en la identificación de los bofedales que inciden directamente para el curso de río Ichu hacia la ciudad de Huancavelica. El área de estudio se sitió en los distritos de Ascensión y Huancavelica de la provincia de Huancavelica y el distrito Santa Ana de la provincia de Castrovirreyna que a su vez conforma la microcuenca del río Ichu perteneciente a la macrocuenca del río Mantaro, cuya red hidrográfica pertenece a la vertiente del Amazonas.

Figura 6

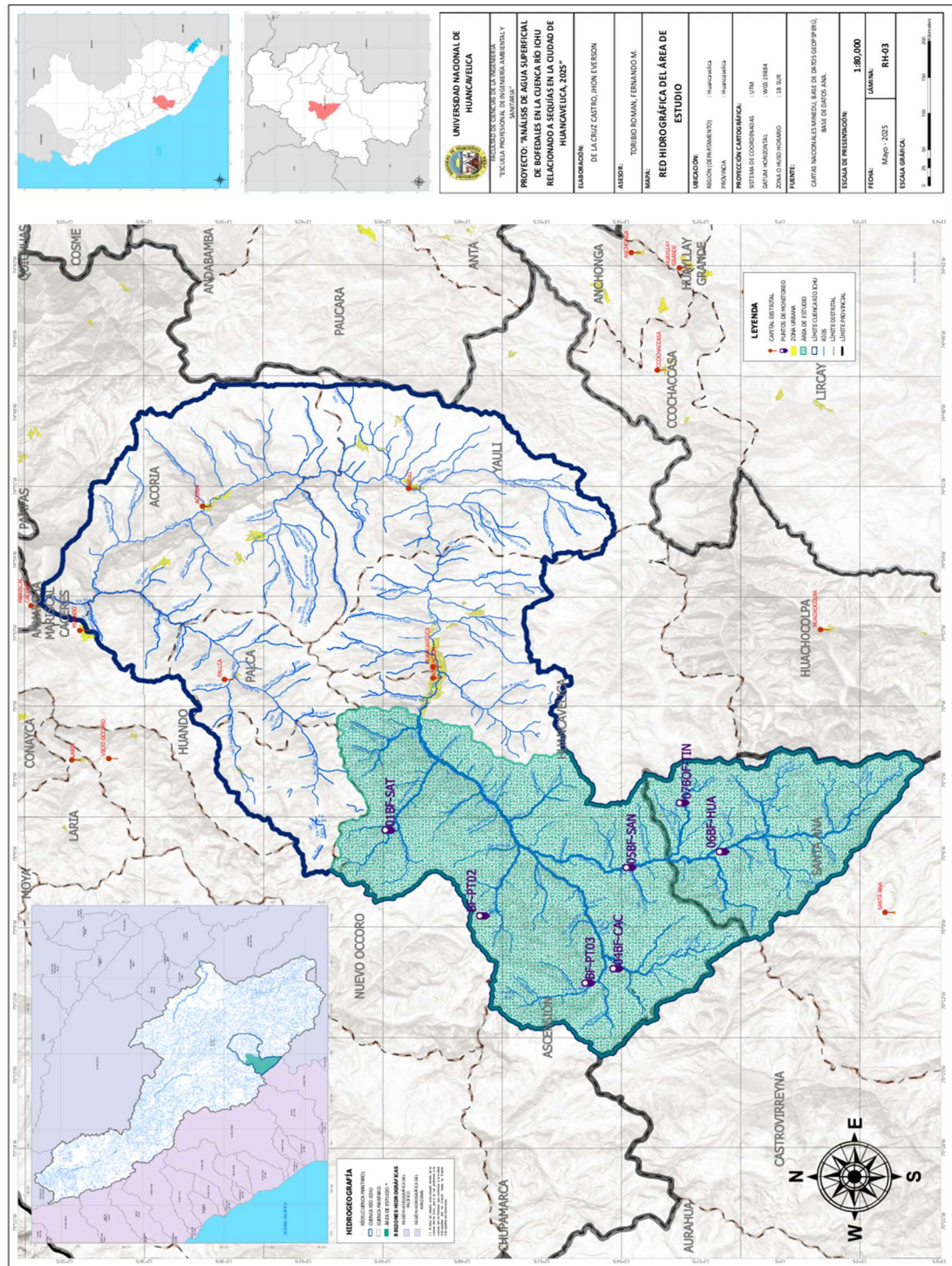
Ubicación geográfica del área de estudio (Subcuenca media preurbana del río Ichu)



Nota: Para determinar el área de estudio, se colocó como punto de aforo en aguas arribas del río Ichu inmediatas a su ingreso a la ciudad de Huancavelica, es decir tiene el mismo límite de su cuenca, pero delimitada por el punto de aforo.

Figura 7

Hidrografía del área de estudio (Subcuenca media preurbana del río Ichu)



Nota: Es importante conocer la red de ríos que conforma la microcuenca del río Ichu y su influencia como recurso en el país.

3.2. Tipo de investigación

La investigación fue aplicada, ya que su finalidad fue generar datos que permitan comprender la disponibilidad de agua superficial en los bofedales de la cuenca del río Ichu y su relación con el riesgo de sequías, implicando la gestión de los recursos hídricos para la región, Hernández et al. (2014), destaca que la investigación aplicada encuentra soluciones a problemas específicos utilizando el conocimiento científico en escenarios reales, quiere decir que el estudio no solo describe el fenómeno, también proporciona información necesaria para la planificación, en este caso para la conservación del agua bajo un régimen de variación climática.

3.3. Nivel de investigación

El nivel de investigación fue correlacional, pues se buscó el análisis entre la disponibilidad de agua superficial en los bofedales de la cuenca del río Ichu relacionado al riesgo de sequías, que fue medido por medio del índice SPI. Según Hernández et al. (2014), la investigación correlacional tiene como finalidad determinar el grado de asociación entre dos o más variables sin establecer causalidad directa.

3.4. Métodos de investigación

3.4.1. Método general

El método general que guio esta investigación fue el método científico, pues proporciona un enfoque sistemático y estricto para la recopilación, análisis e interpretación de datos hacia el objetivo de comprender la relación entre la disponibilidad de agua en los bofedales de la cuenca del río Ichu y el riesgo de sequías. Este método es elemental para estudios ambientales, lo que conlleva a generar conocimiento basado en evidencia empírica y verificable (Hernández et al., 2014).

3.4.2. Método específico

La investigación se sostuvo en el método cuantitativo, dado que se basó en la recolección y análisis de datos numéricos adquiridos por fuentes hidrometeorológicas y satelitales, dando posibilidad de medir la disponibilidad de agua superficial y su variación en el año. También, se aplicó el método correlacional, ya el propósito fue asociar y determinar el grado de la variabilidad hídrica hacia el riesgo de sequías, medido a través del índice SPI (Vásquez Ramírez et al., 2023). Además, se aplicó el método geoespacial, pues esta investigación utilizó herramientas SIG y técnicas de teledetección, que fue esencial para analizar los cambios espacios – temporales en los bofedales (Bozzano et al., 2014). Se añadió también el método analítico, ya que permitió que una variable relacionada al tiempo, como es la disponibilidad de agua y su variación en el año, se integró a la interpretación global, así facilitó la comprensión del problema en su impacto del recurso hídrico en la ciudad de Huancavelica (Fuenzalida et al., 2015).

3.5. Diseño de investigación

Esta investigación presentó el diseño no experimental, de tipo correlacional y longitudinal.

Diseño no experimental porque no se manipuló la variable independiente, pues se observó y analizó el ambiente natural (Hernández et al., 2014), ello permitió evaluar la relación entre la disponibilidad de agua en los bofedales de la cuenca del río Ichu y el riesgo de sequías en Huancavelica.

Diseño correlacional, porque estableció la agrupación entre la variabilidad hídrica y el índice de sequías SPI y no intervino en las condiciones naturales de los bofedales, lo cual fue ideal cuando el objetivo fue medir el grado de relación entre variables sin necesidad de contribuir a la causalidad (Bernal, 2010).

Diseño longitudinal, porque se analizaron datos actuales sobre la disponibilidad de agua e información histórica de los índices de sequía durante el

periodo de estudio en el año 2025, este análisis permitió identificar las tendencias que influyeron en el riesgo de sequías. Para el desarrollo de esta investigación, se ejecutó el esquema que se detalla a continuación.

$$M \rightarrow D (A, \text{SPI})$$

Donde:

M: Muestra de bofedales en la cuenca del río Ichu.

D (A, SPI): Disponibilidad de agua superficial y su relación con el índice SPI.

A: Disponibilidad de agua superficial.

SPI: Índice de Precipitación Estandarizado (riesgo de sequía)

3.6. Población, muestra y muestreo

3.6.1. Población de investigación

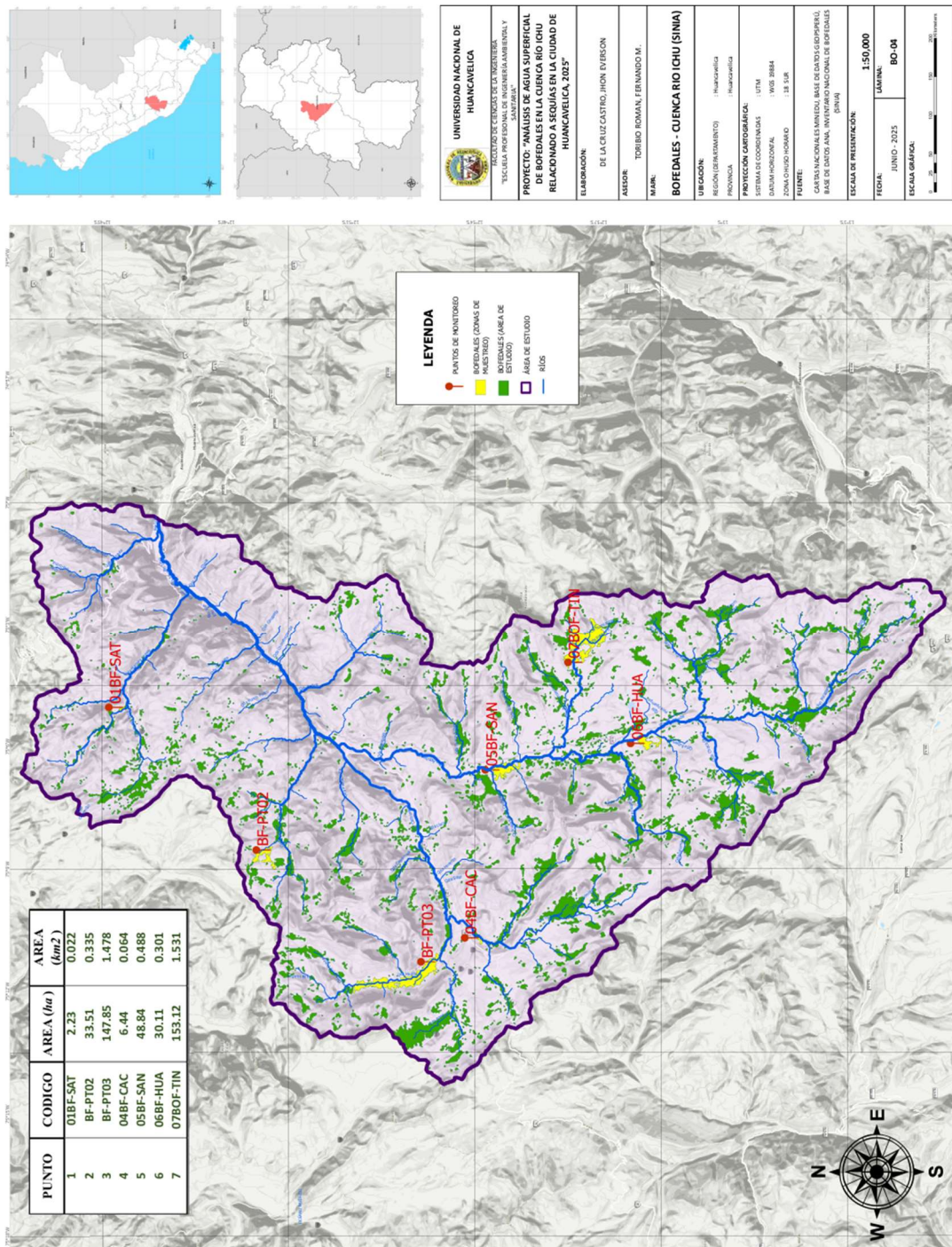
La población de estudio estuvo conformada por los bofedales en la cuenca del río Ichu que pertenecen al área de estudio, que influyen directamente al cauce del río que atraviesa la ciudad de Huancavelica. Esta población comprendió una superficie total de 5124 ha. de humedales situados en zonas altoandinas, identificados como fuentes principales de recarga y origen al río Ichu.

3.6.2. Muestra de investigación

La muestra se estableció por 7 puntos de monitoreo, que en conjunto abarcaron la superficie total de 422.10 ha. de bofedales dentro del área de estudio, estratégicamente seleccionadas en áreas representativas de bofedales dentro del área de estudio, el criterio se basó en la accesibilidad, representatividad y geografía, que permitió registrar variaciones de la disponibilidad hídrica durante el periodo longitudinal que culminó en el año 2025.

Figura 8

Selección de bofedales para su estudio (Subcuenca media preurbana del río Ichu) en el periodo 2025



Nota: La información sobre los datos geoespaciales se obtuvo del inventario del Sistema Nacional de Información Ambiental SINIA (2023).

3.6.3. Muestreo de la investigación

Se empleó un muestreo no probabilístico por criterio, ya que la selección de los bofedales dependió de la ubicación en altitud, la cual influye directamente al flujo del río atraviesa a la ciudad de Huancavelica, o de su relevancia hidrológica, también se consideraron los datos históricos disponibles y la susceptibilidad de las bofedales a las estaciones del año, este método se consideró adecuado, dado que se trabajó con análisis espectrales y series temporales para estudios temporales (Turne et al., 2007).

3.7. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

3.7.1. Técnica de recolección de datos

Como técnica principal se empleó la observación remota o teledetección para analizar la disponibilidad de agua superficial en los bofedales mediante el procesamiento de imágenes satelitales. Estas imágenes captadas por sensores ópticos y de radar, permiten registrar información del espectro electromagnético en diversas bandas, facilitando la identificación de cuerpos de agua y el seguimiento de su variación temporal a escala anual y estacional (Velásquez-Franco et al., 2024).

Para complementar la validación y análisis de información obtenida por la teledetección se emplearon las siguientes técnicas:

- Monitoreo en campo: se seleccionaron siete puntos estratégicos de muestreo donde se realizaron mediciones periódicas de indicadores de disponibilidad de agua superficial para validar la información derivada de las imágenes satelitales.
- Recopilación de datos históricos y análisis documental: se utilizó registros históricos de precipitación provenientes de la plataforma ⁸⁶Climate Hazard Group InfraRed Precipitation with Station Data (CHIRPS), y contrastados con ⁵⁶información nacional del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI).

- Aplicación del Índice de Precipitación Estandarizado (SPI): este índice se emplea para evaluar la frecuencia e intensidad de sequías en el área de estudio.¹⁹ El cálculo del SPI se basa en el ajuste probabilístico de la serie histórica de precipitación a una distribución gamma, el cual posteriormente transforma a una distribución normal estándar. El SPI se expresa matemáticamente como:

$$\text{SPI} = (X - \mu) / \sigma$$

Donde:

X : precipitación acumulada respecto a periodo de análisis.

μ : media histórica de precipitación.

σ : desviación estándar de la precipitación.

Se selecciona la escala temporal (3, 6, 12 a más meses), se ajusta la serie de precipitación a una distribución gamma, posterior se transforma la probabilidad acumulada a la distribución normal estándar y así se obtiene el valor de SPI como desviación tipificada, valores negativos indican condiciones secas y valores positivos indican condiciones húmedas (Mckee et al., 1993).

¹ 3.7.2. Instrumento de recolección de datos

Para la teledetección y observación remota:

- Imágenes satelitales Sentinel-2.
Alta resolución espacial (10 m.), periodicidad y revisita sistemática, procesamiento en Copernicus Browser. Validez de datos satelitales mediante calibración radiométrica absoluta, corrección ortorrectificada y corrección atmosférica.
- Software de análisis geoespacial: ArcGIS PRO.
Trazabilidad de flujos de trabajo, procedimiento de análisis espacial y control de errores. Validez analítica sustentada con el uso de algoritmos de procesamiento raster, análisis multitemporal y georreferenciación espacial.

Para el monitoreo en campo:

- Sensores portátiles de humedad y caudalímetros.
Mediciones repetidas, tramo de aforo controlado, promedio de velocidades. Validez fundamentada por la estimación directa del caudal por la relación física entre área hidráulica y flujo superficial.
- Cuaderno de campo.
Registro estructurado y sistemático de observaciones. Validez por la documentación directa y trazabilidad de datos.
- GPS.
Consistencia espacial de mediciones y precisión métrica. Validez mediante posicionamiento satelital GNSS dentro del sistema geodésico.

Para la datos históricos y registro documentario.

- Datos globales CHIRPS.
Continuidad temporal de la serie, control automatizado y validación cruzada con estaciones meteorológicas. Validez fundamentada en la estimación cuantitativa mediante integración satelital infrarroja y registros pluviométricos calibrados regionalmente.

Para el índice SPI:

- Modelo del Índice de Precipitación Estandarizado.
Aplicación de algoritmos estandarizados, Validez estadístico basado en transformación probabilística a distribución estándar.

27 3.8. Técnica de procesamiento y análisis de datos

3.8.1. Técnicas de procesamiento

La primera etapa **consistió en** organizar y estructurar y estandarizar los datos hidrometeorológicos, los registros fueron sistematizados en el programa Microsoft

Excel y posteriormente procesados en el entorno estadístico RStudio para su análisis cuantitativo. La información geoespacial de imágenes satelitales fue procesada en ArcGIS PRO mediante métodos de análisis multiespectral y análisis espacial raster, obteniéndose mapas temáticos de acuerdo a los trabajos exigidos.

En la segunda etapa, se aplicaron procedimientos de control de calidad mediante la prueba de Boxplot para la detección de valores atípicos y la prueba de Grubbs para su corroboración estadística. Conllevado esta validación, se emplearon métodos no paramétricos para el cumplimiento de los objetivos: la correlación de Spearman para el análisis de asociación y la prueba de Kruskal-Wallis para la comparación de grupos. Estos análisis se ejecutaron mediante algoritmos en RStudio, permitiendo finalmente validar los datos de campo a través de una comparación temporal con registros históricos de precipitación.

Para el análisis de series temporales, se examinan tendencias en los ciclos de precipitación mediante pruebas estadísticas como Mann-Kendall, por último, para los índices del NDWI y NDMI, se calcularán los índices espectrales para evaluar la disponibilidad de agua superficial en los bofedales

En el análisis de disponibilidad de agua y el riesgo de sequias, se calcularon los índices espectrales en cada punto de monitoreo, también se aplicó la prueba estadística de Mann-Kendall a las variables SPI, NDWI y el caudal mediante para ver su comportamiento en el área de estudio. Para el SPI, se empleó datos de precipitación histórica, determinando su frecuencia, intensidad de sequias en escalas temporales de 3, 6 y 12 meses. generando indicadores hidrometeorológicos. Los resultados fueron representados mediante gráficos y tablas.

Finalmente, se aplicaron métodos estadísticos para evaluar la relación entre la disponibilidad de agua superficial y el SPI. Se empleo el análisis no paramétrico mediante el coeficiente de correlación de Spearman, considerando un nivel de significancia $\alpha = 0.05$, para determinar la asociación dichas variables; asimismo, se utilizó el modelo de regresión lineal múltiple para identificar las variables predictoras en la reducción de agua, evaluando la significancia de sus coeficientes; por último, se

aplicó la prueba de Kruskal-Wallis como alternativa no paramétrica al análisis de varianza, con el fin de comparar las diferencias significativas en la disponibilidad hídrica a nivel estacional y bajo distintos escenarios de sequía.

3.8.2. Análisis de datos

Se calcularon estadísticos básicos para caracterizar la disponibilidad de agua y los valores del SPI, se elaboraron tablas, gráficos y mapas temáticos para visualizar la evolución de variables en el tiempo y el espacio. Se aplicó el coeficiente de correlación de Spearman para evaluar la relación entre la disponibilidad de agua superficial y el SPI en diferentes escalas. Se generaron mapas o cambios en la cobertura de agua en los bofedales utilizando imágenes Sentinel – 2 y se aplicaron técnicas de clasificación para delimitar las áreas de los bofedales con reducción hídrica.

Respecto a la medición de la correlación, se utilizó el coeficiente de correlación de Spearman, técnica adecuada cuando ambas variables no presentan distribución normal. Los valores del volumen de agua superficial y del SPI fueron cuantitativas continuas, y solo algunas variables cumplieron el supuesto de normalidad por ello se aplicó el coeficiente de correlación de Spearman (ρ) considerando asimetrías o presencia de valores atípicos. También se elaboraron diagramas de Dispersión para visualizar gráficamente la relación entre variables.

Finalmente, se desarrolló el análisis espacial mediante SIG para estudiar la relación espacial entre bofedales y la distribución del SPI. Se implementaron modelos de evaluación de escenarios del SPI en función de las tendencias observadas en las últimas décadas y se analizó la variabilidad estacional de la disponibilidad de agua mediante las variables relacionadas, también se empleó el análisis de tendencias de Mann Kendall para detectar cambios significativos en las series de datos considerando un nivel de significancia de $\alpha = 0.05$.

¹ CAPITULO IV

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1. Análisis de información

4.1.1. *Procesamiento de datos satelitales*

Se delimitó el área geográfica donde se situaron los puntos de monitoreo, dicha área se incluye en la cuenca hidrográfica del río Ichu. Luego se obtuvo las imágenes satelitales por medio de la teledetección con el sensor óptico multiespectral SENTINEL – 2, que proporciona la misión “Copernicus” de la Agencia Espacial Europea (ESA). Seguidamente se clasificó y determinó las bandas espectrales en cada imagen satelital para calcular los siguientes índices espectrales: Índice Normalizado de Agua (NDWI),²⁸ Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) y el Índice de Humedad de Diferencia Normalizada (NDMI); estos índices ayudaron a visualizar cuerpos de agua, contenido de humedad, densidad de vegetación,⁵⁸ cobertura vegetal y el contenido de agua en la vegetación en periodos mensuales para finalmente cuantificarlos en valores situados de cada punto de monitoreo.

4.1.1.1. Selección de áreas y asignación de puntos de monitoreo

Tabla 12

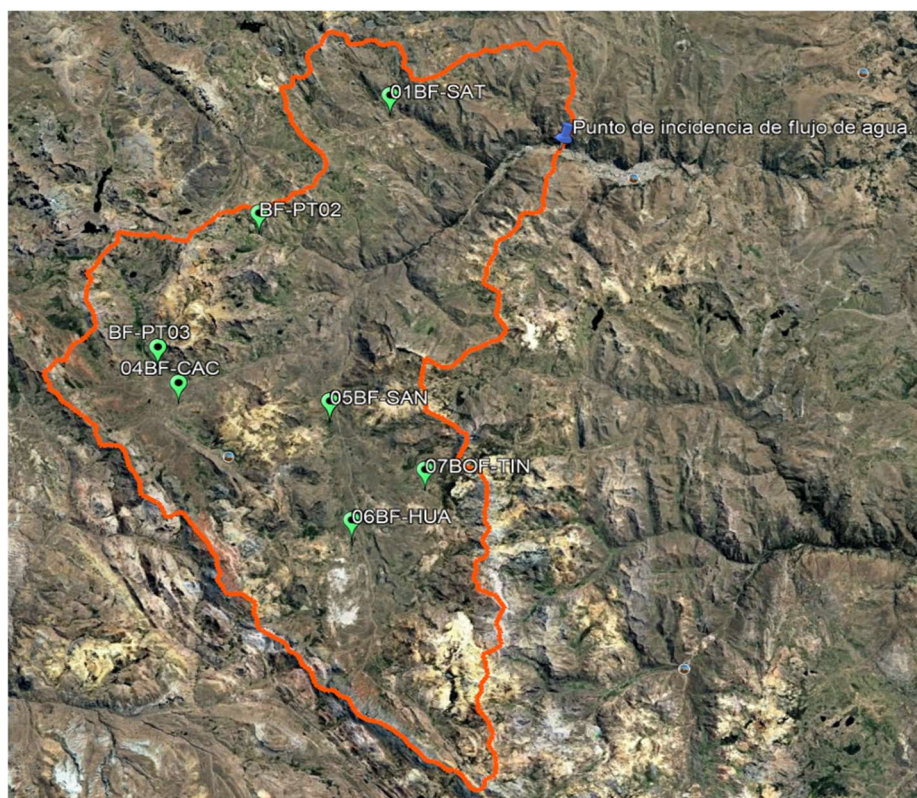
Coordenadas UTM de puntos monitoreados en la Subcuenca media del río Ichu

Punto	Código	Longitud (E)	Latitud (N)	Altitud (m.s.n.m.)	Referencia geográfica
1	01BF-SAT	490883	8589566	4417	Satco
2	BF-PT02	484563	8582997	4654	Sacsalla
3	BF-PT03	479608	8575663	4443	Cachimayo
4	04BF-CAC	480670	8573713	4480	Cachimayo
5	05BF-SAN	488115	8572798	4451	San Pedro de Lachocc
6	06BF-HUA	489288	8566326	4544	Huacctawasi
7	07BOF-TIN	492882	8569111	4665	Tinquerccochoa

Nota. Elaboración propia.

Figura 9

Delimitación del área de estudio (Subcuenca media preurbana del río Ichu)



Nota. Los iconos verdes indican la posición de los puntos de monitoreo.

Considerando los criterios para la delimitación de una cuenca hidrográfica, el punto de incidencias (icono azul en la figura 9) situado en el río Ichu, es un punto de aforo para la delimitación del área de estudio, dicho punto es estratégico por su ubicación aguas arriba de la ciudad de Huancavelica e ingreso del río Ichu a la ciudad, concluyendo que el área de estudio comprendería la misma cuenca hidrográfica, pero teniendo como límite al punto de incidencias.

4.1.1.2. Descarga de imágenes satelitales.

Para la obtención de imágenes satelitales, se accedió a la plataforma “Copernicus Browser” de la ESA que posee algunos satélites o sensores remotos con funcionalidad hasta la actualidad, pero para el cálculo preciso de índices espectrales se utilizó el satélite SENTINEL - 2, cuyas atribuciones son las siguientes:

Tabla 13

Generalidades del uso del sensor remoto Sentinel - 2

Generalidad	Descripción técnica
Alta resolución espacial	Resolución de imágenes de 10 m., 20m. y 60 m. según la banda espectral.
Alta resolución temporal	Los satélites de la misión SENTINEL, revisita o recolecta imágenes en periodos de 5 a 15 días.
Cobertura espectral amplia	Tiene sensores MSI, que captan 13 bandas espectrales.
Acceso libre y gratuito	Las plataformas para Sentinel – 2, son de acceso gratuito Copernicus Open Access Hub.
Corrección atmosférica estandarizada	Para análisis espectrales los productos de Sentinel – 2, están en nivel 2A, que incluyen corrección atmosférica y radiométrica.

Fuente: SENTINEL-2 User Handbook (2021).

El satélite Sentinel – 2 mantiene la capacidad de extraer información multiespectral en alta resolución espacial, al poseer banda de 10 m. o 20 m. contribuyen a distinguir variaciones de la disponibilidad de agua superficial en los bofedales, la reflectancia de estas bandas mejora los pixeles de acuerdo a la variabilidad en estaciones de la cobertura vegetal, suelo y humedad, lo cual infiera al

momento de monitorear bofedales ya que mantienen áreas pequeñas y heterogéneas. A continuación, se muestran las bandas espectrales que atribuye el satélite. El satélite Sentinel – 2, orbita al planeta a una altitud de 736 km. y pasa por el mismo punto o lugar en periodos de 5 a 15 días manteniendo una orbita heliosincrónica, quiere decir que pasa por el lugar a la misma hora, una ventaja para descargar la data de las imágenes en periodos de 10 días, 15 días o 20 días.

Tabla 14

Lista de bandas espectrales del satélite Sentinel – 2

Banda	Región espectral	Ancho banda (nm)	Resolución (m)	Aplicaciones principales
B1	Aerosol costero / azul profundo	20	60	Corrección atmosférica, detección de aerosoles y cuerpos de agua someros.
¹³ B2	Azul	65	10	Análisis de cuerpos de agua, vegetación y zonas húmedas.
B3	Verde	35	10	Cálculo de NDWI, estimación de clorofila y vigor vegetal.
B4	Rojo	30	10	Cálculo NDVI discriminación de cobertura vegetal.
B5	Red Edge 1	15	20	Evaluación de estrés vegetal y contenido de clorofila.
B6	Red Edge 2	15	20	Detección de variaciones fisiológicas en vegetación húmeda.
B7	Red Edge 3	20	20	Delimitación de comunidades vegetales higrófilas.
B8	Infrarrojo cercano (NIR)	115	10	Cálculo de NDVI, NDWI; detección de humedad y biomasa.
B8A	NIR estrecha	20	20	Monitoreo de vegetación densa y análisis hídrico superficial.
B9	Infrarrojo de vapor de agua	20	60	Corrección atmosférica y estimación de contenido de vapor de agua.
B10	Infrarrojo de onda corta (SWIR – Cirros)	30	60	Identificación de nubes delgadas y cirros.

B11	SWIR 1	90	20	Cálculo de MNDWI, detección de humedad del suelo y agua superficial.
B12	SWIR 2	180	20	Análisis de cobertura hídrica, suelos secos y clasificación de humedales.

Fuente: SENTINEL-2 User Handbook (2021).


Para el cálculo de índices espectrales (NDWI, NDVI, NDMI), se utilizaron las bandas B3 (Verde), B4 (Rojo), B8 (Infrarrojo cercano - NIR) y B11 (Infrarrojo de Onda Corta 1 - SWIR), para la composición de color verdadero de cada imagen satelital se usaron las bandas B4 (Rojo), B3 (Verde) y B2 (Azul), A continuación, se muestran las fórmulas para la obtención de cada índice y el color verdadero:

- $NDWI = \frac{B03 - B08}{B03 + B08}$
- $NDVI = \frac{B08 - B04}{B08 + B04}$
- $NDMI = \frac{B08 - B11}{B08 + B11}$
- $RGB = B04 + B03 + B02$

Para los índices espectrales (NDWI, NDVI, NDMI), se establecen rangos o intervalos de definición en los siguientes cuadros:

Tabla 15


Intervalos de valores y clasificación para el NDWI

Índice Normalizado de Agua (NDWI)		
Valores	Clasificación	Atribución
1 - 0.2	Superficie del agua.	
0.2 - 0.0	Inundación, humedad.	
0.0 - -0.3	Vegetación, suelo (mezcla).	
-0.3 - -1	Sequía, superficie sin agua.	

Fuente: Teledetección y Procesamiento de Imágenes Satelitales (2020).

Tabla 16


Intervalos de valores y clasificación para el NDVI

Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI)		
Valores	Clasificación	Atribución
> 0.4	Vegetación alta.	
0.4 - 0.25	Vegetación mediana.	
0.25 - 0.15	Vegetación ligera.	
0.15 - -0.1	Suelo sin vegetación.	
< -0.1	Nubes y agua.	

Fuente: Teledetección y Procesamiento de Imágenes Satelitales (2020).

Tabla 17

Intervalos de valores y clasificación para el NDMI

Índice de Humedad de Diferencia Normalizada (NDMI)		
Valores	Clasificación	Atribución
³ -0.8	Suelo desnudo.	
-0.8 - -0.6	Cobertura del dosel casi inexistente.	
-0.6 - -0.4	Cobertura del dosel muy bajo.	
-0.4 - -0.2	Cobertura del dosel baja y seca o muy baja y húmeda.	
-0.2 - 0	Cobertura del dosel media baja y estrés hídrico alto, baja y estrés hídrico bajo.	
0 - 0.2	² Cobertura media del dosel y alto estrés hídrico o cobertura media baja del dosel y bajo estrés hídrico.	
0.2 - 0.4	Cobertura de dosel media alta y estrés hídrico alto o cobertura media y estrés hídrico bajo.	
0.4 - 0.6	Cobertura del dosel alta, sin estrés hídrico.	
0.6 - 0.8	Cobertura de dosel muy alta, sin estrés hídrico.	
0.8 - 1	Cobertura total del dosel, sin estrés hídrico/anegamiento.	

Fuente: Teledetección y Procesamiento de Imágenes Satelitales (2020).

Tabla 18

Valores de NDWI, NDVI, NDMI de los puntos de monitoreo obtenidos por geoprocesamiento (Subcuenca media preurbana del río Ichu)

Código	01BF-SAT			BF-PT02			BF-PT03			04BF-CAC			05BF-SAN			06BF-HUA			07BOF-TIN		
Fecha	NDWI	NDVI	NDMI	NDWI	NDVI	NDMI	NDWI	NDVI	NDMI	NDWI	NDVI	NDMI	NDWI	NDVI	NDMI	NDWI	NDVI	NDMI	NDWI	NDVI	NDMI
14/05/2025	-0.3	0.59	0.27	-0.3	0.57	0.24	-0.4	0.6	0.22	-0.3	0.5	0.21	-0.3	0.5	0.27	-0.3	0.6	0.33	-0.3	0.52	0.25
29/05/2025	-0.2	0.35	0.13	-0.3	0.56	0.24	-0.4	0.5	0.16	-0.3	0.5	0.19	-0.3	0.5	0.27	-0.3	0.6	0.28	-0.3	0.49	0.22
13/06/2025	-0.3	0.54	0.2	-0.3	0.54	0.21	-0.4	0.5	0.18	-0.3	0.5	0.18	-0.3	0.5	0.26	-0.3	0.6	0.26	-0.3	0.48	0.21
23/06/2025	-0.4	0.53	0.21	-0.4	0.52	0.19	-0.4	0.5	0.16	-0.3	0.5	0.16	-0.3	0.5	0.25	-0.3	0.5	0.25	-0.3	0.48	0.2
10/07/2025	-0.3	0.47	0.16	-0.4	0.52	0.17	-0.4	0.5	0.1	-0.3	0.4	0.11	-0.3	0.5	0.2	-0.4	0.5	0.16	-0.3	0.45	0.12
23/07/2025	-0.3	0.45	0.15	-0.4	0.5	0.17	-0.4	0.5	0.09	-0.3	0.4	0.1	-0.3	0.5	0.2	-0.4	0.4	0.12	-0.3	0.41	0.11
7/08/2025	-0.4	0.46	0.12	-0.4	0.49	0.14	-0.4	0.4	0.04	-0.4	0.4	0.06	-0.3	0.5	0.16	-0.4	0.4	0.1	-0.4	0.4	0.07
19/08/2025	-0.4	0.47	0.12	-0.4	0.5	0.13	-0.4	0.4	0.03	-0.4	0.4	0.03	-0.4	0.5	0.13	-0.4	0.4	0.1	-0.4	0.41	0.07
8/09/2025	-0.3	0.47	0.18	-0.3	0.51	0.18	-0.4	0.4	0.03	-0.4	0.4	0.04	-0.3	0.5	0.15	-0.4	0.4	0.1	-0.4	0.4	0.08
21/09/2025	-0.3	0.49	0.17	-0.3	0.48	0.15	-0.4	0.4	0.04	-0.3	0.4	0.05	-0.3	0.4	0.15	-0.3	0.3	0.08	-0.3	0.38	0.07
31/10/2025	-0.4	0.56	0.2	-0.3	0.54	0.21	-0.3	0.5	0.13	-0.3	0.4	0.15	-0.3	0.4	0.18	-0.3	0.5	0.16	-0.3	0.45	0.11
20/11/2025	-0.3	0.58	0.24	-0.3	0.55	0.23	-0.4	0.5	0.14	-0.3	0.4	0.15	-0.3	0.4	0.15	-0.3	0.5	0.15	-0.3	0.46	0.1
5/12/2025	-0.4	0.58	0.23	-0.3	0.56	0.25	-0.4	0.5	0.13	-0.3	0.5	0.18	-0.3	0.5	0.18	-0.4	0.5	0.15	-0.3	0.46	0.12
20/12/2025	-0.3	0.58	0.24	-0.3	0.58	0.25	-0.4	0.5	0.13	-0.3	0.5	0.17	-0.3	0.5	0.17	-0.4	0.5	0.15	-0.4	0.47	0.11

Nota: Datos obtenidos en el software ArcGIS Pro.

La tabla 18 no presentó los datos de los meses de enero, febrero, marzo y abril debido a imágenes que presentaron nubosidad en casi el 60% del área de estudio, ello implicó que la obtención de valores de índices espectrales no fuese calculada además de observar el cambio de cobertura vegetal en los bofedales, no afectó el estudio realizado, más solo se limitó a obtener imágenes satelitales desde el mes de mayo, lo cual se dio de manera paralela con el monitoreo de campo.

4.1.2. Procesamiento de datos meteorológicos

Para el cálculo del Índice Estandarizado de Precipitación (SPI) y la estimación de precipitaciones en el área de estudio, se seleccionó datos de precipitación establecidas al área de estudio, se obtuvieron datos históricos desde el año 1990 al 2025, mediante el acceso a la plataforma de Climate Hazard Group InfraRed Precipitation with Stations (CHIRPS), cuyo significado denomina a la Precipitación por Infrarrojo y Estaciones del Grupo de Riesgos Climáticos. Asociado y desarrollado por Climate Hazards Center (CHC) de la Universidad de California, Santa Barbara (UCSB) y a la U.S. Geological Survey (USGS) que a la actualidad disponen de datos muy confiables al sustento de la evaluación en series temporales de precipitación a nivel global. Se detalla las características funcionales de esta plataforma.

Tabla 19

Descripción de funciones de la plataforma CHIRPS

Cualidad	Funcionalidad – descripción	Argumentación
Nombre.	CHIRPS (Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Stations).	UCSB, USGS.
Asociaciones de desarrollo.	Climate Hazards Center (CHC) – University of California, Santa Barbara (UCSB), en colaboración con U.S. Geological Survey (USGS), FEWS NET y NASA.	Validación internacional.
Datos.	Precipitación (mm)	Análisis de sequías, distribución hidrometeorológica.
Método de obtención.	Fusión estadística, combina observación satelital de radiación infrarroja y estaciones meteorológicas.	Precisión en regiones con estaciones carecidas.

Cobertura temporal.	De 1981 a la actualidad.	Acumula series prolongadas y continuas.
Resolución espacial.	0.05° × 0.05° equivalente a 5.3 km a nivel del ecuador)	Resolución espacial adecuada a cuencas hidrográficas.
Resolución temporal.	Diario, mensual.	Análisis variables, largo o corto plazo.
Formato de datos.	GeoTIFF, NetCDF, y ASCII.	Para desarrolladores en SIG y lenguaje de programación.
Fuentes de calibración.	Estaciones meteorológicas (GHCN, FAO, NOAA, estaciones nacionales).	Obtención de datos precisos.

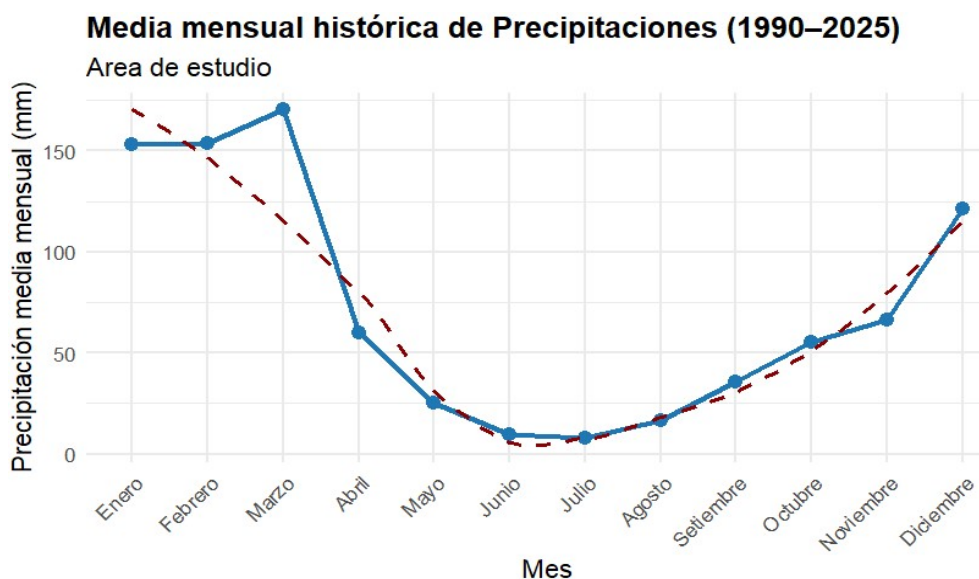
Fuente: Comisión Nacional de Actividades Espaciales (CONAE) (2023).

La extracción de datos se hizo mediante algoritmos de programación en el software RStudio, se obtuvo datos mensuales desde el año 1990 al 2025. La figura 10 muestra el comportamiento de la media histórica mensual de precipitaciones y la tabla 10 muestra los datos mensuales de precipitación en cada año. Su importancia de obtención de estos datos fue relevante para la construcción del SPI y ver el escenario de comportamiento en las precipitaciones que sucedió en el área de estudio.

Figura 10

Media mensual histórica de precipitaciones (1990-2025) para el área de estudio

(Subcuenca media preurbana del río Ichu)



Nota: Elaboración en RStudio.

Tabla 20

Datos de precipitación mensual (mm/mes) desde el año 1990 al 2025 para el área de estudio (Subcuenca media preurbana del río Ichu)

Año/Mes	1 Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
1990	118.2	41.0	81.7	38.7	27.6	27.4	9.4	30.4	52.7	84.9	111.8	113.5
1991	98.4	96.6	110.6	53.4	39.0	12.2	7.6	7.9	20.9	52.0	63.2	63.6
1992	71.8	81.1	88.0	37.3	11.5	13.8	12.2	22.2	20.0	70.5	41.0	70.0
1993	166.9	137.9	155.5	110.4	37.5	15.7	11.4	24.5	39.5	108.7	172.5	160.8
1994	175.2	209.5	175.2	79.0	28.3	8.5	8.2	15.8	36.6	44.1	60.4	77.7
1995	129.6	109.0	139.5	53.8	20.5	6.4	6.3	11.2	37.2	41.8	87.4	79.7
1996	163.4	185.6	139.8	69.2	18.2	6.4	6.6	23.0	30.8	46.4	50.1	125.6
1997	158.5	152.7	80.1	53.6	19.8	6.8	5.3	20.4	44.4	48.0	86.6	111.2
1998	186.6	180.2	140.9	59.4	7.9	10.0	4.3	20.9	24.1	59.9	80.8	109.5
1999	127.5	208.3	142.3	84.6	38.6	10.8	8.1	10.5	42.2	78.8	52.1	127.0
2000	161.5	182.3	177.6	51.2	20.1	10.2	9.8	17.0	27.6	91.7	41.3	126.6
2001	218.0	122.9	186.1	44.5	24.7	11.1	12.1	15.1	49.2	56.1	94.1	77.7
2002	99.2	211.8	214.3	57.8	18.3	13.1	9.7	20.1	47.8	73.4	82.5	126.5
2003	145.5	222.2	218.3	73.8	18.1	6.1	6.5	22.4	22.8	36.8	45.5	146.6
2004	74.4	170.7	122.5	36.8	12.9	18.5	12.0	19.9	42.7	52.3	65.0	152.3
2005	115.8	114.3	157.9	42.8	14.0	6.3	5.7	11.5	28.0	47.5	44.6	124.1

2006	147.0	152.3	131.0	78.9	8.5	11.8	4.4	24.0	39.1	58.3	84.1	93.4
2007	121.8	83.0	184.4	59.4	16.7	6.8	7.2	10.7	33.3	49.4	59.9	105.4
2008	174.4	141.1	105.5	38.2	12.3	10.9	5.9	14.9	24.3	61.0	43.1	85.6
2009	156.5	172.2	102.6	48.0	21.3	8.2	9.9	15.1	26.6	44.4	106.5	172.9
2010	196.5	122.9	109.1	37.4	15.1	10.0	5.3	13.2	26.0	52.4	46.1	116.2
2011	163.9	246.4	395.0	62.4	20.4	6.6	6.5	14.9	32.1	62.7	66.0	142.2
2012	164.5	221.0	206.1	108.7	14.2	10.6	6.6	13.0	47.6	40.2	73.6	132.6
2013	141.2	133.6	272.4	30.7	44.2	8.3	7.7	19.6	37.3	66.5	74.2	213.7
2014	165.3	166.0	200.1	52.7	24.2	8.3	6.4	15.2	59.1	58.3	60.2	149.8
2015	189.3	123.0	141.7	45.5	25.5	7.3	11.4	15.8	46.7	25.3	41.6	197.7
2016	130.3	177.5	194.9	55.0	18.8	8.8	5.8	13.8	35.8	42.2	36.5	112.6
2017	185.1	153.7	171.1	54.2	31.1	8.3	10.7	11.4	33.2	60.0	71.6	116.4
2018	193.6	123.6	170.2	71.1	37.9	6.9	12.1	33.3	28.5	66.6	38.1	113.9
2019	144.5	181.2	223.9	53.0	33.5	5.1	8.9	10.7	23.3	37.6	66.8	222.1
2020	130.4	115.8	187.7	35.1	33.1	9.9	5.3	11.4	38.3	26.8	31.9	104.2
2021	181.1	95.2	280.5	140.5	36.1	7.6	5.4	12.7	33.8	55.8	80.0	85.0
2022	182.3	152.0	173.9	43.5	26.8	8.9	5.2	15.2	34.8	18.5	18.9	121.9
2023	174.4	217.6	118.4	50.6	44.8	5.2	5.2	13.1	34.9	55.3	54.1	116.4
2024	165.6	165.5	221.6	51.5	44.1	6.5	5.2	10.9	30.6	50.3	97.4	129.7
2025	185.1	164.7	210.5	89.7	32.3	9.2	5.1	16.1	44.2	60.9	52.2	37.2

Nota: Precipitaciones mensuales (mm/mes), obtenidas de la plataforma CHIRPS.

El cálculo del Índice de Precipitación Estandarizado (SPI), se determinó mediante algoritmos establecidos para el programa R, para periodos de 3 meses, 6 meses, 12 meses, su categorización y valores se determina en la tabla 21, se hizo la nomenclatura recomendada en bibliografías que indican que las barras azules demuestran valores positivos y barras rojas demuestran valores negativos.

Tabla 21

Valores y clasificación del Índice de Precipitación Estandarizado (SPI)

Categoría climática	Valores (SPI)	Condición hidrometeorológica	Derivaciones
Humedad extrema.	≥ 2.00	Precipitaciones por encima de lo normal.	Periodo de exceso hídrico excepcional, anegamiento o saturación del suelo.
Humedad severa.	1.5 a 2.00	Precipitaciones consideradas altas	Episodios lluviosos intensos o prolongados; aumentos en escorrentía y recarga superficial.
Humedad moderada.	1.00 a 1.5	Precipitaciones ligeras estimadas.	Incremento moderado de lluvias, mejora temporal en la humedad del suelo y vegetación.
Normal	-1.00 a 1.00	Condición promedio.	Precipitaciones dentro del rango normal; equilibrio hídrico estable.
Sequia suave.	-1.00 a -1.5	1 en 10 años.	Estrés hídrico; reducción temporal en la humedad del suelo.
Sequia severa.	-1.5 a -2.00	1 en 20 años.	Déficit de lluvias persistente; impacto visible en caudales y acuíferos.
Sequia extrema.	≤ -2.00	1 en 50 años.	Condición crítica de déficit hídrico, reducción marcada de agua superficial.

Fuente: Organización Meteorológica Mundial (OMM) (2012).

La figura 11 que pertenece al comportamiento del SPI-3, permitió identificar desviaciones estandarizadas de la precipitación acumulada en tres meses, se mostraron

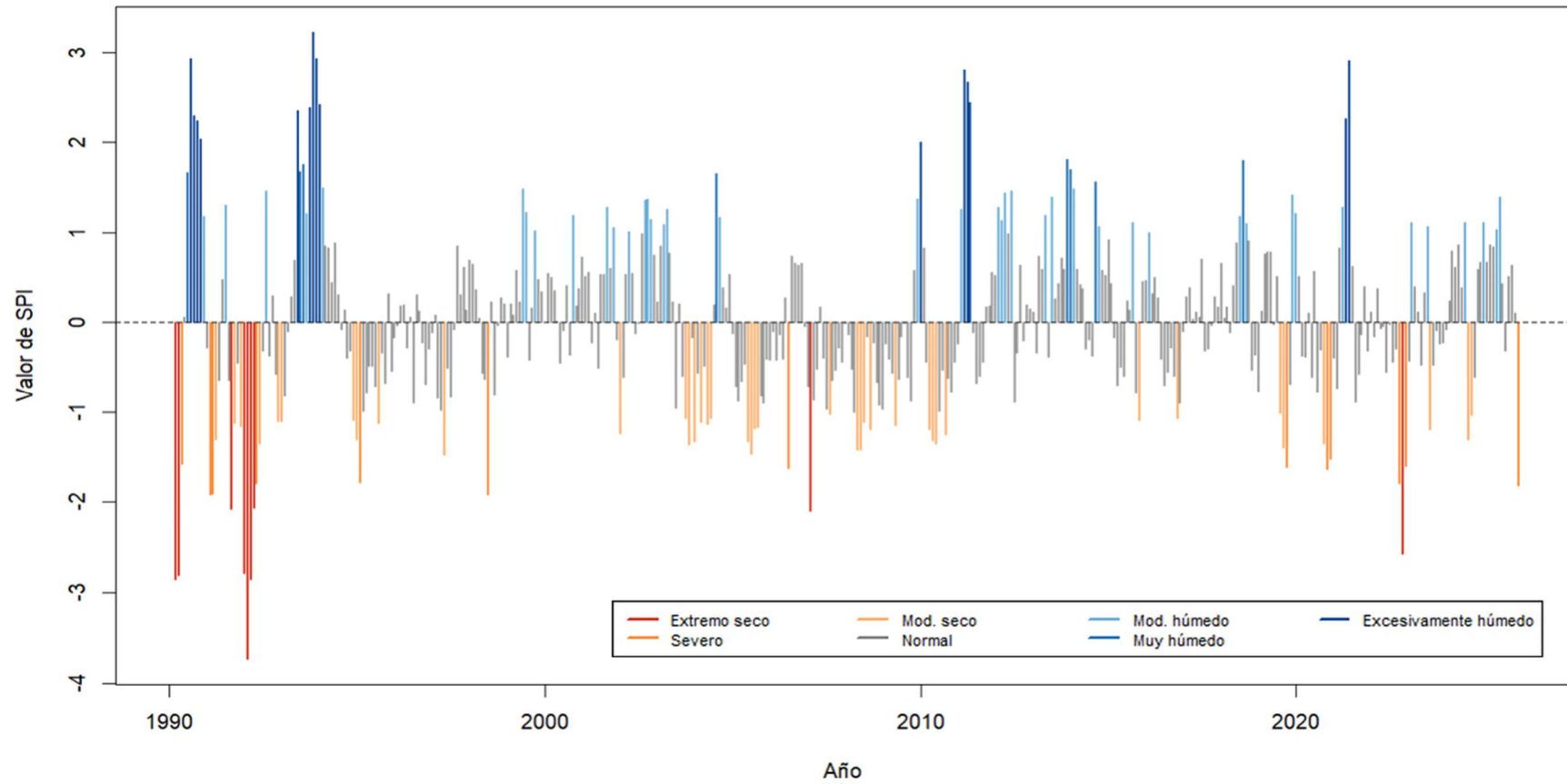
eventos de sequía con picos elevados en los años 1993, 2010 y 2021, el gráfico demuestra que las sequías a moderada intensidad están adjuntas en dos años y por su contrario también se visualizó que hay picos de años de mayor humedad de inicios en los años 1993, 2010, 2013, 2020. Se determinó que el SPI-3 muestra alternancia de periodos secos a húmedos, pero son los valores negativos que se mantienen en esta escala, la serie no muestra una tendencia exacta en sucesos de humedad o sequía lo que califica que el área de estudio posee variabilidad estacional.

La figura 12 que pertenece al comportamiento del SPI-6, permitió determinar los déficits o excesos de precipitación en escala semestral, se observó que en los años 1991-1992, 1994-1995, 2004-2006, 2016-2017, 2022-2023, presenciaron sequías severas y extremas, por el contrario, en los años 1993-1994, 2010-2012, 2013-2014, 2021 presenciaron temporadas severas a extremas de humedad. A diferencia del SPI-3, se reflejaron escenarios más persistentes, lo que indicó que el SPI-6 es un indicador de sequías de larga duración que se observó entre 1991 -1992 (extremo), 2003-2008 (seco pero muy prolongado), 2022-2023 (severa muy corta). Con este índice se evidenció que el área de estudio mantiene ciclos hidrológicos irregulares y la tendencia muestra que se superpone cada vez sequías más extensas como cortas, como esta última con recuperación corta que se visualizó con mayor intensidad desde el año 2000.

La figura 13 que pertenece al comportamiento del SPI-12, evaluó las condiciones de sequía o exceso de humedad en escala anual, se observó eventos secos en los años 1990-1993 (extremo), por el contrario, se observó episodios de humedad en los años 1993-1994 (extremo). Desde los años 1995-2004 se observó una predominancia de sequías meteorológicas con algunos episodios de interrupción a brevedad en los años 1998-2002, pero hacia el 2004-2009 hubo una intensificación de sequía suave. Se fijó una tendencia invertida en los años 2010-2014 que mostró condiciones húmedas de severidad a moderada y hacia el 2015 los valores del SPI se normalizaron, no obstante, en el año 2020 se presentó un evento seco breve pero significativo. El área de estudio evidenció serie normal en periodos secos y húmedos con una variabilidad interanual y decadal, observándose un inicio muy seco en 1993 y abruptamente cambiando a un escenario lluvioso, pero son los secos que se prolongan.

Figura 11

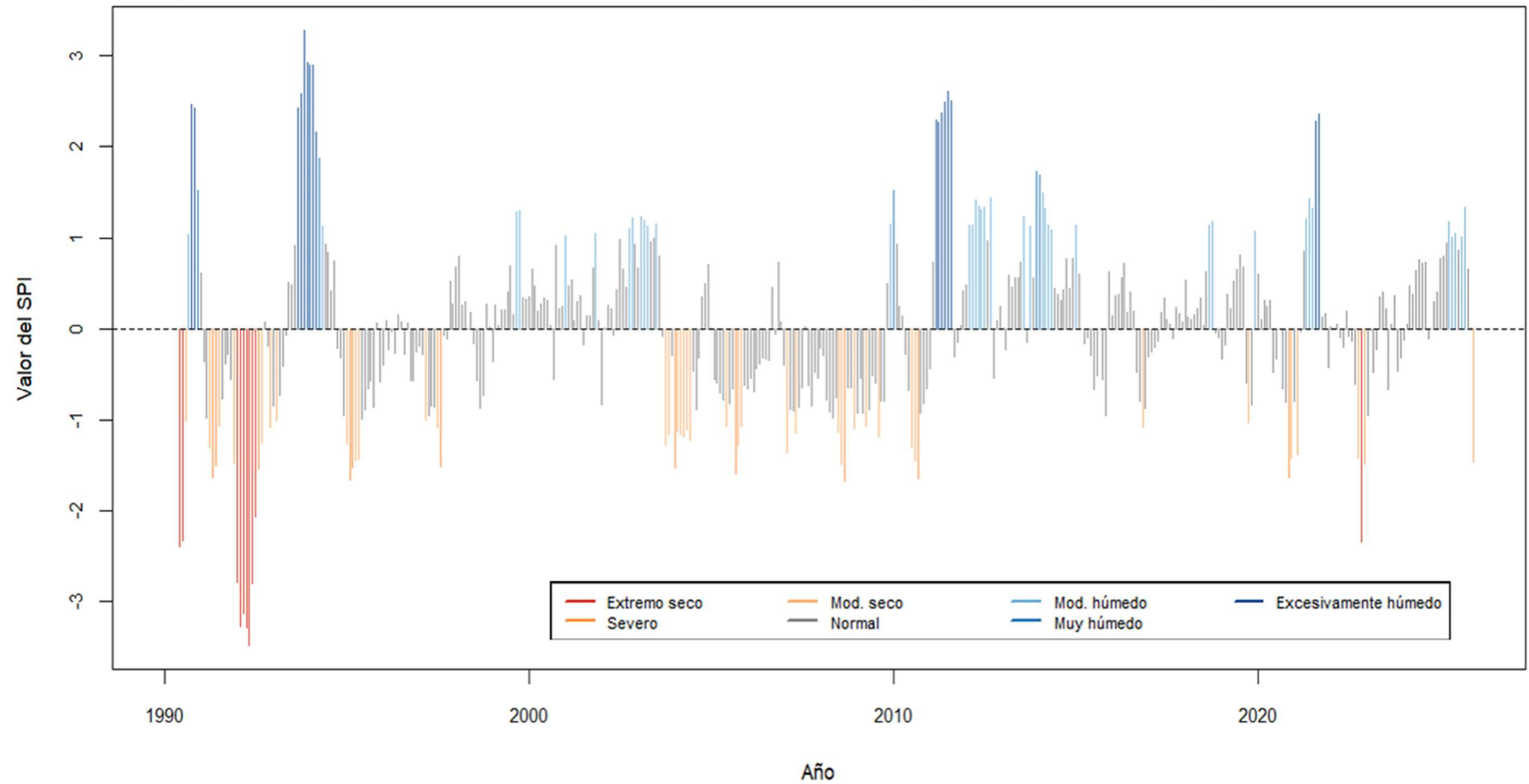
Índice de Precipitación Estandarizado a escala de 3 meses (SPI-3) (1990-2025) para la Subcuenca media preurbana del río Ichu



Nota: Grafico obtenido de RStudio.

Figura 12

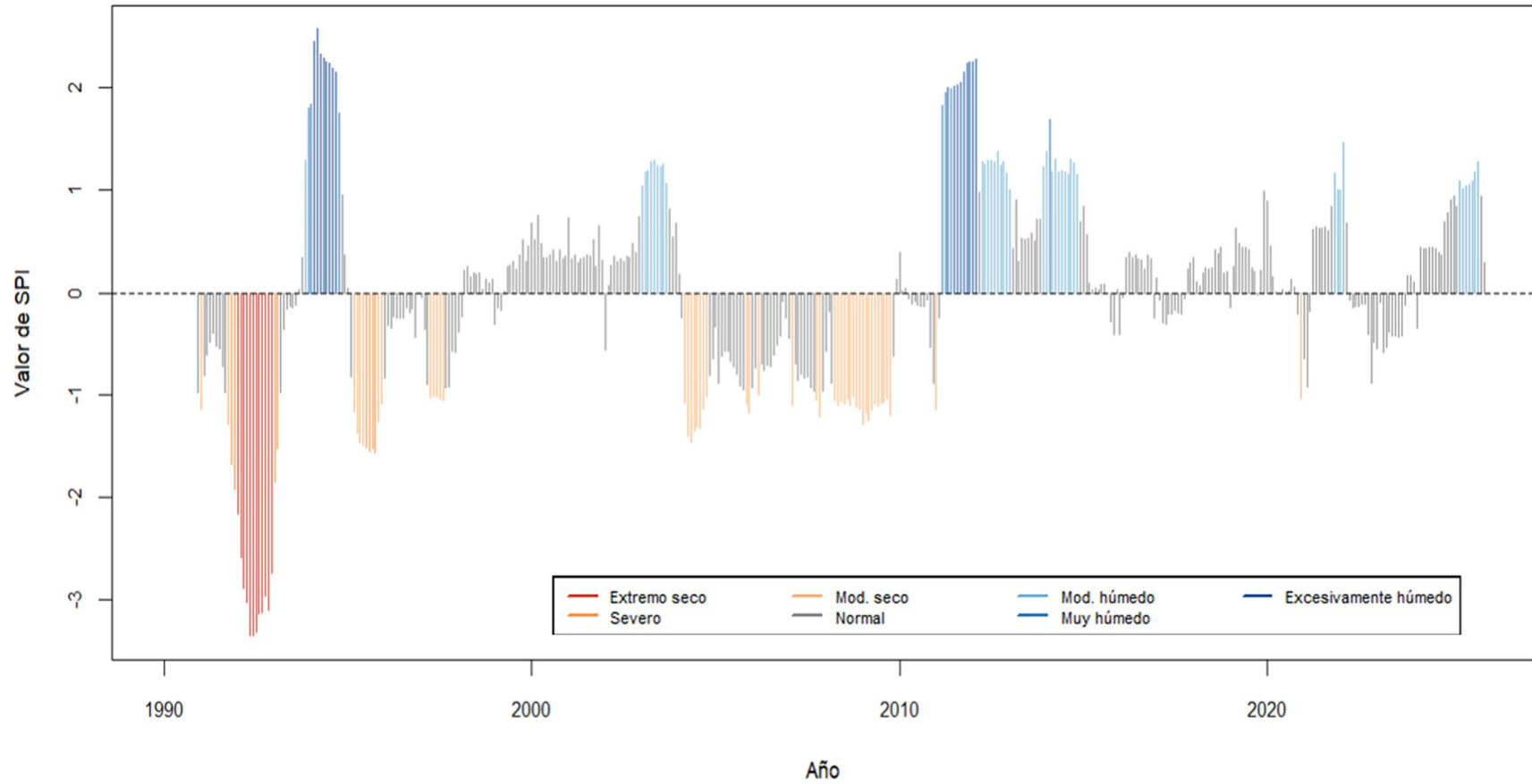
Índice de Precipitación Estandarizado a escala de 6 meses (SPI-6) (1990 – 2025) para la Subcuenca media preurbana del río Ichu



Nota: Grafico obtenido de RStudio

Figura 13

Índice de Precipitación Estandarizado a escala de 12 meses (SPI-12) (1990-2025) para la Subcuenca media preurbana del río Ichu



Nota: Grafico obtenido de RStudio.

4.1.3. Integración geoespacial y análisis multitemporal

Para la integración geoespacial se relacionó al caudal superficial hallado en los puntos de monitoreo con los valores de los índices espectrales (NDWI, NDVI, NDMI), para ello se utilizó el método de aforamiento de caudal por flotador en canal, en la tabla 22 se detalla los materiales y dimensiones utilizados.

Tabla 22

Materiales y dimensiones para el aforamiento de caudal superficial

Material	Dimensiones	Característica
Flotador de polipropileno (PP).	Peso: 25 g. Figura: esfera.	Utilizado para el cálculo de velocidad superficial en la sección.
Canal (sección cortada de tubo de 4" de PVC).	Largo: 90 cm. Diámetro interior: 10.16 cm. Altura: 7 cm.	Utilizado como canal por donde fluirá el flotador.
Cronómetro digital.	Unidad de medida: segundos.	Utilizado para controlar el tiempo de recorrido del flotador.

Nota: El canal (tubo cortado), viene a ser un canal semicircular.

Para relacionar la disponibilidad de agua superficial de los bofedales con los índices espectrales se optó por determinar los caudales en los puntos de monitoreo y determinar una relación durante el año que tiene con los índices espectrales, estos valores refleja cómo se comporta en humedad, almacén de agua y vegetación durante el año influenciado por las zonas fuentes en los puntos, por ello se instó a determinar los puntos en las zonas bajas o cercanas a los fuentes en las zonas con bofedales, cada monitoreo se desarrolló en 2 ocasiones al mes iniciando desde el mes de mayo, ya que en dicho mes las precipitaciones disminuyen y entran al periodo de estiaje. A continuación, los valores encontrados de caudales hacia el mes de setiembre se muestran en la tabla 23.

Tabla 23

Valores de los caudales (m^3/s) determinados en el monitoreo de campo (Subcuenca media preurbana del río Ichu) del periodo mayo-diciembre del 2025

Código	01BF-SAT	BF-PT02	BF-PT03	04BF-CAC	05BF-SAN	06BF-HUA	07BOF-TIN
Fecha	Q	Q	Q	Q	Q	Q	Q
	(m^3/s)	(m^3/s)	(m^3/s)	(m^3/s)	(m^3/s)	(m^3/s)	(m^3/s)
17/05/2025	0.02	0.022	0.017	0.016			
18/05/2025					0.01	0.022	0.016
30/05/2025	0.02	0.022	0.017	0.014			
31/05/2025					0.01	0.02	0.014
14/06/2025	0.022	0.022	0.014	0.011			
15/06/2025					0.01	0.019	0.013
28/06/2025	0.019	0.023	0.016	0.011			
29/06/2025					0.01	0.017	0.011
12/07/2025	0.018	0.021	0.011	0.009	0	0.018	0.009
20/07/2025	0.016	0.023	0.01	0.009	0	0.017	0
9/08/2025	0.019	0.021	0.01	0.009	0	0.015	0
23/08/2025	0.014	0.023	0.011	0.01	0	0.014	0.007
13/09/2025	0.015	0.022	0.011	0.01	0.01	0.016	0.008
28/09/2025	0.014	0.021	0.011	0.011	0.01	0.017	0.008
11/10/2025	0.017	0.022	0.011	0.01	0.01	0.016	0.01
25/10/2025	0.017	0.022	0.011	0.011	0.01	0.016	0.011
8/11/2025	0.018	0.022	0.011	0.011	0.01	0.017	0.011
22/11/2025	0.018	0.022	0.014	0.013	0.01	0.018	0.013
13/12/2025	0.019	0.022	0.013	0.013	0.01	0.019	0.013
27/12/2025	0.019	0.022	0.014	0.013	0.01	0.019	0.013

Nota: Los valores 0.00 / 0.000 figuran como valores mínimos por no encontrar agua superficial en la zona de monitoreo, que también presentaron humedad y escorrentía a nivel freático.

Posteriormente, estos resultados fueron comparados con los valores determinados del análisis satelital (NDWI, NDVI, NDMI), lo que permitió contrastar la información hidrológica in situ con los productos de teledetección, con base en esta comparación, se estableció una clasificación de los caudales en función de los patrones de disponibilidad hídrica identificados.

Tabla 24

Clasificación para los valores de caudales hallados

Estado del bofedal.	Rango de caudales (m³/s)	Condición hidrológica encontrado.	Interpretación.
Muy húmedo / saturado.	> 0.02	Alta descarga freática con anegamiento sobreestimado.	Bofedal activo, flujo de agua superficial visible.
Moderadamente húmedo.	0.005 – 0.02	Flujo constante y subterránea, pero sin anegamiento completo.	Bofedal funcional y estable, flujo moderado de agua.
Con vegetación, poca humedad.	< 0.005	Escasa descarga, descarga subterránea o evaporación.	Bofedal con vegetación moderada, no presenta escorrentía.

Nota: Clasificación establecida por los caudales encontrados, verificándose el valor numérico y la observación de los bofedales en las zonas de monitoreo.

Los valores promedio de Caudal registrados en los bofedales evaluados mostraron diferencias espaciales en la disponibilidad de agua superficial. Los puntos 01BF-SAT, BF-PT02 y 06BF-HUA presentaron caudales relativamente mayores y continuidad hídrica durante todo el año, mientras que los bofedales BF-PT03 y 04BF-CAC, si bien mantuvieron flujo permanente, evidenciaron condiciones de déficit hídrico. Por su parte, los bofedales 05BF-SAN y 07BF-TIN registraron interrupciones del caudal en determinados meses, lo que indica mayor vulnerabilidad a periodos secos.

El análisis de los índices espectrales permitió complementar la interpretación hidrológica. Los valores negativos de NDWI (-0.4 y -0.3), indicaron una presencia

limitada de agua superficial, con variaciones en el contenido hídrico entre los bofedales, aunque con índices de humedad residual. En contraste los valores de NDVI, cercanos a 0.5 en todos los puntos de monitoreo, evidenciaron tal presencia de cobertura vegetal persistente a lo largo del año, características de ecosistemas de bofedal.

Asimismo, los valores del NDMI, que oscilaron entre 0.1 y 0.2, reflejaron condiciones de baja humedad en la vegetación, asociadas a escasez de agua en el suelo. La consistencia de estos valores en todos los bofedales evaluados sugiere un patrón generalizado de estrés hídrico, aun en aquellos sitios donde el caudal se mantuvo vigente durante todo el año.

En conjunto la integración de los caudales medidos y los índices NDWI, NDVI, NDMI, permitió concluir que los bofedales del área de estudio presentaron condiciones de estrés hídrico durante el periodo de estudio, con distintos niveles de afectación espacial. Estos resultados evidencian que la persistencia de la cobertura vegetal no necesariamente implica una adecuada disponibilidad de agua superficial, resaltando la importancia de combinar mediciones in situ con información de teledetección para una evaluación integral del estado hídrico de los bofedales.

Asimismo, el análisis de los caudales medidos evidenció que, durante los meses de estiaje (junio a agosto), coincide con el predominio de valores negativos del SPI observados en la última década, Al contrastar estos resultados con las series temporales correspondientes a los periodos 1992–1993, 1997–1998, 2002–2003, 2015–2016 y 2019–2021, se identificó la recurrencia de eventos de sequía significativa, los cuales coincidieron con fases de acumulación de degradación hídrica en el sistema. Esta condición se reflejó en los índices espectrales obtenidos para el año de estudio, caracterizados por valores consistentemente negativos de NDWI, bajos valores de NDMI asociados a pérdida de humedad en la vegetación y caudales reducidos o nulos durante el periodo seco. En conjunto, estos resultados (tabla 25) evidenciaron que los bofedales del área de estudio han sido afectados por la persistencia y frecuencia de sequías meteorológicas e hidrológicas en los últimos diez años, lo que ha reducido su capacidad de retención y regulación hídrica.

Tabla 25

Valores promedios de índices espectrales (NDWI, NDVI, NDMI), Caudal y clasificación correspondiente al periodo mayo-diciembre del 2025 (Subcuenca media preurbana del río Ichu)

Valores promedios	01BF-SAT	BF-PT02	BF-PT03	04BF-CAC	05BF-SAN	06BF-HUA	07BF-TIN
Caudal (l/s)	17.75 vigente en todo el año	22.07 vigente en todo el año	12.58 vigente todo el año, pero presenta déficit.	11.40 vigente todo el año, pero presenta déficit.	7.75 seco en algunos meses.	17.50 vigente en todo el año.	9.90 seco en algunos meses.
NDWI	-0.3 presenta humedad.	-0.4 variación en el contenido de agua.	-0.4 variación en el contenido de agua.	-0.3 presenta humedad.	-0.3 presenta humedad.	-0.3 presenta humedad.	-0.3 presenta humedad.
NDVI	0.5 vegetación en todo el año.	0.5 vegetación en todo el año.	0.5 vegetación en todo el año.	0.4 vegetación en todo el año.	0.5 vegetación en todo el año.	0.5 vegetación en todo el año.	0.5 vegetación en todo el año.
NDMI	0.2 sufre escasez de agua.	0.2 sufre escasez de agua.	0.1 sufre escasez de agua.	0.1 sufre escasez de agua.	0.2 sufre escasez de agua.	0.2 sufre escasez de agua.	0.1 sufre escasez de agua.
Conclusión	Presenta estrés hídrico.	Presenta estrés hídrico.	Presenta estrés hídrico.	Presenta estrés hídrico.	Presenta estrés hídrico.	Presenta estrés hídrico.	Presenta estrés hídrico.

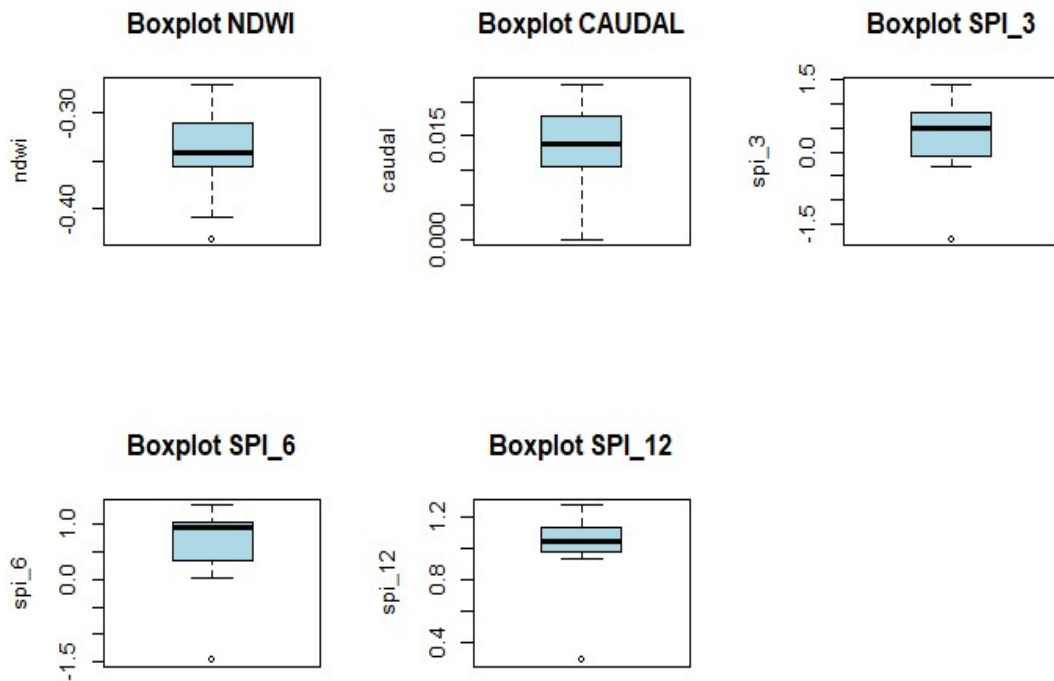
Nota: Clasificación establecida por los caudales encontrados, verificándose el valor numérico y la observación de los bofedales en las zonas de monitoreo.

4.1.4. Análisis estadístico y correlacional

La obtención de los estadísticos descriptivos se inició con la validación de datos, mediante diagramas de caja (bloxpot) en los datos mensuales de NDWI, caudal y SPI correspondieron al periodo de estudio para evaluar valores atípicos.

Figura 14

Boxplot obtenidos para el NDWI, Caudal y escalas de SPI del periodo mayo-diciembre de 2025 en la Subcuenca media preurbana del río Ichu



Nota: Gráficos obtenidos de R-Studio.

La figura 14 presenta los diagramas de caja (boxplot), correspondiente al NDWI, caudal y los índices de SPI, estos gráficos fueron empleados como parte del control de calidad y la evaluación exploratoria de la distribución estadística analizadas para las series temporales. En el caso del NDWI, se observó una distribución relativamente compacta, con una mediana claramente definida y una dispersión moderada, lo que sugirió una estabilidad general en las condiciones de humedad superficial de los bofedales durante el periodo de estudio. Se presenció valores atípicos

aislados, representados por puntos fuera de los bigotes, no evidencia comportamientos erráticos, sino que puede interpretarse como episodios puntuales de mayor déficit o exceso hídrico coherente con la variabilidad estacional propia de su ecosistema. El boxplot del caudal mostró una distribución asimétrica con mayor concentración de valores en rangos bajos, lo cual es consistente con el régimen hidrológico característico de cuencas en tamaño al área de estudio. En cuanto a los índices del SPI, el SPI-3 exhibieron una mayor dispersión relativa con presencia de valores extremos negativos, reflejando adecuadamente la variabilidad de corto plazo asociada a anomalías mensuales de precipitación, por el contrario, los SPI-6 y SPI-12 presentaron distribuciones más concentradas y estables alrededor de valores positivos cercanos a la mediana, evidenciando la agregación temporal que suaviza la variabilidad y resalta condiciones climáticas persistentes. En conjunto la estructura de los boxplot indicó que las series no presentaron anomalías severas ni inconsistencias estadísticas. Los valores atípicos detectados corresponden a fenómenos hidro climáticos reales y no errores de medición, lo que validó la calidad de datos y respaldó su idoneidad para etapas posteriores de correlación, tendencias y evaluación de riesgos de sequías.

De manera complementaria se aplicó un análisis de detección de outliers utilizando el test de Grubss, los resultados obtenidos indican que para todas las variables evaluadas los valores del estadístico de Grubss - G oscilaron entre 2.22 y 2.76 con valores p superiores al nivel de significancia adoptado ($\alpha=0.05$), evidenciaron la ausencia de valores atípicos estadísticamente significativos en las series. Cuantitativamente es coherente con la inspección visual de los boxplot. Por tanto, las series analizadas cumplieron con los criterios de calidad estadística necesarios para evaluaciones posteriores sin requerir la eliminación o corrección de observaciones.

Tabla 26

Resultados de prueba de Grubss para el NDWI, Caudal y escalas de SPI

Variable	G	p-valor	Interpretación
NDWI	2.7568419	0.12300647	Sin evidencia de outliers

Caudal	2.55836164	0.23985249	Sin evidencia de outliers
SPI-3	2.22307218	0.65698085	Sin evidencia de outliers
SPI-6	2.36753815	0.43321762	Sin evidencia de outliers
SPI-12	2.46325987	0.32398221	Sin evidencia de outliers

Nota: Valores obtenidos de R-Studio.

En ese contexto se calcularon de cada variable y de cada punto de monitoreo los estadísticos descriptivos, que permite caracterizar de manera robusta la variabilidad temporal y espacial de las condiciones hidrológicas y humedad superficial de los bofedales en el área de estudio correspondiente.

Tabla 27

Estadística descriptiva de las variables en los puntos de monitoreo

Punto	Variable	Mín.	Q1	Mediana	Q3	Máx.	Media	Desv. Estand.	Coef. Disp. (%)
	Caudal (m ³ /s)	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.00	11.6
01BF-	NDWI	-0.36	-0.35	-0.35	-0.34	-0.27	-0.34	0.03	8.8
SAT	SPI-12	0.29	1.00	1.05	1.11	1.28	0.99	0.30	30.3
	SPI-3	-1.81	0.00	0.47	0.73	1.39	0.25	0.98	396.4
	SPI-6	-1.47	0.50	0.94	1.02	1.33	0.56	0.91	162.1
	Caudal (m ³ /s)	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.00	1.5
BF-	NDWI	-0.38	-0.36	-0.34	-0.34	-0.33	-0.35	0.02	5.1
PT02	SPI-12	0.29	1.00	1.05	1.11	1.28	0.99	0.30	30.3
	SPI-3	-1.81	0.00	0.47	0.73	1.39	0.25	0.98	396.4
	SPI-6	-1.47	0.50	0.94	1.02	1.33	0.56	0.91	162.1

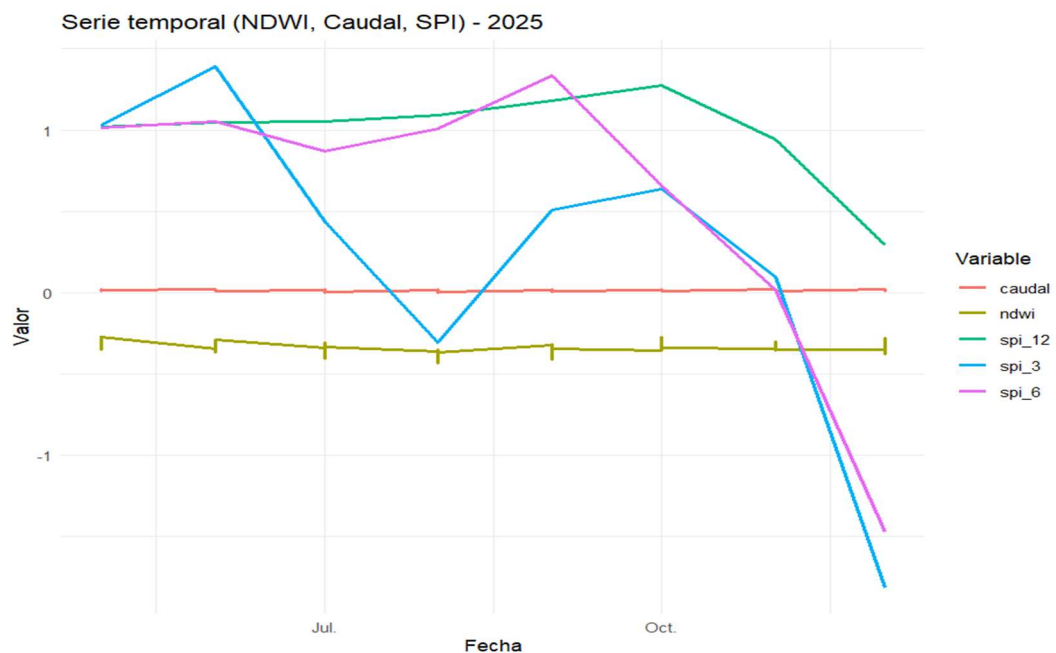
	Caudal	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.01	0.00	19.4
	(m ³ /s)								
BF-	NDWI	-0.43	-0.41	-0.37	-0.36	-0.33	-0.38	0.03	9.0
PT03	SPI-12	0.29	1.00	1.05	1.11	1.28	0.99	0.30	30.3
	SPI-3	-1.81	0.00	0.47	0.73	1.39	0.25	0.98	396.4
	SPI-6	-1.47	0.50	0.94	1.02	1.33	0.56	0.91	162.1
	Caudal	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	16.8
	(m ³ /s)								
04BF-	NDWI	-0.37	-0.34	-0.31	-0.29	-0.27	-0.32	0.03	10.7
CAC	SPI-12	0.29	1.00	1.05	1.11	1.28	0.99	0.30	30.3
	SPI-3	-1.81	0.00	0.47	0.73	1.39	0.25	0.98	396.4
	SPI-6	-1.47	0.50	0.94	1.02	1.33	0.56	0.91	162.1
	Caudal	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	65.7
	(m ³ /s)								
05BF-	NDWI	-0.35	-0.32	-0.31	-0.29	-0.28	-0.31	0.02	7.5
SAN	SPI-12	0.29	1.00	1.05	1.11	1.28	0.99	0.30	30.3
	SPI-3	-1.81	0.00	0.47	0.73	1.39	0.25	0.98	396.4
	SPI-6	-1.47	0.50	0.94	1.02	1.33	0.56	0.91	162.1
	Caudal	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.00	11.2
	(m ³ /s)								
06BF-	NDWI	-0.37	-0.36	-0.33	-0.32	-0.30	-0.34	0.02	6.9
HUA	SPI-12	0.29	1.00	1.05	1.11	1.28	0.99	0.30	30.3
	SPI-3	-1.81	0.00	0.47	0.73	1.39	0.25	0.98	396.4
	SPI-6	-1.47	0.50	0.94	1.02	1.33	0.56	0.91	162.1
	Caudal	0.00	0.01	0.01	0.01	0.02	0.01	0.00	42.7
	(m ³ /s)								
07BF-	NDWI	-0.37	-0.35	-0.34	-0.32	-0.28	-0.33	0.03	9.4
TIN	SPI-12	0.29	1.00	1.05	1.11	1.28	0.99	0.30	30.3
	SPI-3	-1.81	0.00	0.47	0.73	1.39	0.25	0.98	396.4
	SPI-6	-1.47	0.50	0.94	1.02	1.33	0.56	0.91	162.1

Nota: Valores obtenidos de R-Studio.

Consecuente a ello se obtuvo las series temporales de cada variable, para una visualización metódica y observar el comportamiento en el periodo de estudio, ello se observa en la figura 15. Se observó que el NDWI mantiene valores negativos constantes y relativamente estable en el periodo de análisis y presentó una respuesta amortiguada cuando los SPI (3, 6 y 12) cayeron fuertemente hacia finales del periodo.

Figura 15

Series temporales (NDWI, Caudal, SPI) en el 2025 para la Subcuenca media preurbana del río Ichu



Nota: Grafico obtenido de R-Studio, elaboración propia.

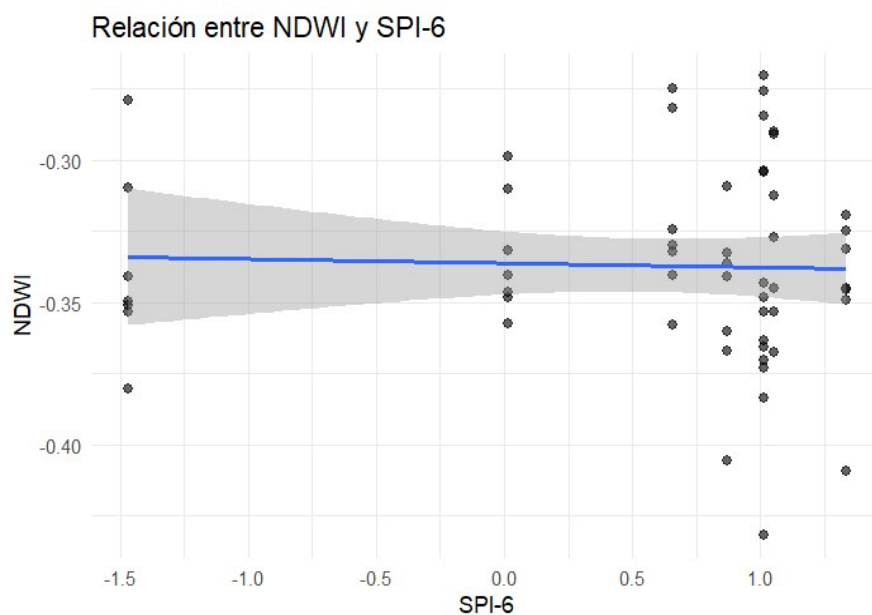
El caudal se mantuvo prácticamente constante también cercano a cero, no mostró variabilidad significativa ni respuesta inmediata a cambios inmediatos, probablemente a un régimen dominado por almacenamiento y liberación retardada y no por escorrentía directa. Paralelamente los índices SPI, comenzaron con valores positivos (condiciones húmedas) en mayo, pero experimentaron una caída drástica hacia diciembre entrando en valores negativos, el SPI-3 evidenció respuesta inmediata a eventos climáticos de corta duración, el SPI-6 mantuvo una respuesta más afirmada por ser estacional siendo más consistente con procesos hidrológicos como para

temporadas de análisis en esta investigación, el SPI-12 reflejó la memoria climática del sistema por ser más estable y generó escenarios de sequía más puntuales. Así, se confirmó entonces la existencia de desfases temporales entre la precipitación y respuesta hidrológica, propios de sistemas altoandinos y ecosistema de bofedal.

Dado que las series analizadas corresponden a variables hidro climáticas e índices espectrales con comportamiento estocástico, presencia de valores externos y tamaño muestral limitado se optó por emplear el coeficiente de correlación de Spearman, el cual no requiere el supuesto de normalidad y permite evaluar relaciones monótonas entre variables. De las series temporales, se seleccionó al SPI-6 para la vinculación con las variables hidrológicas (NDWI, caudal) debido a que este índice representa el déficit y superávit de precipitación acumulada semestral, lo cual es coherente con la capacidad de almacenamiento hídrico en los bofedales y coincide con los meses de estudio y no presentará respuestas inmediatas ni aisladas como sus índices semejantes.

Figura 16

Análisis de correlación entre el NDWI – SPI-6 (Variable independiente – variable dependiente) del periodo mayo-diciembre del 2025

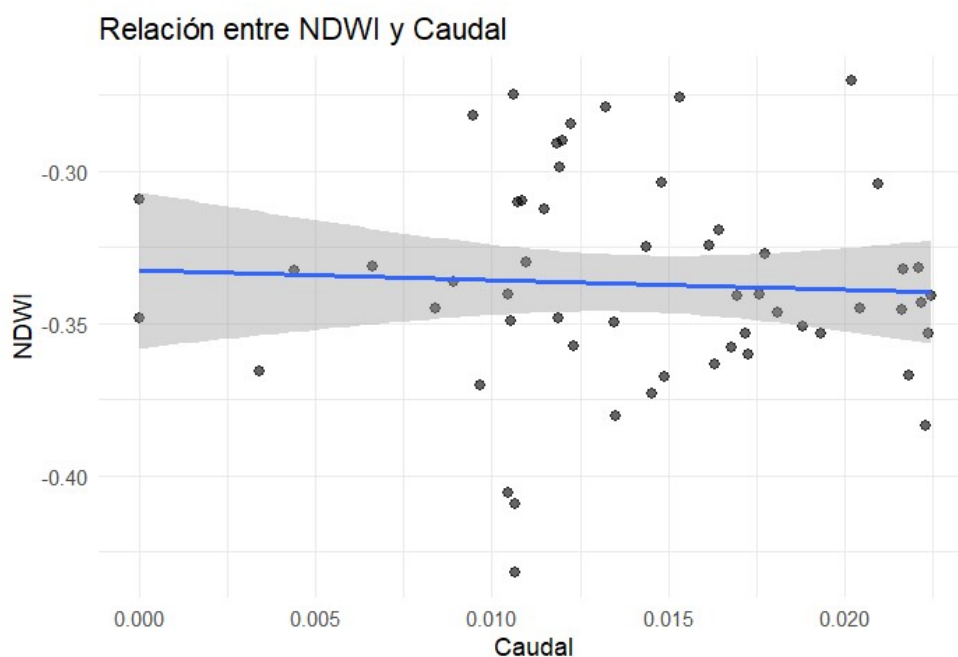


Nota: Grafico obtenido de R-Studio, elaboración propia.

La figura 16 evidenció una correlación lineal nula o insignificante entre el SPI-6 y el NDWI en la escala temporal analizada. El coeficiente de correlación de Spearman ($r = 0.021$, $p = 0.877$) confirma que no existe asociación estadísticamente significativa entre ambas variables. La línea de regresión o tendencia es prácticamente horizontal, esto sugiere que los cambios en el SPI-6 no estuvieron asociados a cambios proporcionales o predecibles en los valores del NDWI, la amplia banda de confianza sombreada y la alta dispersión de los puntos de datos alrededor de la línea demuestran una gran variabilidad y la falta de un patrón de asociación. Este comportamiento indicó que la humedad superficial de los bofedales no responde de manera directa ni monótona a la precipitación acumulada a escala semestral; por tanto, el NDWI reflejó principalmente condiciones hidrológicas locales y procesos internos del ecosistema, mientras que el SPI-6 representó la señal climática integrada que no se traduce necesariamente en cambios inmediatos en la humedad superficial.

Figura 17

Análisis de correlación entre el NDWI – Caudal en el periodo mayo-diciembre del 2025

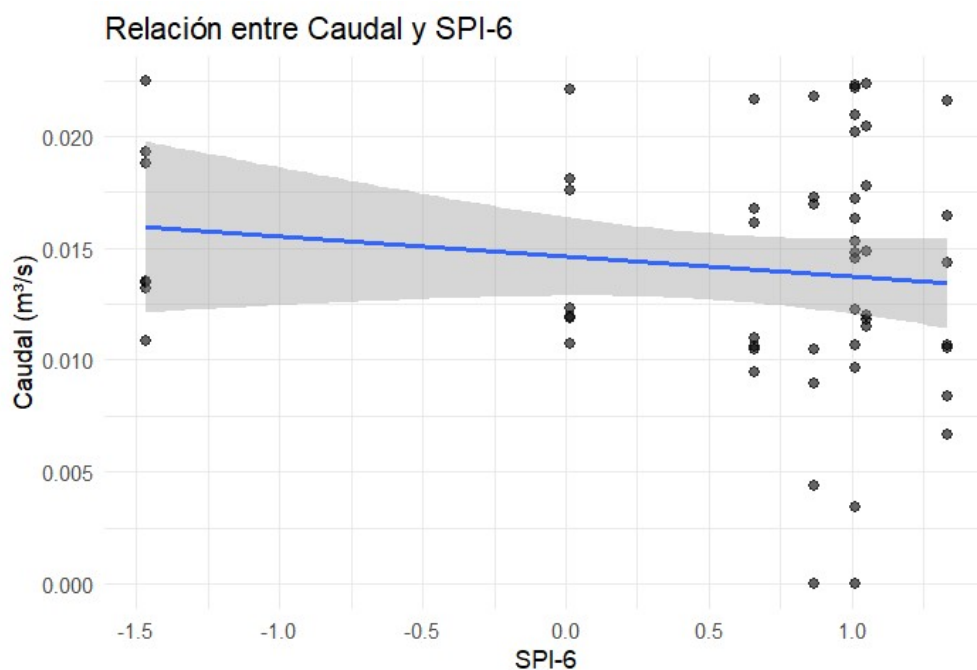


Nota: Grafico obtenido de R-Studio, elaboración propia.

La figura 17, representa la relación entre el NDWI y el caudal superficial. El coeficiente de correlación de Spearman ⁷ una relación inversa muy débil y no significativa entre ambas variables ($r = -0.091$, $p = 0.503$), la línea tendencia es prácticamente horizontal, indicando que el incremento del caudal no se asocia a un patrón definido de mayor o menor humedad en la superficie del bofedal. La alta ⁷⁷ dispersión de los datos y la amplitud del intervalo de confianza, sugiere una independencia estadística en el periodo analizado. El NDWI como indicador local captó la humedad superficial del suelo y el caudal representó el flujo base del río, el cual puede presentar tener un tiempo de respuesta (rezago) a la recarga de la cuenca que no es instantáneo, en conjunto, estos resultados sugieren la existencia de procesos de regulación hídrica y amortiguamiento en el ecosistema del bofedal.

Figura 18

Análisis de correlación del Caudal y el SPI-6 (variable independiente – variable dependiente) para el periodo mayo-diciembre del 2025



Nota: Gráfico obtenido de R-Studio, elaboración propia.

⁸⁰ La figura 18 muestra la relación entre el caudal y el SPI-6. El coeficiente de correlación de Spearman indicó ⁷ una relación inversa débil y no significativa entre

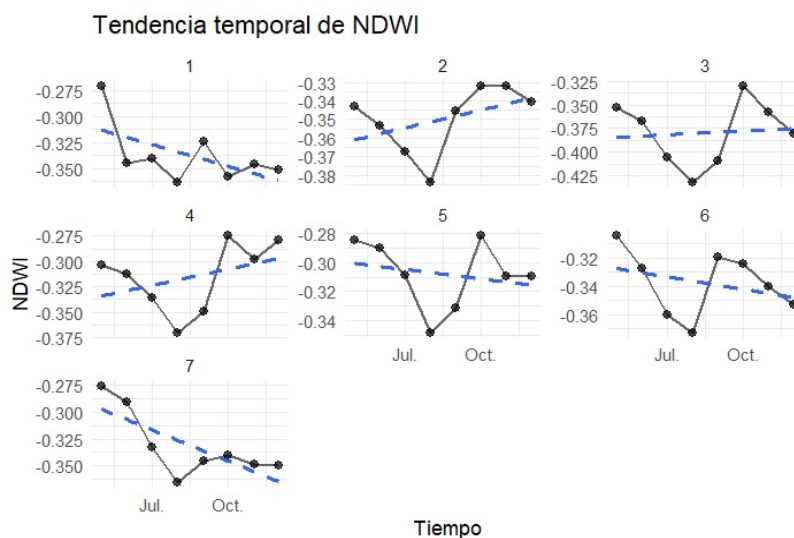
ambas variables ($r = -0.059$, $p = 0.664$). La alta dispersión de los datos y la amplitud del intervalo confirma que el SPI-6 no se traduce directamente en cambios proporcionales del caudal en la escala temporal analizada. Aunque se observa una tendencia negativa, esta no presenta significancia estadística. Estos resultados sugieren que el sistema hidrológico del área de estudio presenta un comportamiento amortiguador frente a la variabilidad climática de mediano plazo, desacoplando parcialmente la señal de precipitación de la dinámica del caudal.

4.1.5. Análisis de tendencias y evaluación de escenarios

Posteriormente, el test de Mann – Kendall y la pendiente de Sen fueron integrados en cuadros de tendencias por punto de monitoreo, permitieron clasificar la dirección y significancia del cambio temporal, asimismo, se construyó gráficos de tendencias para cada variable con el fin de visualizar la evolución temporal de las series y facilitar la interpretación espacial – temporal de los procesos hidrológicos en el área de estudio.

Figura 19

Tendencias para el NDWI del periodo mayo-diciembre del 2025 para la Subcuenca media preurbana del río Ichu



Nota: Gráfico obtenido de R-Studio, elaboración propia.

La figura 19 ilustra la tendencia temporal del NDWI, por punto de monitoreo, revelando una marcada heterogeneidad espacial y variabilidad estacional. Los valores se mantuvieron en un rango negativo (-0.28 a -0.42), indicativo de condiciones de estrés hídrico de moderado y severo, lo cual fue coherente con la estación seca (julio – setiembre). La divergencia de las curvas de tendencia demostró que cada punto de monitoreo posee una dinámica hídrica local particular, este quiebre de tendencia coincide con el inicio de la temporada de lluvias, lo que sugiere una respuesta rápida a la humedad superficial ante la recarga hídrica inicial y subraya la importancia de monitorear múltiples puntos para capturar la complejidad hidrológica del ecosistema en el área de estudio.

Tabla 28

Resultados Test Mann – Kendall +Sen para el NDWI en el periodo mayo-diciembre del 2025

Punto	Tau	p-value	Pend. Sen	Tendencia	Significancia
01BF-SAT	-0.36	0.27	-0.0039	Decreciente	No significativa
BF-PT02	0.36	0.27	0.0022	Creciente	No significativa
BF-PT03	-0.07	0.90	-0.0012	Decreciente	No significativa
04BF-CAC	0.21	0.54	0.0045	Creciente	No significativa
05BF-SAN	-0.21	0.54	-0.0035	Decreciente	No significativa
06BF-HUA	-0.29	0.39	-0.0049	Decreciente	No significativa
07BF-TIN	-0.64	0.04	-0.0088	Decreciente	Significativa

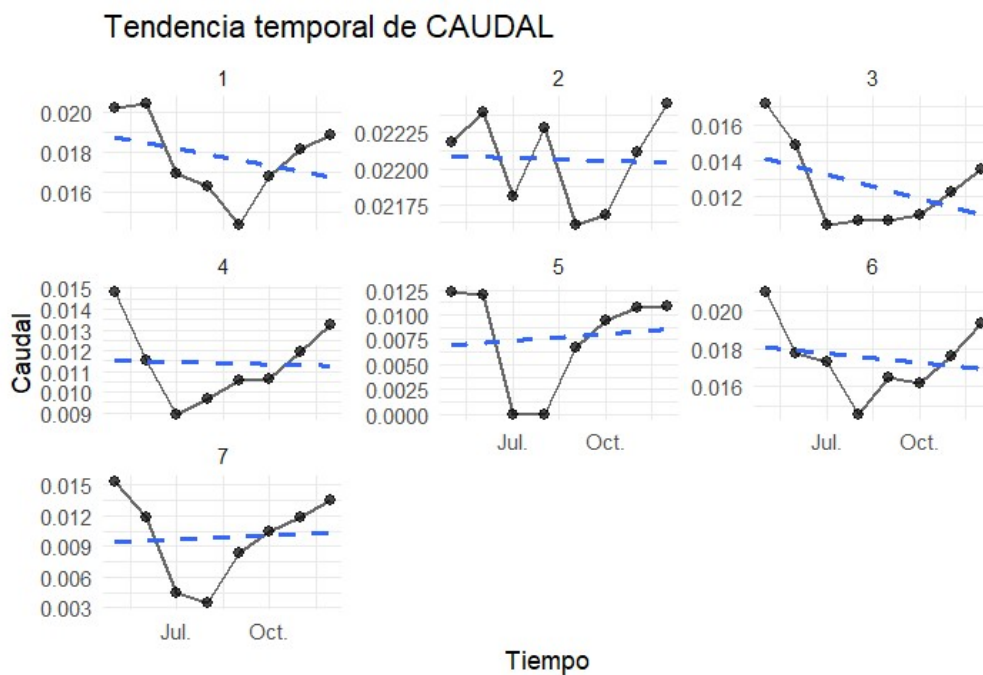
Nota: Datos obtenidos de R-Studio.

Los resultados del test de Mann-Kendall indicaron que seis de los siete puntos de monitoreo no presentaron tendencias estadísticamente significativas ($p > 0.05$), lo que sugiere que los cambios del NDWI responden principalmente a variaciones intranuales naturales del sistema y no a cambios progresivos en el tiempo. En términos

de dirección del cambio, los puntos 01BF-SAT, BF-PT03, 05BF-SAN y 06BF-HUA presentaron tendencias decrecientes débiles del NDWI, lo que indicaría una ligera reducción de la humedad superficial; sin embargo, estas tendencias no fueron estadísticamente significativas. Por otro lado, BF-PT02 y 04BF-CAC mostraron tendencias crecientes no significativas, lo que sugiere una leve mejora o mantenimiento de las condiciones de humedad superficial en dichos sectores. El único punto que evidenció un cambio significativo fue 07BF-TIN ($\tau = -0.64$; $p = 0.04$), el cual presentó una tendencia decreciente moderada con una pendiente de Sen de -0.0088 . Este resultado (tabla 28) indica una disminución anual consistente del NDWI en ese sector, lo que sugiere un proceso local de reducción de la humedad superficial que podría estar asociado a cambios hidrológicos, condiciones climáticas locales o dinámica interna del ecosistema.

Figura 20

Tendencias para el Caudal del periodo mayo-diciembre del 2025 para la Subcuenca media preurbana del río Ichu



Nota: Gráfico obtenido de R-Studio, elaboración propia.

La figura 20 presenta la tendencia temporal del caudal para los puntos de monitoreo, los resultados mostraron una alta heterogeneidad espacial en la disponibilidad de agua superficial, con diferencias significativas en los volúmenes de caudal registrados. Se observó un patrón estacional consistente con la hidrología andina, una disminución del caudal durante el pico de la estación seca (julio – setiembre), seguida de una recuperación evidente en el mes de octubre, coincidiendo con el inicio de las precipitaciones. Esta variabilidad temporal y espacial (multifacética) sugiere que los sectores del bofedal tienen distinta capacidad de almacenar y liberar agua. La tendencia general relativamente estable a pesar de la variabilidad a corto plazo indica que el ecosistema en el área de estudio mantuvo cierta resiliencia hídrica durante esta transición estacional.

Tabla 29

Resultados Test Mann – Kendall +Sen para el Caudal del periodo mayo-diciembre del 2025

Punto	Tau	p-value	Pend. Sen	Tendencia	Significancia
01BF-SAT	-0.14	0.71	-0.0002	Decreciente	¹⁴ No significativa
BF-PT02	0.00	1	6E-19	Sin tendencia	No significativa
BF-PT03	0.04	1	5.1E-05	Creciente	No significativa
04BF-CAC	0.21	0.54	0.0004	Creciente	No significativa
05BF-SAN	0.04	1	5.1E-05	Creciente	No significativa
06BF-HUA	-0.14	0.71	-0.0003	Decreciente	No significativa
07BF-TIN	0.14	0.71	0.0008	Creciente	No significativa

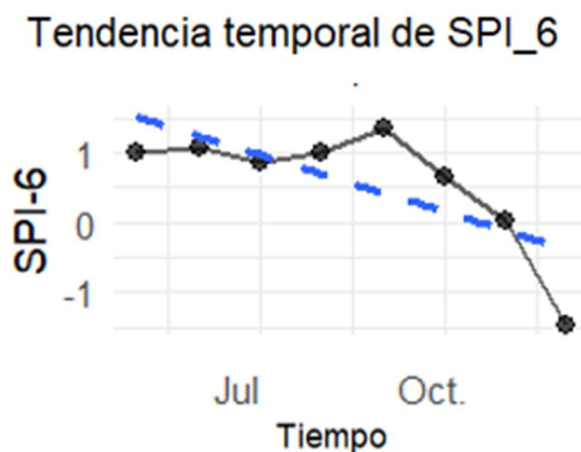
Nota: Datos obtenidos de R-Studio.

La prueba de Mann-Kendall indicó que ninguno de los puntos de monitoreo presentó tendencias estadísticamente significativas ($p > 0.05$), lo que sugiere que los cambios observados en el caudal corresponden principalmente a variaciones naturales

del sistema y no a procesos de cambio progresivo en el tiempo. En términos de dirección de cambio, los puntos 01BF-SAT y 06BF-HUA mostraron tendencias decrecientes débiles, mientras que BF-PT03, 04BF-CAC, 05BF-SAN y 07BF-TIN presentaron tendencias crecientes de baja magnitud. El punto BF-PT02 no evidenció tendencia detectable ($\tau = 0.00$), indicando estabilidad completa en la serie temporal analizada. No obstante, en todos los casos la magnitud de la pendiente de Sen fue cercana a cero, lo que confirma la baja tasa de variación temporal del caudal. Estos resultados indican que el sistema hidrológico presenta un comportamiento relativamente estable a escala temporal anual, caracterizado por variabilidad anual, pero sin evidencia de incremento o disminución sostenida del flujo superficial. La ausencia de tendencias significativas (tabla 29) sugiere un régimen de caudal controlado por mecanismos de regulación natural del sistema, tales como almacenamiento hídrico en el suelo, descarga retardada de la cuenca y procesos de amortiguamiento hidrológico propios del ecosistema del bofedal.

Figura 21

Tendencias para el SPI-6 del periodo mayo-diciembre del 2025 para la Subcuenca media preurbana del río Ichu



Nota: Gráfico obtenido de R-Studio, elaboración propia.

La uniformidad observada en los gráficos de tendencia del SPI-6 en la figura 21, se debe a que este índice fue calculado utilizando una única serie de datos de precipitación mensual en toda el área de estudio. Esta homogeneidad climática es

crucial para validar que las diferencias en la disponibilidad de agua no son un artefacto de las precipitaciones si no una característica intrínseca del funcionamiento del ecosistema del bofedal.

El análisis de tendencia temporal del SPI-6 evidenció un comportamiento decreciente a escala del área de estudio, con un valor de Tau de -0.57 y una pendiente de Sen de -0.1797. Sin embargo, la prueba de Mann-Kendall indicó que esta tendencia no alcanzó significancia estadística al nivel convencional del 95% de confianza ($p = 0.063$), por lo que se clasifica como una tendencia marginal. La dirección negativa del SPI-6 sugiere una disminución progresiva de las condiciones de humedad acumulada a escala semestral, lo que indicaría una tendencia hacia condiciones relativamente más secas durante el periodo analizado.

Tabla 30

Resultados Test Mann – Kendall +Sen para el SPI-6 del periodo mayo-diciembre del 2025

Punto	Tau	p-value	Pend. Sen	Tendencia	Significancia
En todos los puntos de monitoreo.	-0.57143	0.063487	-0.17974	Decreciente	Marginal

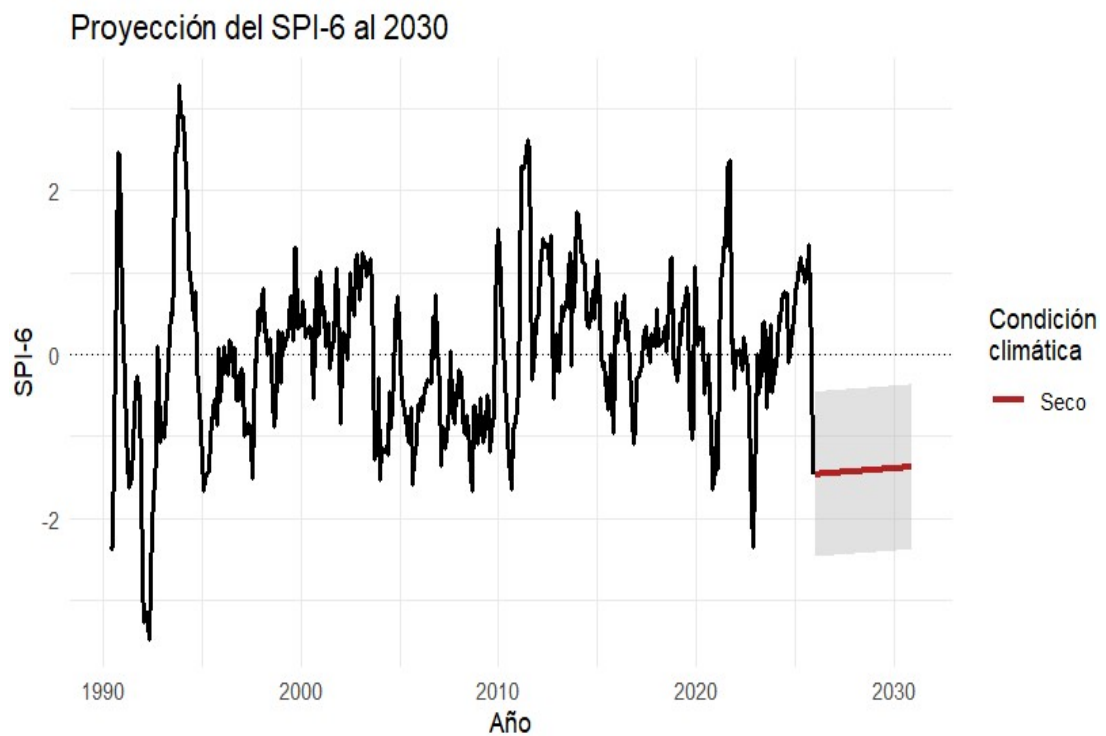
Nota: Datos obtenidos de R-Studio.

El análisis de tendencia no paramétrico aplicado a la serie histórica del SPI-6 (1990 – 2025) en la figura 22, mostró una tendencia lineal significativa en los niveles de humedad regional. La prueba de Mann – Kendall arrojó un valor p mayor a 0.05, lo que indica que la variabilidad interanual del clima domina sobre cualquier cambio direccional persistente a largo plazo y el estimador de pendiente Sen confirmó una tasa de cambio mensual cercana a cero. La proyección hacia el 2030, bajo un escenario de continuidad climática, indicó valores del SPI-6 cercanos a la normalidad con una ligera tendencia hacia condiciones deficitarias moderadas, sin alcanzar umbrales de sequía severa o extrema. Los escenarios seco y húmedo delimitan un rango plausible de variabilidad futura mostrando que, aun en condiciones desfavorables, el SPI-6 se mantiene mayoritariamente por encima de -1.5, lo cual sugiere la ausencia de un

escenario de estrés hídrico crítico persistente. Estos resultados indican que, de mantenerse las condiciones climáticas actuales, el sistema hidrológico asociado al bofedal enfrentaría presiones hídricas moderadas hacia el 2030, más relacionadas con la variabilidad climática estacional que una intensificación progresiva de la sequía.

Figura 22

Evaluación de escenarios del SPI-6 al 2030 para la Subcuenca media preurbana del río Ichu

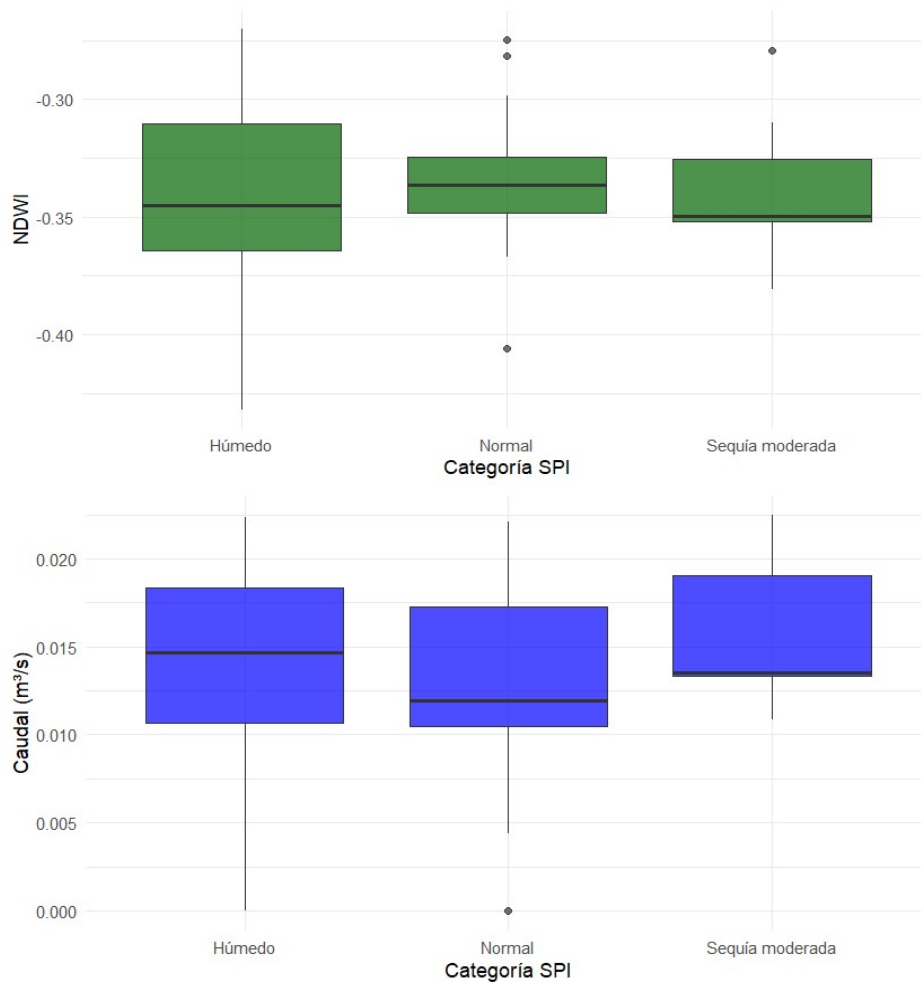


Nota: Gráfico obtenido de R-Studio, elaboración propia.

Con la obtención del escenario del SPI-6 al 2030, se analizó la respuesta hidrológica del NDWI y del Caudal superficial mediante su clasificación en categorías definidas por la OMM, integrando condiciones húmedas, normales y de sequía. Metodológicamente, esta aproximación permitió evaluar como variables biofísicas e hidrológicas responden estadísticamente a distintos estados de la disponibilidad hídrica, utilizando estadística descriptiva y pruebas no paramétricas (Kruskal – Wallis) para identificar diferencias entre categorías sin asumir normalidad de los datos.

Figura 23

Respuestas del NDWI, Caudal según categorías del SPI frente a escenarios proyectados hacia el 2030



Nota: Gráfico obtenido de R-Studio, elaboración propia.

Los resultados mostrados en la figura 23, manifestaron que tanto el NDWI y el Caudal presentan variaciones moderadas entre categoría SPI, con una tendencia general a valores más estables incluso bajo condiciones de sequía moderada, lo que sugiere una respuesta amortiguada del sistema bofedal frente a déficits pluviométricos. Esta evidencia empírica resulta coherente con la proyección del SPI-6 al 2030, la cual indica un predominio de escenarios cercanos a la normalidad climática con episodios intermitentes de sequía moderada, pero sin una persistencia de sequías severas o extremas. En este contexto, la respuesta observada del NDWI y del Caudal permitió

inferir que, bajo los escenarios proyectados al 2030, el bofedal mantendría su funcionalidad hidrológica dentro de rangos históricamente resilientes, reforzando la interpretación de que la variabilidad climática futura impactaría más en la dinámica temporal que en una degradación estructural del sistema.

4.2. Prueba de hipótesis

4.2.1. Proceso de prueba de normalidad

Las variables, así como las dimensiones de estudio atravesaron en primera instancia por la prueba de normalidad mediante el estadístico de Shapiro – Wilk, para ello se planteó la siguiente prueba estadística:

Ho: La distribución de datos es normal ($p > 0.05$).

Ha: La distribución de datos no es normal ($p < 0.05$).

Tabla 31

Prueba de normalidad para las variables de estudio

variable	W	p_value	Interpretación
NDWI	0.9735255	0.2535990	Distribución normal
NDVI	0.9819200	0.5618057	Distribución normal
NDMI	0.9870597	0.8088288	Distribución normal
SPI-3	0.8444309	0.0000040	Distribución no normal
SPI-6	0.7153318	0.0000000	Distribución no normal
SPI-12	0.7006430	0.0000000	Distribución no normal
Caudal	0.9534764	0.0304961	Distribución no normal

Nota: Resultados obtenidos de R-Studio.

La prueba de normalidad de Shapiro – Wilk, aplicada con un nivel de significancia de $\alpha = 0.05$, evidenció un comportamiento entre las variables analizadas, los índices espectrales NDWI, NDVI, NDMI presentaron valores estadísticos W elevados y valores $p > 0.05$, por lo que no se rechazó la hipótesis nula de normalidad, en contraste los índices SPI (3, 6 y 12) y el Caudal, mostraron valores $p < 0.05$,

conduciendo al rechazo de la hipótesis nula y evidenciando distribuciones no normales. Estos resultados justifican metodológicamente la aplicación de pruebas estadísticas no paramétricas, dado que no todas las variables cumplen el supuesto de normalidad y el tamaño muestral es limitado.

4.2.1. Proceso de prueba de hipótesis

4.2.1.1. Prueba de hipótesis general

A. Planteamiento de hipótesis.

Ho: La disponibilidad de agua superficial de los bofedales de la cuenca del río Ichu no influye significativamente en el riesgo de sequías en la ciudad de Huancavelica, considerando las variaciones estacionales proyectadas para el año 2025.

Ha: La disponibilidad de agua superficial de los bofedales de la cuenca del río Ichu influye significativamente en el riesgo de sequías en la ciudad de Huancavelica, considerando las variaciones estacionales proyectadas para el año 2025.

B. Prueba estadística.

Para la contrastación de la hipótesis general se aplicaron pruebas estadísticas no paramétricas, seleccionadas en función del tipo de variables analizadas, el tamaño de la muestra y la ausencia de supuesto de normalidad. Se utilizó la correlación de Spearman con el objetivo de evaluar la relación monotónica entre la disponibilidad de agua superficial de los bofedales (NDWI) y el riesgo de sequía (SPI-6), asimismo, con la finalidad de analizar el comportamiento temporal de la disponibilidad de agua superficial, se aplicó la prueba de Mann – Kendall, adecuado para identificar tendencias en series temporales cortas e independientes de las distribución de los datos, de manera complementaria se aplicó la pendiente de Sen para estimar la magnitud y dirección del cambio temporal del NDWI. Finalmente, para evaluar la respuesta de la disponibilidad

de agua superficial bajo distintos escenarios de sequía del SPI-6, se empleó la prueba de Kruskal – Wallis para comparar múltiples grupos independientes. Este conjunto de pruebas permitió integralmente la relación, tendencia y respuesta del NDWI frente al riesgo de sequía.

Tabla 32

Prueba estadística para la hipótesis general

Prueba	Variable analizada	Estadístico	p-value
Spearman	NDWI vs SPI-6	$\rho = 0.021$	0.8767
Mann–Kendall	NDWI	$Z = -0.572$	0.567
Pendiente de Sen	NDWI	$Q = -0.000171$	0.567
Kruskal–Wallis	NDWI por escenarios SPI-6	$\chi^2 = 0.476$	0.7881

Nota: Resultados obtenidos de R-Studio.

C. Decisión estadística.

Bajo un nivel de significancia de $\alpha = 0.05$, las pruebas de correlación, tendencia y comparación de escenarios arrojaron un p-valor superiores a 0.05, esto conlleva a no rechazar la hipótesis nula (H_0). Por tanto, estadísticamente no se evidencia una influencia significativa de la disponibilidad de agua superficial de los bofedales sobre el riesgo de sequías en la ciudad de Huancavelica durante el periodo de estudio.

4.2.1.2. Prueba de hipótesis específica 1

D. Planteamiento de hipótesis.

H_0 : El estado de conservación de los bofedales en la cuenca del río Ichu no influye en su disponibilidad de agua superficial a lo largo del año 2025.

H_a : El estado de conservación de los bofedales en la cuenca del río Ichu influye en su disponibilidad de agua superficial a lo largo del año 2025.

E. Prueba estadística no paramétrica.

Se procede con la prueba estadística de correlación de Spearman, para evaluar la relación entre la conservación de los bofedales (NDVI, NDMI) y la disponibilidad de agua superficial de los bofedales (NDWI).

Tabla 33

Prueba estadística no paramétrica para hipótesis específica 1

Correlación	Método	Rho	p-value
NDWI - NDVI	Spearman	0.035	0.7967
NDWI - NDMI	Spearman	0.513	0.0001

Nota: Resultados obtenidos de R-Studio.

F. Decisión estadística.

Bajo un nivel de significancia de $\alpha = 0.05$, los resultados de la prueba de correlación de Spearman indica que no existe una relación estadísticamente significativa entre el NDWI y NDVI ($\rho = 0,035$; $p = 0,7967$), por lo que no se rechaza la hipótesis nula para esta relación. En contraste se evidencia una relación estadísticamente significativa entre el NDWI y NDMI ($\rho = 0,513$; $p = 0,0001$), motivo por el cual se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa para esta relación.

En consecuencia, la hipótesis específica 1 se acepta parcialmente, al verificarse significancia únicamente para el indicador NDMI, mientras el que NDVI no presenta evidencia estadística suficiente de asociación con la disponibilidad de agua superficial de los bofedales.

4.2.1.3. Prueba de hipótesis específica 2

G. Planteamiento de hipótesis.

Ho: No existe correlación significativa entre la disponibilidad de agua superficial de los bofedales y el Índice de Precipitación Estandarizado (SPI) en la ciudad de Huancavelica.

Ha: Existe correlación significativa entre la disponibilidad de agua superficial de los bofedales y el Índice de Precipitación Estandarizado (SPI) en la ciudad de Huancavelica.

H. Prueba estadística no paramétrica.

Se procede con la prueba estadística de correlación de Spearman, para evaluar la relación entre la disponibilidad de agua superficial (NDWI) y el Índice de Sequia Estandarizado (SPI-6).

Tabla 34

Prueba estadística no paramétrica para hipótesis específica 2

Correlación	Método	Rho	p-value
NDWI – SPI-6	Spearman	0.021	0.8767

Nota: Resultados obtenidos de R-Studio.

I. Decisión estadística.

Bajo un nivel de significancia $\alpha = 0,05$, los resultados de la prueba de correlación de Spearman evidencia que el valor p obtenido ($p = 0.8767$), es mayor que el nivel de significancia establecido. En consecuencia, no se rechaza la hipótesis nula (H_0), la cual establece que no existe correlación estadísticamente significativa entre la disponibilidad de agua superficial de los bofedales, representada por el NDWI y el Índice de Precipitación Estandarizado a escala de 6 meses (SPI-6).

4.2.1.4. Prueba de hipótesis específica 3

J. Planteamiento de hipótesis.

H_0 : Las proyecciones de disponibilidad de agua superficial de los bofedales no permiten estimar el riesgo de sequias en la ciudad de Huancavelica para los próximos 5 años.

Ha: Las proyecciones de disponibilidad de agua superficial de los bofedales permiten estimar el riesgo de sequías en la ciudad de Huancavelica para los próximos 5 años.

K. Prueba estadística no paramétrica.

Se evaluó la hipótesis específica 3 mediante la serie temporal mensual de NDWI, caudal correspondiente a los meses de estudio, emparejada con los valores del SPI-6. Dado ⁷¹ el tamaño reducido de la muestra y la no normalidad en los datos, se aplicaron métodos estadísticos no paramétricos. La tendencia temporal de la disponibilidad de agua superficial se analizó mediante ⁵¹ la prueba de Mann-Kendall, complementada con la pendiente de Sen para estimar la magnitud y dirección del cambio, posteriormente los valores del SPI-6 fueron clasificados en escenarios hidroclimáticos (seco, normal, húmedo), se aplicó ⁶⁸ la prueba de Kruskal – Wallis para evaluar diferencias en los valores de NDWI y caudal para dichos escenarios. Dada la ausencia de correlación, se implementó ⁷⁸ un modelo de regresión lineal múltiple para explorar el escenario de la disponibilidad de agua superficial sobre el del SPI-6.

Tabla 35

Prueba estadística no paramétrica para hipótesis específica 3

Prueba estadística	Estadístico	Valor del estadístico	p-value
Mann–Kendall	Z	−0.572	0.567
Pendiente de Sen	Q	−0.00017	0.567
Kruskal–Wallis	χ^2	0.476	0.788

Nota: Resultados obtenidos de R-Studio.

L. Decisión estadística.

Los resultados evidencian una tendencia temporal estadísticamente significativa en los valores del NDWI (Mann–Kendall, $p > 0.05$), ni una pendiente significativa asociada a su variación temporal (pendiente de Sen, $p > 0.05$), asimismo, no se identificaron diferencias significativas en la disponibilidad de agua superficial entre los escenarios de sequía definidos mediante el SPI-6 (Kruskal–Wallis, $p > ²³0.05$);

en consecuencia, no se rechaza la hipótesis nula y se rechaza la hipótesis alterna. Concluyendo que, para el periodo analizado, la información disponible del NDWI resulta estadísticamente insuficiente para sustentar la estimación del riesgo de sequías en la ciudad de Huancavelica.

4.3 Discusión de resultados

De acuerdo con el procesamiento de imágenes Sentinel-2, los bofedales de la cuenca del río Ichu presentan una alta vitalidad vegetal, pero con señales de estrés hídrico superficial. Los valores de NDVI en los siete puntos de monitoreo oscilan entre 0.35 y 0.60, lo que los clasifica como "Vegetación alta". Sin embargo, el NDWI muestra valores negativos constantes de -0.2 a -0.4, situándolos en la categoría de "Sequía o superficie sin agua". Esta aparente contradicción (alta vegetación con baja agua superficial) coincide con lo expuesto por Espinosa et al. (2011), quienes señalan que la estabilidad de la cobertura vegetal en humedales altoandinos depende más del agua en el suelo (turba) que de la disponibilidad hídrica superficial. La persistencia de cobertura vegetal pese a la restricción hídrica observada en el NDWI coincide con la capacidad de los bofedales para almacenar agua en turba y liberarla gradualmente, sosteniendo procesos eco hidrológicos incluso en condiciones secas (Oshun et al., 2022).

Este comportamiento también concuerda con estudios que evidencian que la estructura del suelo y el contenido de materia orgánica determinan la retención hídrica y estabilidad del ecosistema (Baldoceña et al., 2022). Por tanto, la coexistencia de vegetación activa con déficit hídrico superficial puede explicarse por mecanismos de regulación subsuperficial propios de estos humedales. similar a lo reportado por Villar Acevedo (2023), quien registró una disminución del 50% en la cobertura de bofedales en la microcuenca Yuracmayo entre 2017 y 2021. Esta diferencia se debe probablemente a que los bofedales del Ichu enfrentan una presión antrópica y climática más severa que acelera la pérdida de humedad pese a mantener el vigor vegetal.

El análisis de correlación de Spearman evidenció una débil asociación entre el SPI-6 y las variables de disponibilidad hídrica (NDWI y Caudal), mostrando una

dispersión de datos sugiriendo que el estado de los bofedales en el área de estudio no responde de manera inmediata o lineal al déficit de precipitación de mediano plazo. Esta discrepancia con los resultados de Sulca & Joaquin (2023), quienes hallaron una dependencia del 48.3 % respecto a la precipitación, también la de Gómez-Sánchez et al. (2022), quienes validaron que los valores negativos del SPI provocan una disminución del 12% en la superficie hídrica de los bofedales en el sur del Perú. Sugiriéndose que en los bofedales de las zonas de monitoreo existen otros factores predominantes. La falta de una correlación fuerte, se puede argumentar debido a la "memoria hidrológica" y la capacidad de regulación de la turba, tal como mencionan Gribbin et al. (2024), quienes explican que los bofedales mantienen el flujo incluso cuando las lluvias fallan.

Por lo tanto, mientras que autores como Otto & Gibbons (2017) establecen una relación directa ($r^2=0.82$) entre lluvia y bofedales en otras regiones, los resultados muestran que el sistema para el río Ichu tiene una dinámica más compleja, esto indica que la disponibilidad de agua superficial podría estar más influenciada por la descarga lenta de turba, contribución de flujos subterráneos o el derretimiento glaciar residual que por la lluvia reciente, coincidiendo con la tesis de Oshun et al. (2022), quienes afirman que estos ecosistemas capturan agua de áreas mucho mayores a su tamaño, amortiguando el impacto directo de la sequía meteorológica.

La aplicación de las pruebas de Mann-Kendall, indicaron tendencias decrecientes en las variables de la disponibilidad de agua, se observó que el NDWI y caudal respondió a la variabilidad natural y no a un cambio progresivo irreversible, a diferencia del escenario histórico del SPI-6 que evalúa un escenario de condición climática seca hacia el 2030, esto sugiere que, de mantenerse la variabilidad actual, la capacidad de regulación de los bofedales podría verse severamente comprometida. La tendencia es coherente con las proyecciones de Pérez-Cutillas et al. (2020), quienes estimaron reducciones de hasta el 30% en el caudal de cuencas de alta montaña debido al calentamiento global considerando la evaluación histórica de variables, a diferencia del estudio de Belay et al. (2024), donde la teledetección mostró escenarios de recarga

estables en regiones de Etiopía, estos resultados sugieren un incremento del riesgo de sequía hidrológica.

Esta diferencia radica en la vulnerabilidad específica del área de estudio, la degradación por sobrepastoreo y drenaje artificial, factores también identificados por Maldonado (2018) en Ayacucho y Huancavelica, reducen la resiliencia del ecosistema, por lo tanto, el escenario al 2030 proyecta una mayor estacionalidad del río Ichu, validando la advertencia de Otto & Gibbons (2017) sobre la pérdida de capacidad de almacenamiento hídrico en bofedales altoandinos ante la reducción proyectada de lluvias, observación difirió de lo hallado por Villar Acevedo (2023), quien registró una reducción drástica de más del 50 % en la cobertura de bofedales en la microcuenca Yuracmayo entre 2017 y 2021. Este panorama fue consistente con las advertencias de Ayala Bizarro (2020) (p. 12), quien señaló que la disminución progresiva del agua superficial en la región está ligada tanto a la variabilidad climática como a la presión antropogénica, factores que deben ser monitoreados para evitar escenarios de escasez severa al año 2030.

CONCLUSIONES

- La evaluación integrada de los índices espectrales y de las mediciones de caudal evidenció que los bofedales del área de estudio, presentaron disponibilidad limitada de agua superficial durante el periodo de estudio, caracterizada por déficit hídrico superficial persistente y heterogeneidad funcional entre unidades eco hidrológicas, lo que confirma un estado de conservación hidrológica variable dentro del sistema.
- El estado de conservación de los bofedales condiciona su capacidad de regulación hídrica anual, evidenciándose que la disminución de su capacidad de almacenamiento y liberación de agua contribuye a la reducción progresiva del recurso hídrico superficial en el área de estudio.
- El análisis estadístico no evidenció correlación significativa entre el Índice de Precipitación Estandarizado (SPI-6) y los indicadores de disponibilidad de agua superficial, lo que demuestra un desacoplamiento parcial entre la variabilidad climática de mediano plazo y la respuesta hidrológica superficial de los bofedales, atribuible a mecanismos de regulación y almacenamiento hídrico propios del ecosistema.
- El análisis de tendencias y la evaluación de escenarios hidrológicos indicaron ausencia de recuperación hídrica sostenida y persistencia de condiciones de déficit superficial bajo escenarios secos, lo que evidencia limitada resiliencia hidrológica del sistema frente a la recurrencia de sequías meteorológicas y tendencia a la estabilidad deficitaria de la disponibilidad de agua superficial.
- La disponibilidad de agua superficial de los bofedales de la cuenca del río Ichu está controlada por un sistema eco hidrológico regulador que amortigua la señal climática; sin embargo, la persistencia de condiciones de estrés hídrico, la limitada recuperación funcional y la

tendencia a la estabilidad deficitaria evidencian un incremento potencial del riesgo de sequías hidrológicas para la ciudad de Huancavelica al comprometer la función reguladora de estos ecosistemas altoandinos.

RECOMENDACIONES

- Priorizar la conservación y restauración ecológica de zonas de bofedales que presentaron caudales intermitentes o déficit hídrico estructural, mediante control de drenajes, manejo de carga ganadera y protección de zonas de turba, con verificación anual de recuperación del caudal base.
- Integrar la función reguladora de los bofedales en la planificación hídrica local, utilizando indicadores hidrológicos como variables de alerta temprana para la gestión preventiva del riesgo de sequías.
- Ampliar el horizonte temporal de observación a series interanuales continuas que permitan evaluar resiliencia y recuperación hidrológica de largo plazo.
- Utilizar los resultados y el enfoque metodológico desarrollado en la presente investigación como base de referencia para estudios eco hidrológicos futuros en bofedales altoandinos, promoviendo su ampliación temporal, espacial y multivariable, con el fin de fortalecer la comprensión de los mecanismos de regulación hídrica y su relación con la variabilidad climática en sistemas de montaña.

REFERENCIAS BIBLOGRAFICAS

- 6 Alberto Castillo, M. E., & Joseli Matos, C. L. (2019). *Evaluación del estado ambiental del bofedal altoandino “Yanacancha” comunidad campesina de Miraflores - Yauyos 2019*. Universidad César Vallejo.
- Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., & Smith, M. (1998). *Crop Evapotranspiration (guidelines for computing crop water requirements)*.
- Alonso Losa, L. (2022). *Aplicación del análisis de series temporales a variables atmosféricas*. Universidad de Valladolid.
- Ambenje, P., Bojariu, R., Easterling, D., Klein Tank, A., Parker, D., Rahimzadeh, F., Renwick, J. A., Rusticucci, M., Soden, B., & Zhai, P. (1994). *Observations: Surface and Atmospheric Climate Change Coordinating Lead Authors: Lead Authors: Review Editors: This chapter should be cited as*.
- Anderson, M. J. (2001). A new method for non-parametric multivariate analysis of variance. *Austral Ecology*.
- Ángeles Clemente, V. A., Arana Ruedas, D. P. R., Camargo Hinostroza, S. D., & Oketta, O. (2024). Comparison between Standardized Precipitation Index (SPI) and Standardized Evapotranspiration Index (SPEI) for agricultural drought over Mantaro Valley, Peru. *Manglar*, 21(3), 337–345. <https://doi.org/10.57188/manglar.2024.037>
- Anthelme, Fabien, ed, Meneses, Dangles, & Olivier. (2014). *Métodos para estudiar el efecto del cambio climático sobre los bofedales y sus servicios ambientales inherentes*.
- Araque Arellano, M. (2022). El agua en la naturaleza. In *Diseño hidráulico de plantas de tratamiento de agua potable* (pp. 15–24). Editorial Abya-Yala. <https://doi.org/10.7476/9789978108208.0002>

- Araque, M., Vásconez, M., Mancheno, A., Álvarez, C., Prehn, C., Cevallos, C., & Ortiz, L. (2019). *Cuencas Hidrográficas*.
- Arrhenius, S. (1896). On the Influence of Carbonic Acid in the Air upon the Temperature of the Ground. In *Philosophical Magazine and Journal of Science Series* (Vol. 5). <http://www.globalwarmingart.com/>
- Autoridad Nacional del Agua. (2010). *Evaluación de recursos hídricos superficiales en la cuenca del río Pampas*.
- Autoridad Nacional del Servicio Civil. (2021). *Gestión Sostenible del Agua*. www.servir.gob.pe
- Ayala Bizarro, I. A. (2020). *Estudio hidrológico de la sub cuenca del río Ichu*.
- Baldoceda, Á., Maldonado, M., & Alcántara, F. (2022). Análisis del porcentaje de humedad, materia orgánica y porosidad del suelo de dos tipos de bofedales. *Ciencia & Desarrollo*, 20(2), 17–28. <https://doi.org/10.33326/26176033.2021.2.1204>
- Bateman, A. (2007). *Hidrología Básica y Aplicada*. www.gits.ws
- Belay, A. S., Yenehun, A., Nigate, F., Tilahun, S. A., Dessie, M., Moges, M. M., Chen, M., Fentie, D., Adgo, E., Nyssen, J., & Walraevens, K. (2024). Estimation of spatially distributed groundwater recharge in data-scarce regions. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 56. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2024.102072>
- Bernal, C. A. (2010). *Metodología de la investigación administración, economía, humanidades y ciencias sociales*. PEARSON EDUCACIÓN.
- Botter, G., Bertuzzo, E., & Rinaldo, A. (2011). Catchment residence and travel time distributions: The master equation. *Geophysical Research Letters*, 38(11). <https://doi.org/10.1029/2011GL047666>
- Bozzano, H., Frediani, J., Cirio, G., & Barrionuevo, C. (2014). *Metodología de la investigación en Geografía*.

- Breña Puyol, A. F., & Jacobo Villa, M. A. (2006). *Principios y Fundamentos de la Hidrología Superficial*.
- Budyko, M. I. (1974). *Climate and Life* (Academic Press, p. iii). [https://doi.org/10.1016/s0074-6142\(09\)60001-2](https://doi.org/10.1016/s0074-6142(09)60001-2)
- Bustos Castelblanco, D. E. (2021). *Análisis de la disponibilidad hídrica superficial en la cuenca alta y media del río La Vieja bajo escenarios de cambio climático*. Universidad de Quindío.
- Céleri, R., & Feyen, J. (2009). The hydrology of tropical andean ecosystems: Importance, knowledge status, and perspectives. *Mountain Research and Development*, 29(4), 350–355. <https://doi.org/10.1659/mrd.00007>
- Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas. (2013). *Caracterización Hidrológica de Sequías*.
- Centro Nacional de Planeamiento Estratégico. (2023). *Estudio prospectivo sobre el estrés hídrico y la inseguridad alimentaria en el Perú*.
- Chandrasekhar, S. (1960). *Radiative Transfer*.
- Chavarría -Vidal, A. E., Morales-Sánchez, M., & Soto-Bravo, F. (2022). *Evapotranspiración de referencia, evapotranspiración real y el coeficiente de cultivo para el cultivo de cebolla (Allium cepa) c.v. Álvara promedio en invernadero*.
- Chávez, R. O., Meseguer-Ruiz, O., Olea, M., Calderón-Seguel, M., Yager, K., Isela Meneses, R., Lastra, J. A., Núñez-Hidalgo, I., Sarricolea, P., Serrano-Notivoli, R., & Prieto, M. (2023). Andean peatlands at risk? Spatiotemporal patterns of extreme NDVI anomalies, water extraction and drought severity in a large-scale mining area of Atacama, northern Chile. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 116. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2022.103138>

- Choubin, B., Malekian, A., & Golshan, M. (2016). Application of several data-driven techniques to predict a standardized precipitation index. *Atmosfera*, 29(2), 121–128. <https://doi.org/10.20937/ATM.2016.29.02.02>
- Cieza, L. G., & Mejía, J. A. (2019). *Comparison of three methods in the analysis of hydrometeorological droughts in the Llave River basin Puno – Perú / Comparación de tres métodos en el análisis de sequías hidrometeorológicas en la cuenca del Río Llave Puno – Perú.*
- Córdova Rodríguez, J. R., & Rodríguez Iturbe, I. (2010). *El ciclo hidrológico y su significación ecológica.*
- Crispin Cunya, M., & Jimenez Diaz, L. A. (2019). Valoración económica ambiental de los bofedales del distrito de Pilpichaca, Huancavelica, Perú. *Natura@economía*, 4(1), 1. <https://doi.org/10.21704/ne.v4i1.1299>
- Cuadros, J., Maldonado, M., Carillo, C., & Mejía, A. (2022). *Diseño de Metodología para la Evaluación de la Calidad de Bofedales por Teledetección.* <https://cymperusac.com/>
- Darcy, H. (1856). *Les fontaines publiques de la ville de Dijon: exposition et application des principes à suivre et des formules à employer dans les questions de distribution d'eau.*
- Diana, A. (2020). *Bayesian nonparametric methods for modelling ecological data and stochastic processes for modelling species interactions.* University of Kent.
- Espinosa, M., Orellana, L., Alegría, D., & Ortiz, G. (2011). *Análisis multitemporal de cambios ocurridos en humedales utilizando imágenes satelitales (Periodo 1984 - 2011).*
- Florín Beltrán, M. (2010). *El ciclo del agua: de los montes a las áreas bajas, calidad, usos y cambio climático* Máximo Florín Beltrán.

- Fuenzalida, M., Buzai, G. D., Moreno Jiménez, A., & García de León, A. (2015). *Geografía, Geotecnología y Análisis Espacial. Tendencias, métodos y aplicaciones* (Editorial Triangulo, Ed.). Universidad Alberto Hurtado. <http://editorialtriangulo.org>
- García, E., & Otto, M. (2015). CARACTERIZACIÓN ECOHIDROLÓGICA DE HUMEDALES ALTO ANDINOS USANDO IMÁGENES DE SATÉLITE MULTITEMPORALES EN LA CABECERA DE CUENCA DEL RÍO SANTA, ANCASH, PERÚ ECOHYDROLOGICAL CHARACTERIZATION OF HIGH ANDEAN WETLANDS BASED ON MULTI-TEMPORAL REMOTE SENSING IMAGES IN THE CASE OF UPPER SANTA RIVER, ANCASH, PERU. *Ecología Aplicada*, 14(2), 2015.
- Gilvear, D. J., & Bradley, C. (2009). Hydrological Dynamics II: Groundwater and Hydrological Connectivity. In *The Wetlands Handbook* (pp. 169–193). Wiley-Blackwell. <https://doi.org/10.1002/9781444315813.ch7>
- Gómez-Sánchez, R., Cuba, D., & Aponte, H. (2022). SOBRE LA NECESIDAD DE DESCENTRALIZACIÓN Y DIVERSIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN EN HUMEDALES COSTEROS PERUANOS. *The Biologist*, 20(1), 121–150. <https://doi.org/10.24039/rtb20222011311>
- Gonnet, J., & Damian, A. (2021). *Evaluación rápida del servicio ecosistémico de provisión de agua de los humedales altoandinos en la Cuenca del Rímac a la ciudad de Lima*.
- Gribbin, T., Mackay, J. D., MacDonald, A., Hannah, D. M., Buytaert, W., Baiker, J. R., Montoya, N., Perry, L. B., Seimon, A., Rado, M., Arias, S., & Vargas, M. (2024). Bofedal wetland and glacial melt contributions to dry season streamflow in a high-Andean headwater watershed. *Hydrological Processes*, 38(8). <https://doi.org/10.1002/hyp.15237>
- Gu, Y., Brown, J. F., Verdin, J. P., & Wardlow, B. (2007). A five-year analysis of MODIS NDVI and NDWI for grassland drought assessment over the central

Great Plains of the United States. *Geophysical Research Letters*, 34(6).
<https://doi.org/10.1029/2006GL029127>

Guide to Instruments and Methods of Observation Volume I-Measurement of Meteorological Variables. (n.d.).

Gunnar, M., Highwood, E. J. S. K. P., & Stordal, F. (1998). New estimates of radiative forcing due to well mixed greenhouse gases. *Geophysical Research Letters*, 25, 2715–2718.

Helsel, D. R., Hirsch, R. M., Ryberg, K. R., Archfield, S. A., & Gilroy, E. J. (2020). *Statistical Methods in Water Resources*.

Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, M. del P. (2014). *Metodología de la Investigación* (McGRAW-HILL Educación, Ed.).

Hirsch, R. M., Slack, J. R., & Smith, R. A. (1982). Techniques of Trend Analysis for Monthly Water Quality Data. In *WATER RESOURCES RESEARCH* (Vol. 18).

Houshang Ehsani, A., & Shakeryari, M. (2020). Monitoring of wetland changes affected by drought using four Landsat satellite data and Fuzzy ARTMAP classification method (case study Hamoun wetland, Iran). *Arabian Journal of Geosciences*. <https://doi.org/10.1007/s12517-020-06320-8>/Published

Huss, M., & Hock, R. (2018). Global-scale hydrological response to future glacier mass loss. *Nature Climate Change*, 8(2), 135–140.
<https://doi.org/10.1038/s41558-017-0049-x>

Instituto Geofísico del Perú. (2010). *Cambio Climático en la cuenca del Mantaro (Balance de 7 años de estudio)*.

Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña. (2023). *Memoria Descriptiva Inventario Nacional de Bofedales*.

Instituto Nacional de Investigación y Ecosistemas de Montaña. (2023). *Memoria Descriptiva Inventario Nacional de Bofedales 2023*.

- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2023). Technical Summary. In *Climate Change 2021 – The Physical Science Basis* (pp. 35–144). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781009157896.002>
- Jafarzadeh, H., Mahdianpari, M., Gill, E. W., Brisco, B., & Mohammadimanesh, F. (2022). Remote Sensing and Machine Learning Tools to Support Wetland Monitoring: A Meta-Analysis of Three Decades of Research. In *Remote Sensing* (Vol. 14, Number 23). MDPI. <https://doi.org/10.3390/rs14236104>
- Kawamura, S., & Brady, C. (2022). *Resiliencia al Cambio Climático en el entorno construido - Principios de adaptación al cambio climático*.
- Keyantash, J., & Dracup, J. A. (2002). The Quantification of Drought: An Evaluation of Drought Indices. *AMERICAN METEOROLOGICAL SOCIETY*.
- Khalid, H. W., Khalil, R. M. Z., & Qureshi, M. A. (2021). Evaluating spectral indices for water bodies extraction in western Tibetan Plateau. *Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 24(3), 619–634. <https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2021.09.003>
- Koutsoyiannis, D. (2020). Revisiting the global hydrological cycle: Is it intensifying? *Hydrology and Earth System Sciences*, 24(8), 3899–3932. <https://doi.org/10.5194/hess-24-3899-2020>
- Laqui, W., Zubieta, R., Laqui-Vilca, Y., Alfaro, R., Laqui-Vilca, C., & Aragón, L. (2024). Evaluación de la respuesta hidrológica a cambios de precipitación y temperatura en el altiplano peruano. *Tecnología y Ciencias Del Agua*, 15(1), 1–53. <https://doi.org/10.24850/j-tyca-15-01-01>
- Li, L. (2023). *Escasez de agua, crisis climática y seguridad alimentaria mundial: un llamamiento a la acción colaborativa | Naciones Unidas*. <https://www.un.org/es/cr%C3%B3nica-onu/escasez-de-agua-crisis-clim%C3%A1tica-y-seguridad-alimentaria-mundial-un-llamamiento-la>

- Llosa, J., Pajares, E., & Toro, O. (2009). Cambio climático, crisis del agua y adaptación en las montañas andinas. *Red Ambiental Peruana*.
- López Rodríguez, E. (2024). *La Teledetección como herramienta de prevención y gestión de riesgos y emergencias*. <https://geoinnova.org/blog-territorio/la-teledeteccion-como-herramienta-de-prevencion-y-gestion-de-riesgos-y-emergencias/>
- López-Gómez, A. M., & Williams-Linera, G. (2006). EVALUACIÓN DE MÉTODOS NO PARAMÉTRICOS PARA LA ESTIMACIÓN DE RIQUEZA DE ESPECIES DE PLANTAS LEÑOSAS EN CAFETALES. *Ecología y Evolución*.
- Maldonado, M. S. (2018). *Dinámica espacio temporal de la flora de bofedales en Ayacucho y Huancavelica 2010 - 2012*. Universidad Nacional Agraria La Molina.
- Maldonado-Fonkén, M., Chuquillanqui, H., Vildoso, B., & Linares-Palomino, R. (2024). Plant communities of high-Andean bofedal wetlands across a trans-Andean transect in southern Peru. *Vegetation Classification and Survey*, 5, 203–218. <https://doi.org/10.3897/VCS.115726>
- Marcos Valiente, Ó. (2001). SEQUÍA: DEFINICIONES, TIPOLOGÍAS Y MÉTODOS DE CUANTIFICACIÓN. In *Investigaciones Geográficas*, n° (Vol. 26).
- Margat, J., Frenken, K., & Faurès, J.-M. (2005). *KEY WATER RESOURCES STATISTICS IN AQUASTAT*.
- Martínez de Icaya-Gómez, E., Martínez-Izquierdo, E., Hernández-Viñas, M., & Naranjo-Hernández, J. E. (2025). Reduced dimensionality space of features using spectral indices for detecting changes in multitemporal Landsat-8 images. *Ecological Informatics*, 87. <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2025.103090>
- Masafu, C., & Williams, R. (2024). Satellite Video Remote Sensing for Flood Model Validation. *Water Resources Research*, 60(1). <https://doi.org/10.1029/2023WR034545>

- McEvoy, D. J., Huntington, J. L., Hobbins, M. T., Wood, A., Morton, C., Anderson, M., & Hain, C. (2016). The evaporative demand drought index. Part II: CONUS-wide assessment against common drought indicators. *Journal of Hydrometeorology*, 17(6), 1763–1779. <https://doi.org/10.1175/JHM-D-15-0122.1>
- McFeeters, S. K. (1996). The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features. *International Journal of Remote Sensing*, 17(7), 1425–1432. <https://doi.org/10.1080/01431169608948714>
- Mckee, T. B., Doesken, N. J., & Kleist, J. (1993). THE RELATIONSHIP OF DROUGHT FREQUENCY AND DURATION TO TIME SCALES. *Eighth Conference on Applied Climatology*, 17–22.
- Ministerio del Ambiente. (2019). *Guía de evaluación del ecosistema de bofedal*.
- Morales Saravia, R. (2019). *HUMEDALES Y CAMBIO CLIMÁTICO*. www.minam.gob.pe
- Morejón Miranda, Y. M., Vega Carreño, M. B., Escarré Esteve, A., Peralta Vital, J. L., Quintero Silverio, A., & Gonzáles Piedra, J. I. (2013). *Análisis de balance hídrico en cuencas hidrográficas de la Sierra de los Órganos. XXXVI*.
- Mukherjee, K. (2020). Wetland habitat stability assessment in hydrogeomorphological (HGM) and surface water availability (SWA) conditions in a lower Gangetic floodplain region of Eastern India. *Ecological Indicators*, 119. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106842>
- Mustafa, M. T., Hassoon, K. I., Hussain, H. M., & Abd, M. H. (2017). USING WATER INDICES (NDWI, MNDWI, NDMI, WRI AND AWEI) TO DETECT PHYSICAL AND CHEMICAL PARAMETERS BY APPLY REMOTE SENSING AND GIS TECHNIQUES. *International Journal of Research - GRANTHAALAYAH*, 5(10), 117–128. <https://doi.org/10.29121/granthaalayah.v5.i10.2017.2289>

- Ñahui Martínez, E. (2021a). *Comportamiento y estrategias de conservación del recurso hídrico de bofedales en Callqui Chico, Huancavelica - 2021*. Universidad Nacional de Huancavelica.
- Ñahui Martínez, E. (2021b). *Comportamiento y Estrategias de Conservación del Recurso Hídrico de Bofedales en Callqui Chico, Huancavelica – 2021*. Universidad Nacional de Huancavelica.
- Intergovernmental Panel on Climate Change. (2021). *Cambio climático 2021 Bases físicas Resumen para responsables de políticas*.
- Oki, T., Entekhabi, D., & Ives Harrold, T. (2004). *The Global Water Cycle*.
- Olaya, V. (2014). *Sistemas de Información Geográfica*.
- Ordoñez Gálvez, J. J. (2011). *Ciclo Hidrológico*.
- Organización Meteorológica Mundial. (2012). *Índice normalizado de precipitación - Guía del usuario*.
- Oshun, J., Wunderlich, W., Keating, K., Lang, M., & Bandera, W. (2022). *Seasonal water storage in peat-forming bofedales sustains baseflow in the Andes*. <https://doi.org/10.31223/X54H16>
- Otto, M., & Gibbons, R. E. (2017). Potential Effects of Projected Decrease in Annual Rainfall on Spatial Distribution of High Andean Wetlands in Southern Peru. *Wetlands*, 37(4), 647–659. <https://doi.org/10.1007/s13157-017-0896-2>
- Pabón Caicedo, J. D., & Montealegre Bocanegra, J. E. (2017). *Los fenómenos de El Niño y de la Niña, su efecto climático e impactos socioeconómicos*. Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales.
- Paredes, F. J., & Guevara, E. (2013). A probabilistic model for the prediction of meteorological droughts in Venezuela. In *Atmósfera* (Vol. 26, Number 3).

- Paredes Gomez, J. J. (2023). *Característica fisicoquímica de las aguas superficiales del bofedal alto andino Guitarrachayocc, Distrito de Paras. Cangallo – Ayacucho. 2018 - 2019.*
- Pauca-Tanco, A., Ramos-Mamani, C., Luque-Fernández, C. R., Talavera-Delgado, C., Villasante-Benavides, J. F., Quispe-Turpo, J. P., & Villegas-Paredes, L. (2020). Spatio temporal and climatic analysis of the high andean wetland of chalhuanca (Peru) during the period 1986-2016. *Revista de Teledeteccion*, 2020(55), 105–118. <https://doi.org/10.4995/raet.2020.13325>
- Penman, H. L., Ryle, M., & Vonberg, D. D. (1948). Natural Evaporation from Open Water, Bare Soil and Grass. In *J. Franklin Inst* (Vol. 193, Number 1032).
- Pérez, C. F., Alonso Vicario, S., van Cauwenbergh, N., Garcia, M., & Werner, M. (2024). Disentangling the socio-natural dynamics of drought and water scarcity in Colombia's Tropical Andes. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 56, 102068. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2024.102068>
- Pérez-Cutillas, P., Pérez-Morales, A., & Gil-Guirado, S. (2020). Repercusiones de las condiciones ambientales altitudinales en la variabilidad de la disponibilidad hídrica en la cuenca del río Ródano en escenarios de cambio climático. *Anales de Geografía de La Universidad Complutense*, 40(1), 159–182. <https://doi.org/10.5209/AGUC.69337>
- Priestley, C. H. B. (1972). *On the Assessment of Surface Heat Flux and Evaporation Using Large-Scale Parameters.*
- Ramaswamy, V., Haigh, J., Hauglustaine, D., Haywood, J., Myhre, G., Nakajima, T., Shi, G., Solomon Betts, S. R., Charlson, R., Chuang, C., Daniel, J., Del Genio, A., van Dorland, R., Feichter, J., Fuglestvedt, J., de Forster, P. F., Ghan, S., Jones, A., Kiehl, J., ... Srinivasan, J. (2001). *Radiative Forcing of Climate Change.*
- Rascón, J., Gosgot Angeles, W., Quiñones Huatangari, L., Oliva, M., & Barrera Gurbillón, M. Á. (2021). Dry and Wet Events in Andean Populations of Northern

- Peru: A Case Study of Chachapoyas, Peru. *Frontiers in Environmental Science*, 9. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2021.614438>
- Rodríguez-Barrios, J. (2017). *ANÁLISIS DE DATOS ECOLÓGICOS Y AMBIENTALES*.
- Romero Calle, A. A., & Vera Chávez, A. V. (2023). Evaluación del agua subterránea de bofedales para la provisión de agua comunidad Micaya. *Revista Científica EMINENTE*, 7, 13–36. www.emi.edu.bo
- Ross, A. C., Mendoza, M. M., Drenkhan, F., Montoya, N., Baiker, J. R., Mackay, J. D., Hannah, D. M., & Buytaert, W. (2023). Seasonal water storage and release dynamics of bofedal wetlands in the Central Andes. *Hydrological Processes*, 37(8). <https://doi.org/10.1002/hyp.14940>
- Ruiz-Ochoa, M. A., Torres-Corredor, J. S., Vargas-Corredor, Y. A., & Orduz-Amaya, L. P. (2023). Variabilidad climática (precipitación, temperatura y humedad relativa) para la gestión hídrica del departamento del Casanare, Colombia. *Información Tecnológica*, 34(5), 47–60. <https://doi.org/10.4067/s0718-07642023000500047>
- Sanit, G. (1999). *Utilización de métodos no paramétricos para el control de variables de confusión no observadas en estudios ecológicos de series temporales*.
- Santa Cruz, J. F., Burneo, M. L., & Quiñones, P. (2022). *Cambio Climático y los impactos diferenciados que tiene en las mujeres en dos microcuencas de la región Junín*.
- Secretaría de la Plataforma Internacional de Recuperación. (2015). *Cambio Climático*.
- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología. (2009). *Escenarios Climáticos en el Perú para el año 2030*.
- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología. (2016). *Análisis del Riesgo de Sequías en el sur del Perú*.

- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú. (2020). *Guía Técnica para Aplicativo Web Tendencias Históricas - TENDHIS*.
- Sherwood, S. ;, Webb, M. J. ;, Annan, J. D. ;, Armour, K. ;, Forster, P. M. ;, Hargreaves, J. C. ;, Hegerl, G. ;, Klein, S. A. ;, Marvel, K. D. ;, Rohling, E. J. ;, Watanabe, M. ;, Andrews, T. ;, Braconnot, P. ;, Bretherton, C. S. ;, Foster, G. L. ;, Hausfather, Z. ;, Von Der Heydt, A. S. ;, Knutti, R. ;, Mauritsen, T. ;, ... Zelinka, M. D. (2020). *An assessment of Earth's climate sensitivity using multiple lines of evidence*. <https://doi.org/10.3929/ethz-b-000439837>
- Shi, S., Chang, Y., Li, Y., Hu, Y., Liu, M., Ma, J., Xiong, Z., Wen, D., Li, B., & Zhang, T. (2021). Using time series optical and SAR data to assess the impact of historical wetland change on current wetland in Zhenlai county, Jilin province, China. *Remote Sensing*, 13(22). <https://doi.org/10.3390/rs13224514>
- Silva-Hidalgo, H., Aldama, Á. A., Consultor, •, Martín-Domínguez, I. R., María, •, & Alarcón-Herrera, T. (2013). *Metodología para la determinación de disponibilidad y déficit de agua superficial en cuencas hidrológicas: aplicación al caso de la normativa mexicana: IV* (Number 1).
- Snyder, R. L., & de Melo-Abreu, J. P. (2005). Frost protection: fundamentals, practice, and economics. *Food and Agricultura Organization of the United Nations*, 1. <http://www.fao.org>
- Sulca, L. G. B., & Joaquin, H. J. T. (2023). Influence of Climate Variability on the Spatio-temporal Dynamics of the High Andean Wetlands of the Chichlarazo Microbasin. Period 1988-2022. *Proceedings of the LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education and Technology, 2023-July*. <https://doi.org/10.18687/laccei2023.1.1.618>
- Talaverano, N. S. Z., Lora, J. W. G., Escriba, B. P. G., Arboleda, Y. Y. N., Ramos, V. H. G., Zorogastúa, K. del C. C., & León, R. G. (2024). Variación temporal de bofedales andinos utilizando tecnología de información geográfica en el distrito

de Uranmarca, Apurímac - Perú. *Brazilian Journal of Animal and Environmental Research*, 7(3), e71557. <https://doi.org/10.34188/bjaerv7n3-031>

Taylor, F. W. (2005). *Elementary Climate Physics*.

Te Chow, V., Maidment, D., & Mays, L. (1988). *Hidrología Aplicada*.

Turne, B. L., Lambin, E. F., & Reenberg, A. (2007). *The emergence of land change science for global environmental change and sustainability*. www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.0704119104

United Nations World Water Development. (2020). *WATER AND CLIMATE CHANGE*. www.unwater.org.

Van Loon, A. F. (2015). Hydrological drought explained. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Water*, 2(4), 359–392. <https://doi.org/10.1002/WAT2.1085>

Vásquez Ramírez, A. A., Guanuchi Orellana, L. M., Cahuana Tapia, R., Vera Teves, R., & Holgado Tisoc, J. (2023). Métodos de investigación científica. In *Métodos de investigación científica*. Instituto Universitario de Innovación Ciencia y Tecnología Inudi Perú. <https://doi.org/10.35622/inudi.b.094>

Velasco, I., Ochoa, L., & Gutiérrez, C. (2005). Sequía, un problema de perspectiva y gestión. *Región y Sociedad*, XVII.

Velásquez-Franco, P. A., Franco-Gaviria, J. F., & Pérez-González, M. E. (2024). Spatiotemporal dynamics of surface water in tropical wetlands systems using Sentinel-1 radar data. *Biota Colombiana*, 25. <https://doi.org/10.21068/2539200X.1235>

Vera, C., & Camilloni, I. (2015). *EL CICLO DEL AGUA*.

Villalobos, R. (2008). Cambio climático y recursos hídricos. *Revista de Ciencias Ambientales*, 35(1), 20. <https://doi.org/10.15359/rca.35-1.5>

- Villar Acevedo, F. J. (2023). *Desarrollo de un sistema de monitoreo para la evaluación de bofedales por medio de la observación terrestre*. Universidad de Ingeniería y Tecnología.
- Wheeler, C., Callister, F., Gosling, L., Nath, P., Keegan, A., Farr, J., Newton-Lewis, V., Kempster, S., Steele, R., Summeerton, L., & James, S. (2018). *El déficit hídrico - Estado mundial del agua 2018*.
- Wickel, B., Fernandez, J., Escobar, M., & Cecilia Escalera, A. (2021). *Monitoreo hidro-ecológico y modelación de bofedales de altura en la cuenca Katari*.
- Wild, M., Folini, D., Schär, C., Loeb, N., Dutton, E. G., & König-Langlo, G. (2013). The global energy balance from a surface perspective. *Climate Dynamics*, 40(11–12), 3107–3134. <https://doi.org/10.1007/s00382-012-1569-8>
- Wilhite, D. A., & Glantz, M. H. (1985). Understanding the Drought Phenomenon: The Role of Definitions. *Water International*, 10, N° 03, 111–120.
- Wunderlich, W., Lang, M., Keating, K., Perez, W. B., & Oshun, J. (2023). The role of peat-forming bofedales in sustaining baseflow in the humid puna. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 47. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2023.101394>
- Yager, K., Valdivia, C., Slayback, D., Jimenez, E., Meneses, R. I., Palabral, A., Bracho, M., Romero, D., Hubbard, A., Pacheco, P., Calle, A., Alberto, H., Yana, O., Ulloa, D., Zeballos, G., & Romero, A. (2019). Socio-ecological dimensions of Andean pastoral landscape change: bridging traditional ecological knowledge and satellite image analysis in Sajama National Park, Bolivia. *Regional Environmental Change*, 19(5), 1353–1369. <https://doi.org/10.1007/s10113-019-01466-y>
- Yıldız, M. B., Di Nunno, F., Đurin, B., Pham, Q. B., de Marinis, G., & Granata, F. (2024). A Combined Seasonal Mann–Kendall and Innovative Approach for the Trend Analysis of Streamflow Rate in Two Croatian Rivers. *Water (Switzerland)*, 16(10). <https://doi.org/10.3390/w16101422>

Yue, S., & Pilon, P. (2004). A comparison of the power of the t test, Mann-Kendall and bootstrap tests for trend detection. In *Hydrological Sciences-Journal-des Sciences Hydrologiques* (Number 1).

Zhou, K., Wang, Y., & Chang, J. (2024). Attribution mechanism of drought propagation time with changes in climate and underlying surface. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 56. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2024.102041>

ANEXOS

40 ANEXO 1

(Matriz de consistencia)

Matriz de Consistencia

"Análisis de la disponibilidad de agua superficial de los bofedales de la cuenca del río Ichu y su relación con el riesgo de sequías en la ciudad de Huancavelica, para el año 2025."

PROBLEMA	OBJETIVO	HIPOTESIS	VARIABLE	MÉTODO
<p>Problema general</p> <p>¿Cómo influye la disponibilidad de agua superficial de los bofedales de la cuenca del río Ichu en el riesgo de sequías que enfrenta la ciudad de Huancavelica, considerando las variaciones estacionales proyectado en el año 2025?</p>	<p>Objetivo general</p> <p>Analizar la disponibilidad de agua superficial de los bofedales de la cuenca del río Ichu y su influencia en el riesgo de sequías para la ciudad de Huancavelica, considerando las variaciones estacionales proyectado en el año 2025.</p>	<p>Hipótesis general</p> <p>La disponibilidad de agua superficial de los bofedales de la cuenca del río Ichu influye significativamente en el riesgo de sequías en la ciudad de Huancavelica, considerando las variaciones estacionales proyectadas para el año 2025.</p>	<p>Variable dependiente</p> <p>Riesgo de sequias en la ciudad de Huancavelica.</p> <p style="text-align: center;">- Dimensiones</p> <p>SPI</p> <p>Frecuencia de sequía.</p> <p>Duración de la sequía.</p>	<p>Tipo: Aplicada.</p> <p>Nivel: Correlacional.</p> <p>Método: Cuantitativo, correlacional.</p> <p>Diseño: no experimental, de tipo correlacional y longitudinal.</p> <p>M → D(A, SPI)</p>
<p>Problemas específicos</p>	<p>Objetivos específicos</p>	<p>Hipótesis específicas</p> <p>El estado de conservación de los bofedales en la cuenca del río</p>	<p>Impacto en los ecosistemas</p>	<p>M: Muestra de bofedales en la cuenca del río Ichu.</p>

<p>10 ¿Cuál es el estado actual de conservación de los bofedales en la cuenca del río Ichu y cómo se manifiesta su disponibilidad de agua superficial durante el año?</p>	<p>Evaluar la conservación actual de los bofedales en la cuenca del río Ichu y determinar su disponibilidad de agua superficial durante el periodo 2025.</p>	<p>Ichu influye en su disponibilidad de agua superficial a lo largo del año 2025.</p>	<p>Variable independiente</p>	<p>D(A,SPI): Disponibilidad de agua superficial y su relación con el índice SPI.</p>
<p>¿Existe una correlación significativa entre la disponibilidad de agua superficial de los bofedales y el Índice de Sequía Estandarizado (SPI) para la ciudad de Huancavelica?</p>	<p>Determinar la magnitud de la correlación entre la disponibilidad de agua superficial de los bofedales y el Índice de Sequía Estandarizado para la ciudad de Huancavelica.</p>	<p>Existe una correlación significativa entre la disponibilidad de agua superficial de los bofedales y el Índice de Sequía Estandarizado (SPI) en la ciudad de Huancavelica.</p>	<p>Disponibilidad de agua superficial en los bofedales de la cuenca del río Ichu.</p> <p>- Dimensiones</p> <p>Extensión y conservación de los bofedales.</p>	<p>A: Disponibilidad de agua superficial.</p> <p>SPI: Índice de Precipitación Estandarizado (riesgo de sequía)</p>
<p>¿Cuáles son las proyecciones de disponibilidad de agua de los bofedales y el del riesgo de sequías en la ciudad de Huancavelica para los próximos 5 años?</p>	<p>Estimar proyecciones y proponer escenarios futuros de disponibilidad de agua superficial de los bofedales y el riesgo de sequías en la ciudad de Huancavelica para los próximos 5 años.</p>	<p>Las proyecciones de disponibilidad de agua superficial de los bofedales permiten estimar el riesgo de sequías en la ciudad de Huancavelica para los próximos 5 años.</p>	<p>Cantidad de agua almacenada.</p> <p>Variabilidad estacional.</p> <p>Tendencias históricas.</p>	<p>Población: Bofedales de la cuenca del río Ichu</p> <p>Muestra: Conjunto representativo de bofedales.</p> <p>Muestreo: No probabilístico por criterio.</p>

ANEXO 2

(Panel fotográfico)

Figura 24

Mapa de ubicación y accesibilidad a los puntos de monitoreo

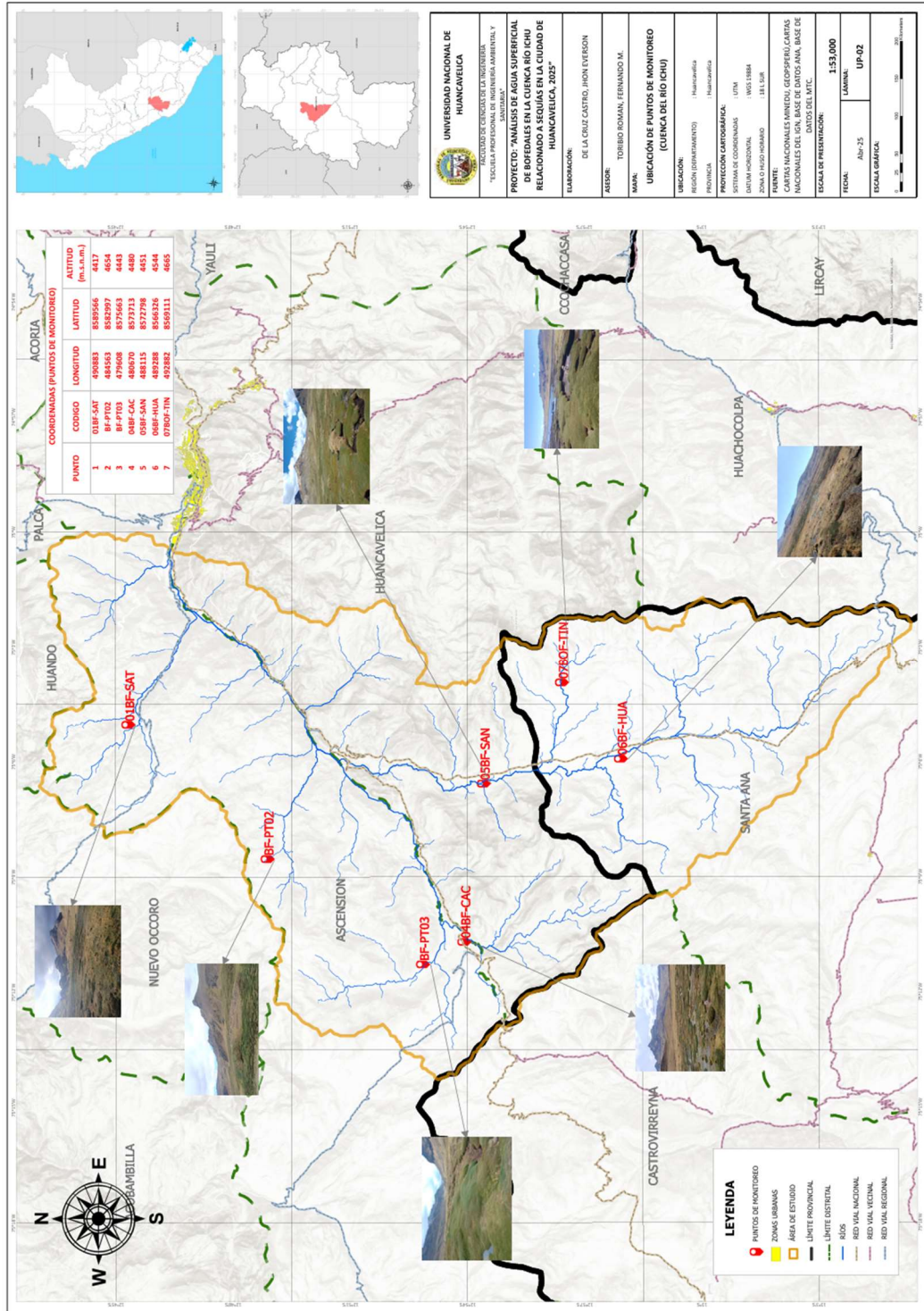


Figura 25

Cálculo de NDWI, NDVI y NDMI realizado el 14/05/2025 (Subcuenca media preurbana del río Ichu)

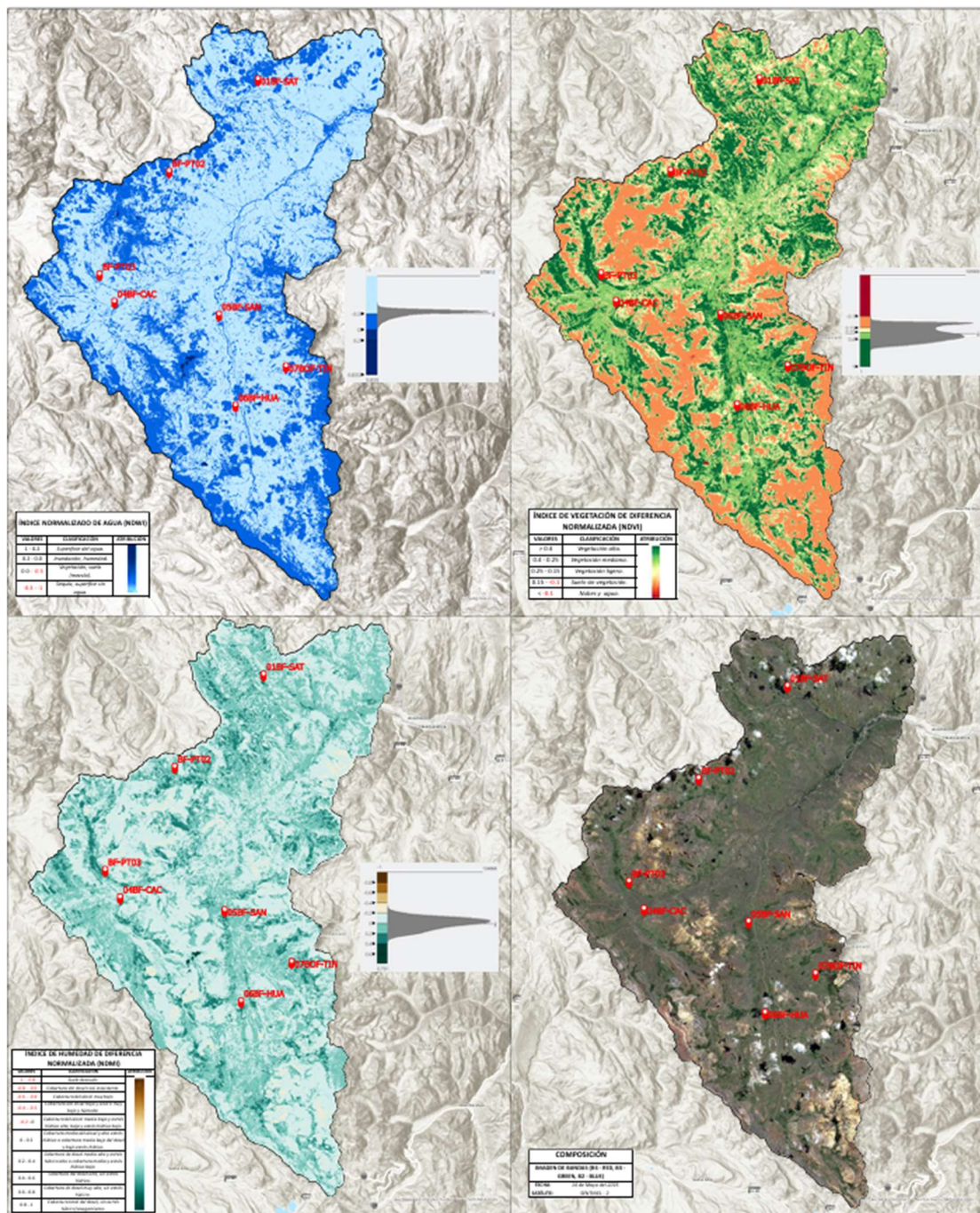


Figura 26

Cálculo de NDWI, NDVI y NDMI realizado el 29/05/2025 (Subcuenca media preurbana del río Ichu)

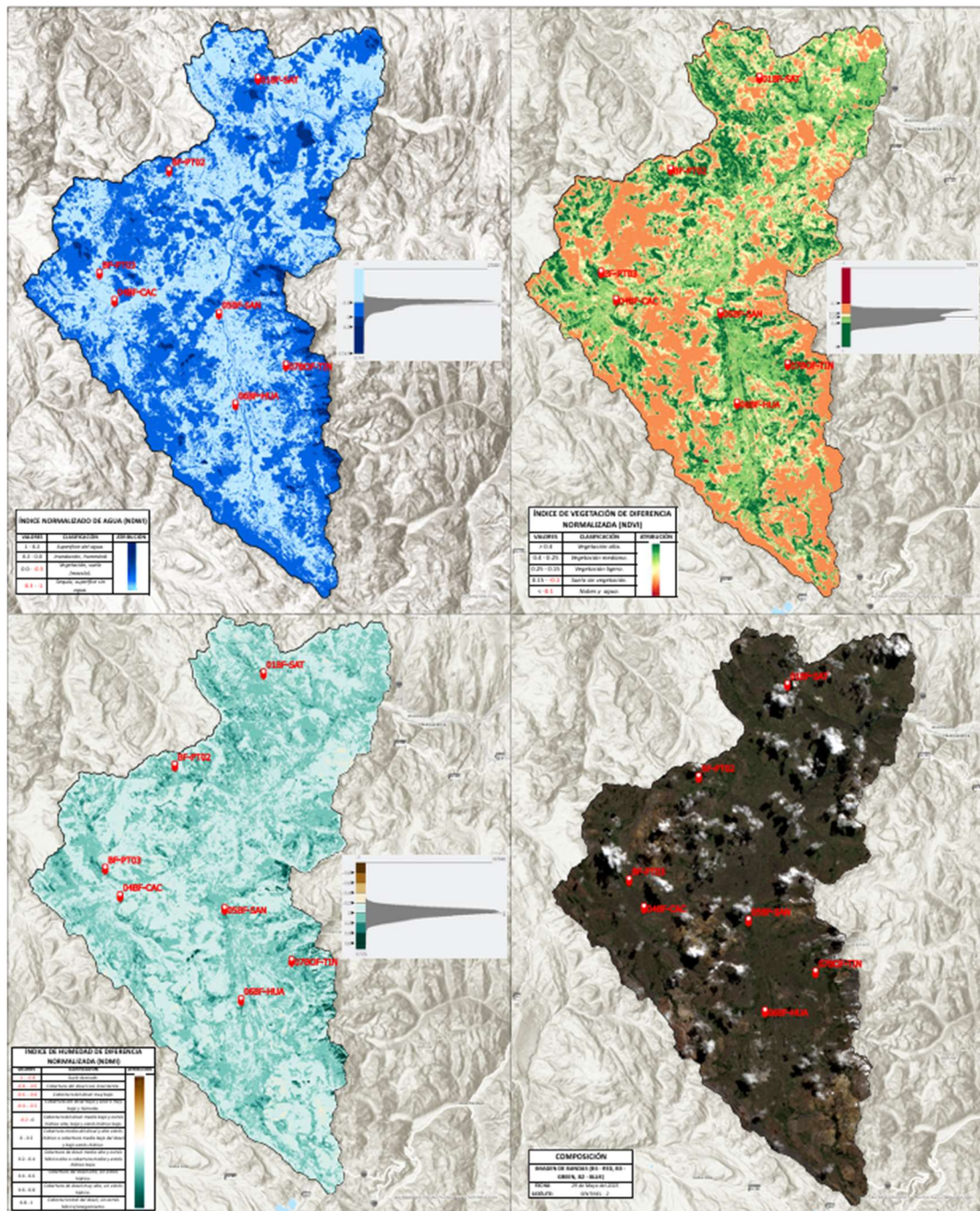


Figura 27

Cálculo de NDWI, NDVI y NDMI realizado el 13/06/2025 (Subcuenca media preurbana del río Ichu)

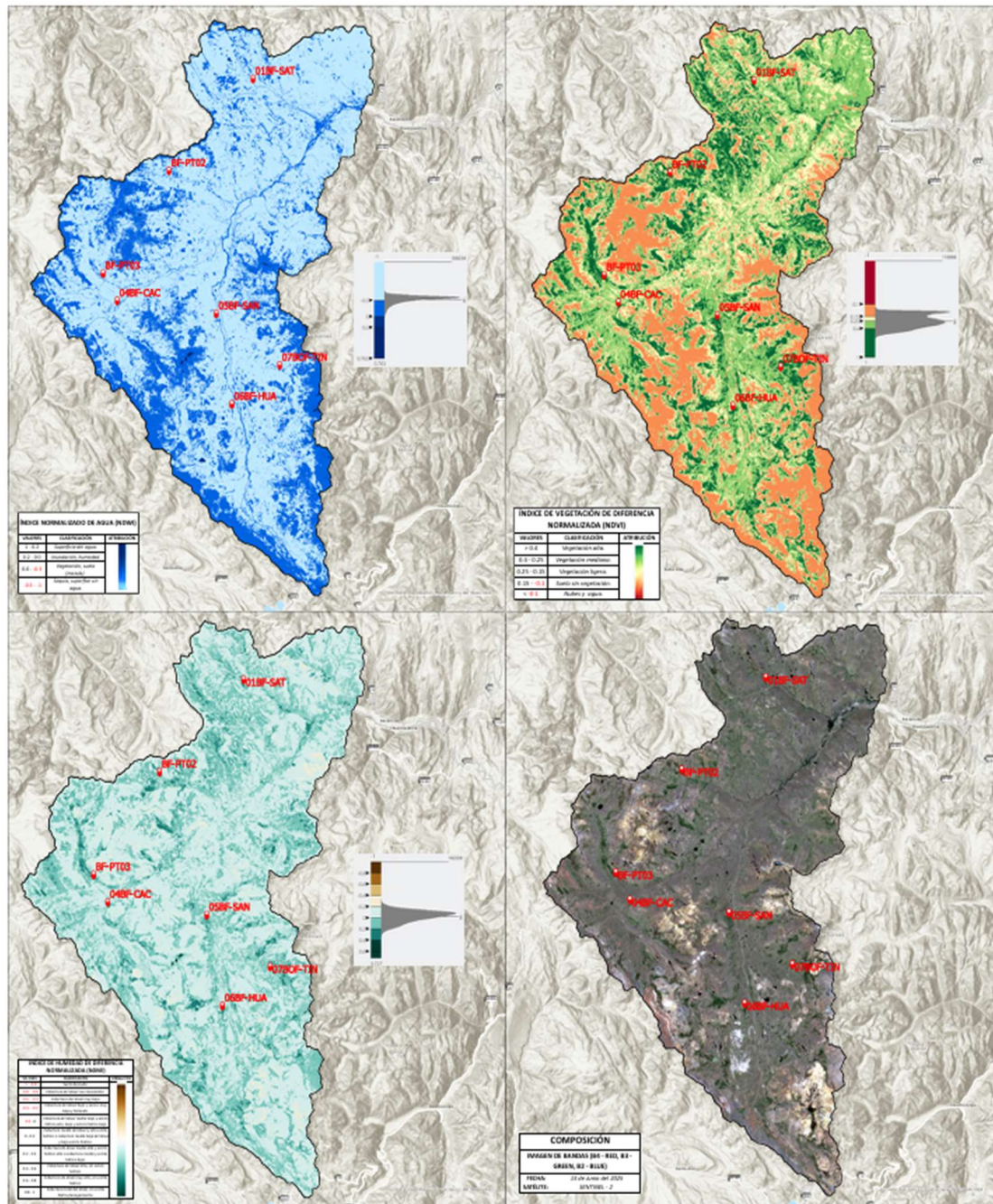


Figura 28

Cálculo de NDWI, NDVI y NDMI realizado el 23/06/2025 (Subcuenca media preurbana del río Ichu)

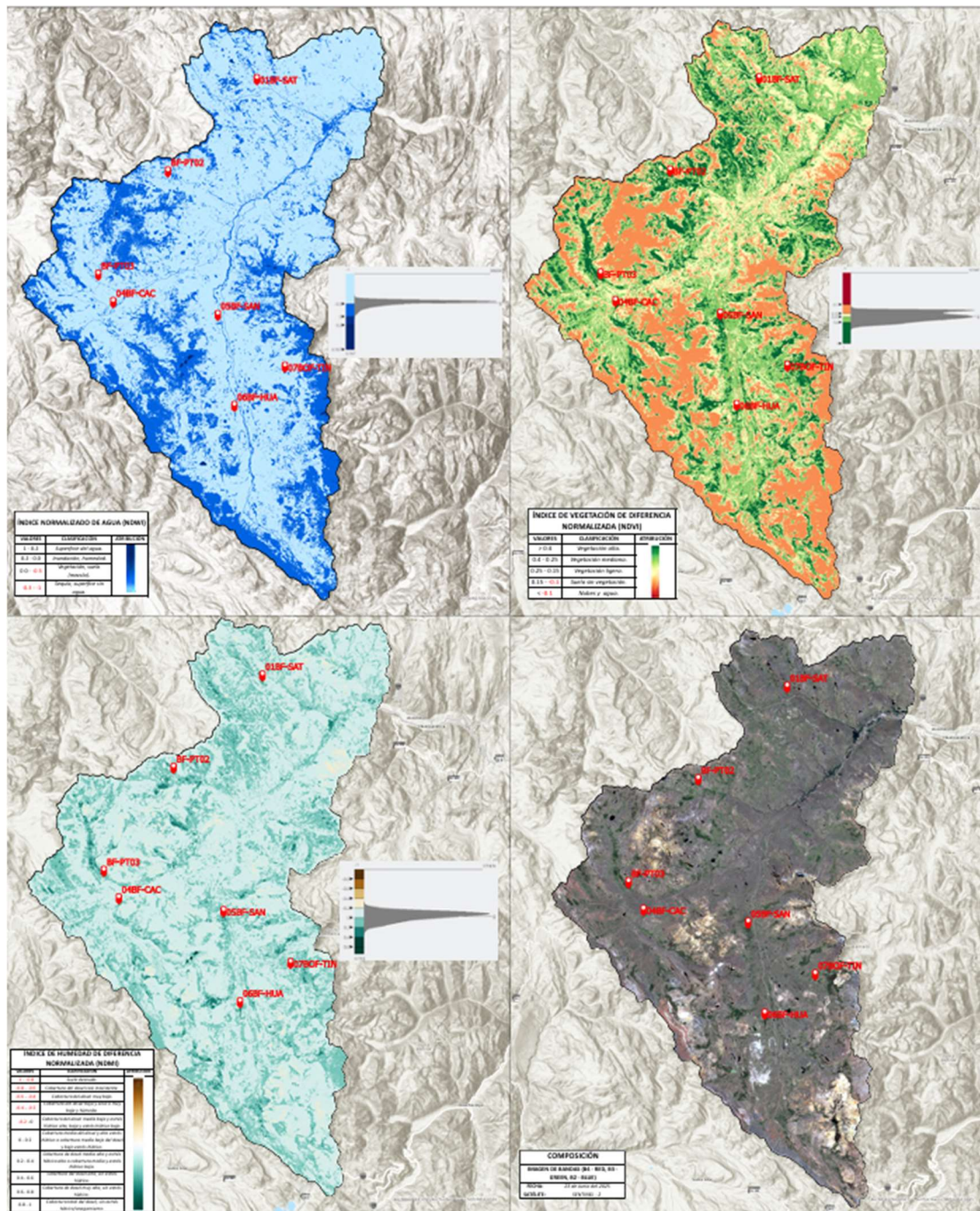


Figura 29

Cálculo de NDWI, NDVI y NDMI realizado el 10/07/2025 (Subcuenca media preurbana del río Ichu)

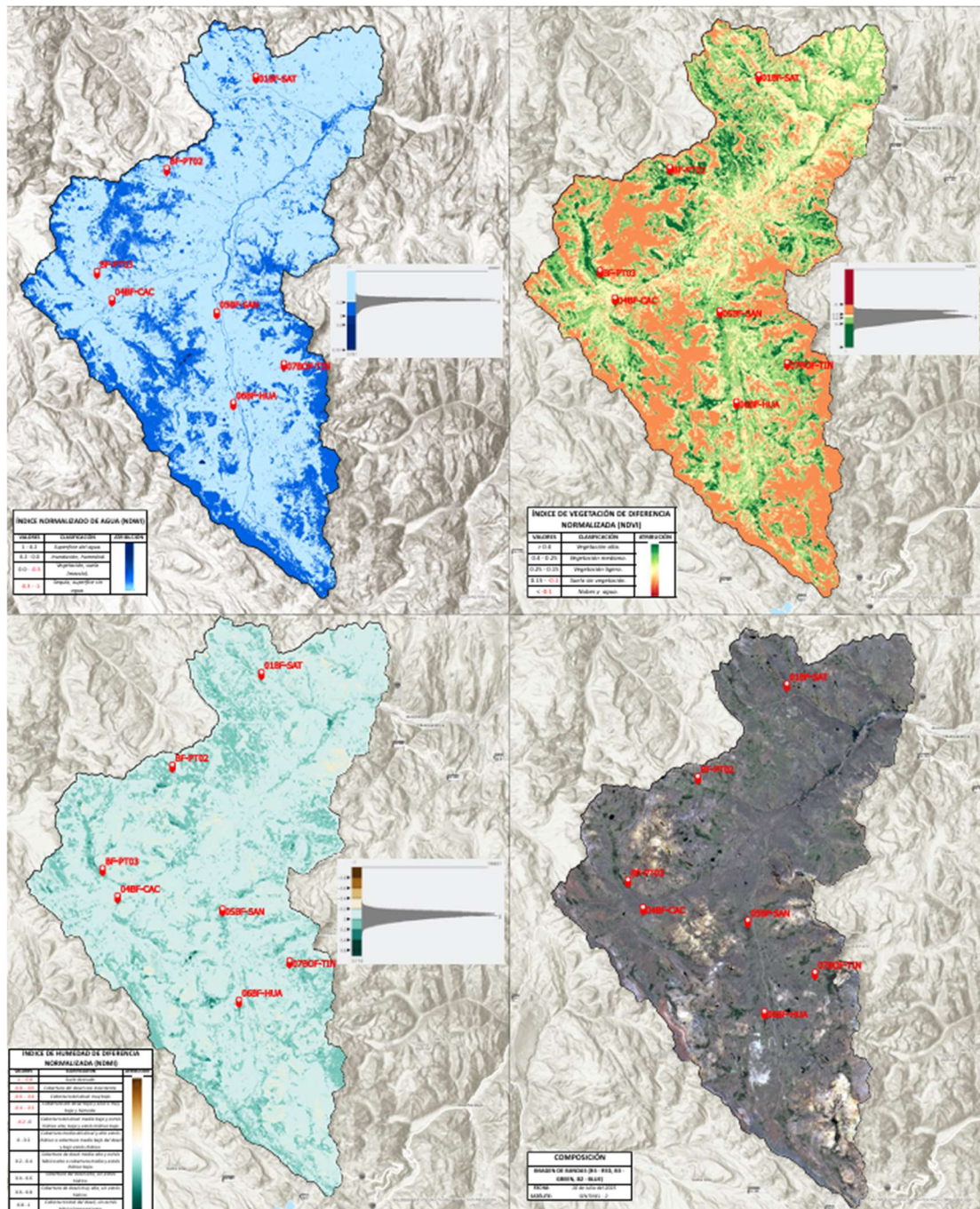


Figura 30

Cálculo de NDWI, NDVI y NDMI realizado el 23/07/2025 (Subcuenca media preurbana del río Ichu)

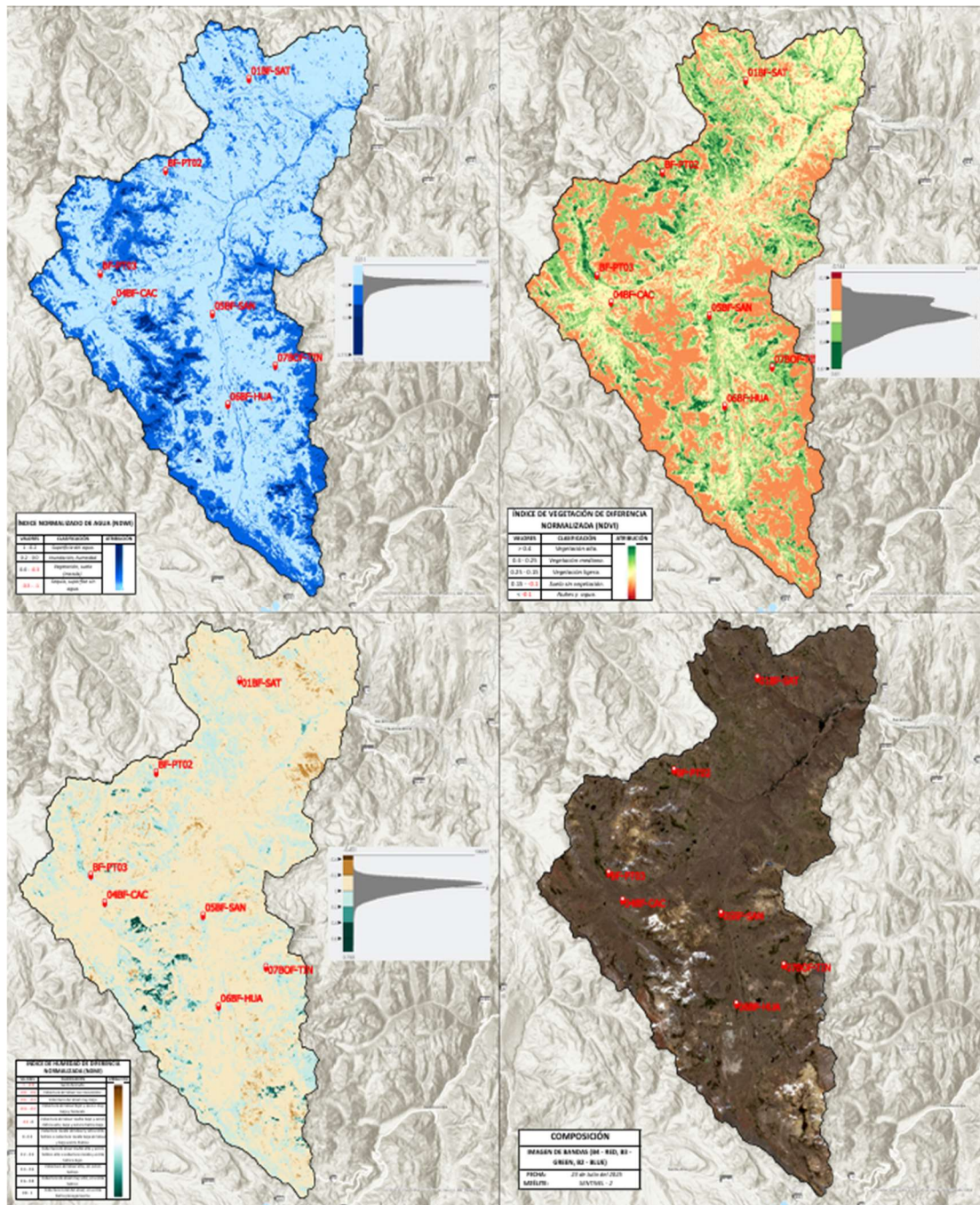


Figura 31

Cálculo de NDWI, NDVI y NDMI realizado el 07/08/2025(Subcuenca media preurbana del río Ichu)

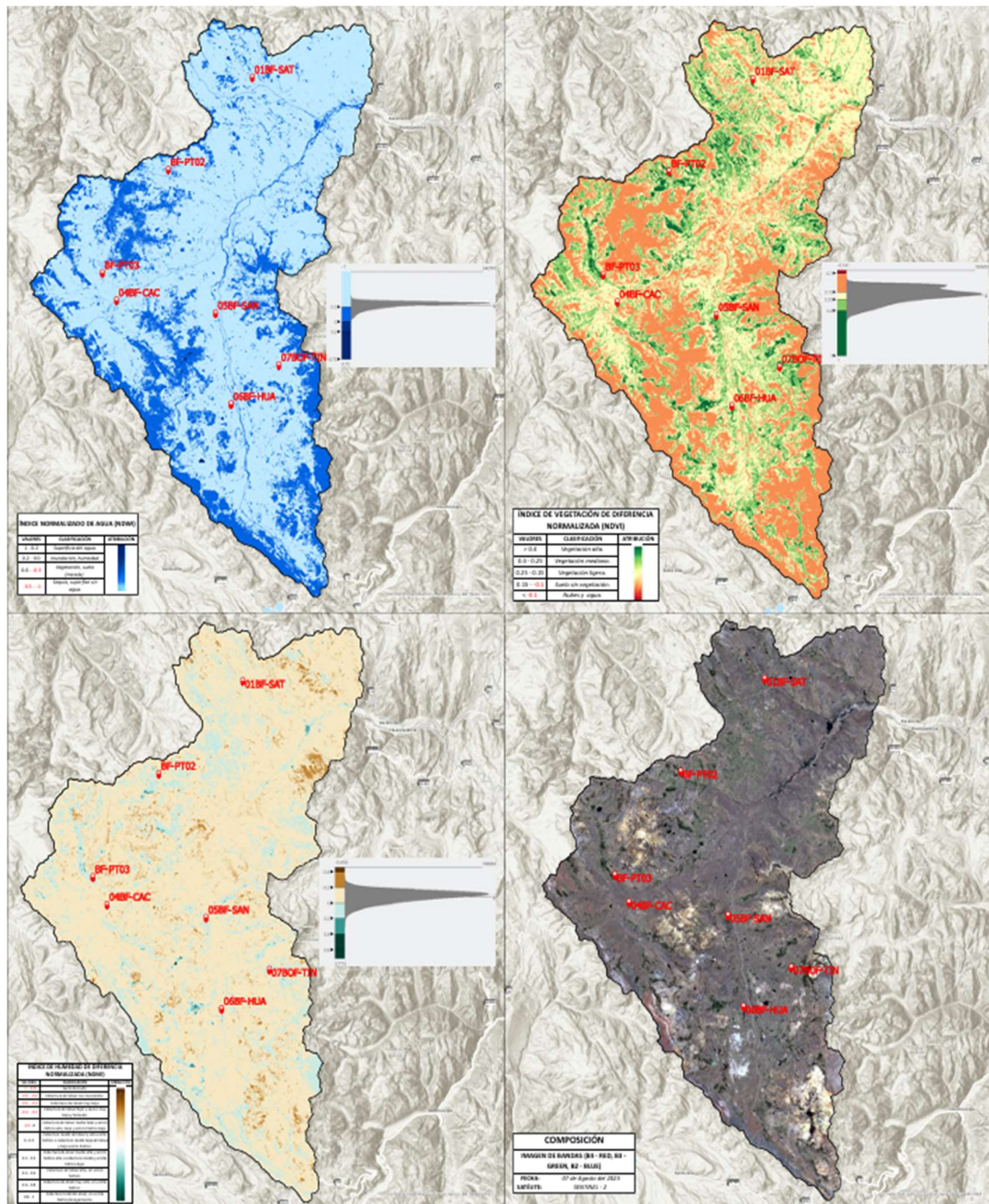


Figura 32

Cálculo de NDWI, NDVI y NDMI realizado el 19/08/2025 (Subcuenca media preurbana del río Ichu)

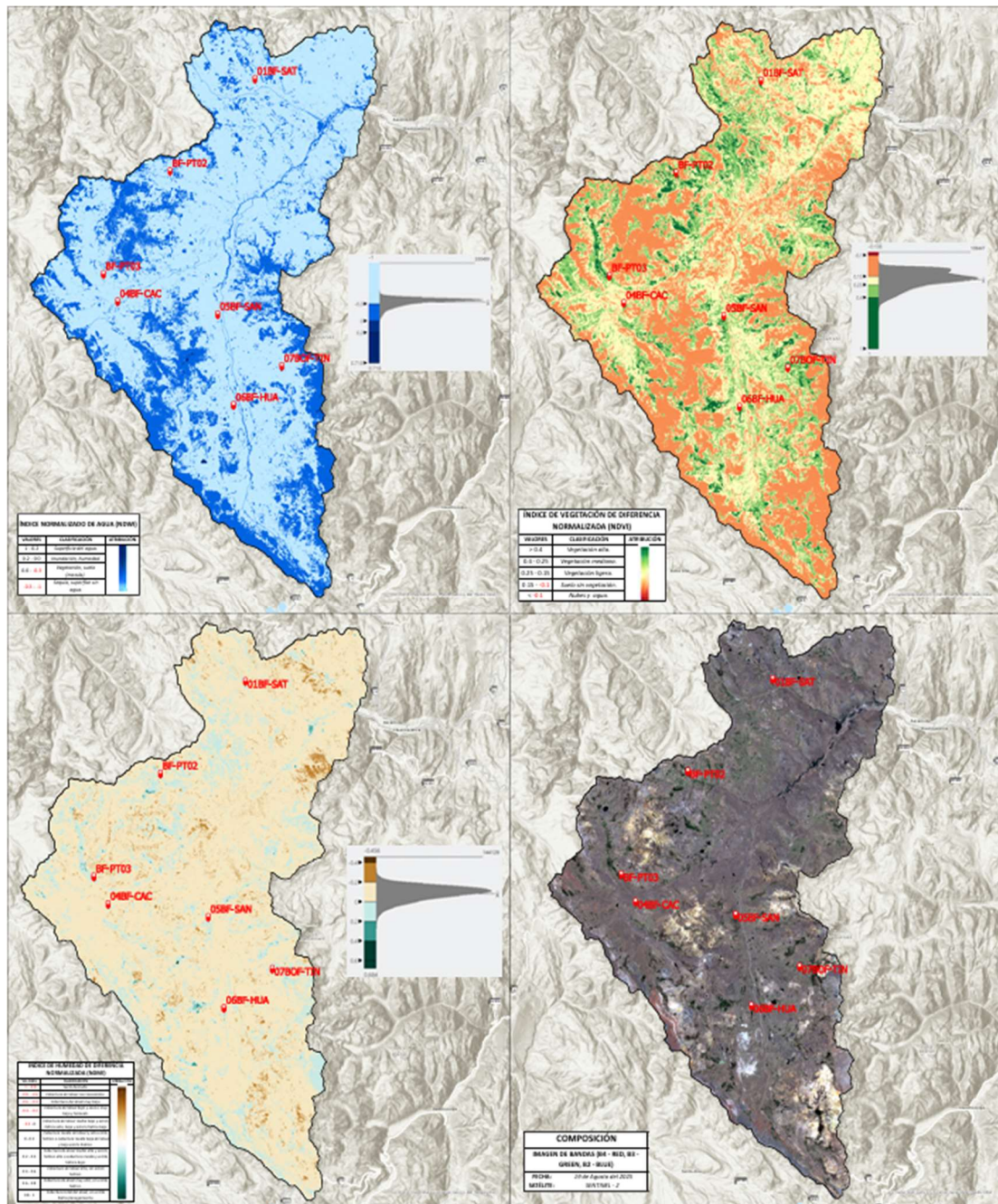


Figura 33

Cálculo de NDWI, NDVI y NDMI realizado el 08/09/2025 (Subcuenca media preurbana del río Ichu)

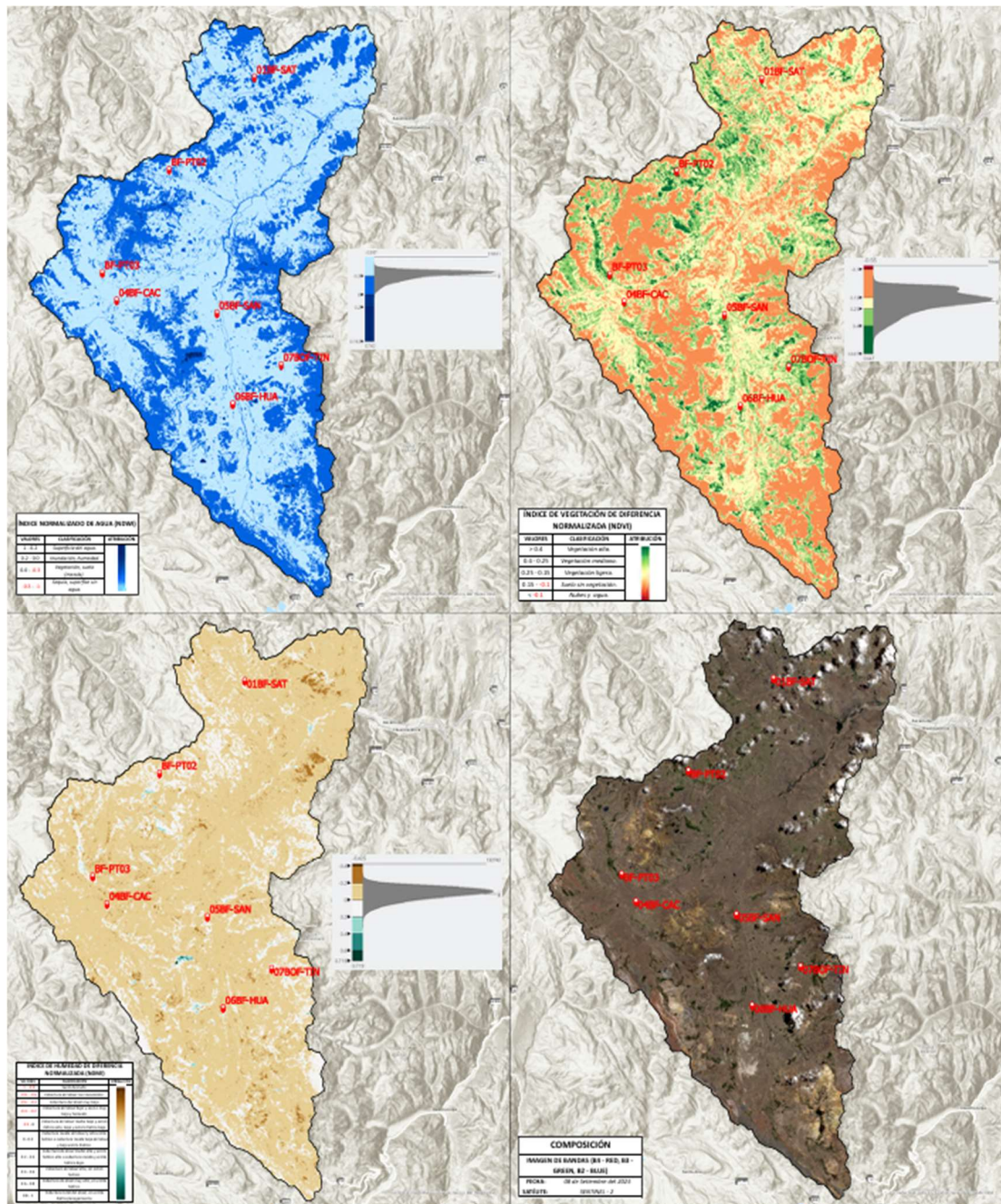


Figura 34

Cálculo de NDWI, NDVI y NDMI realizado el 21/09/2025 (Subcuenca media preurbana del río Ichu)

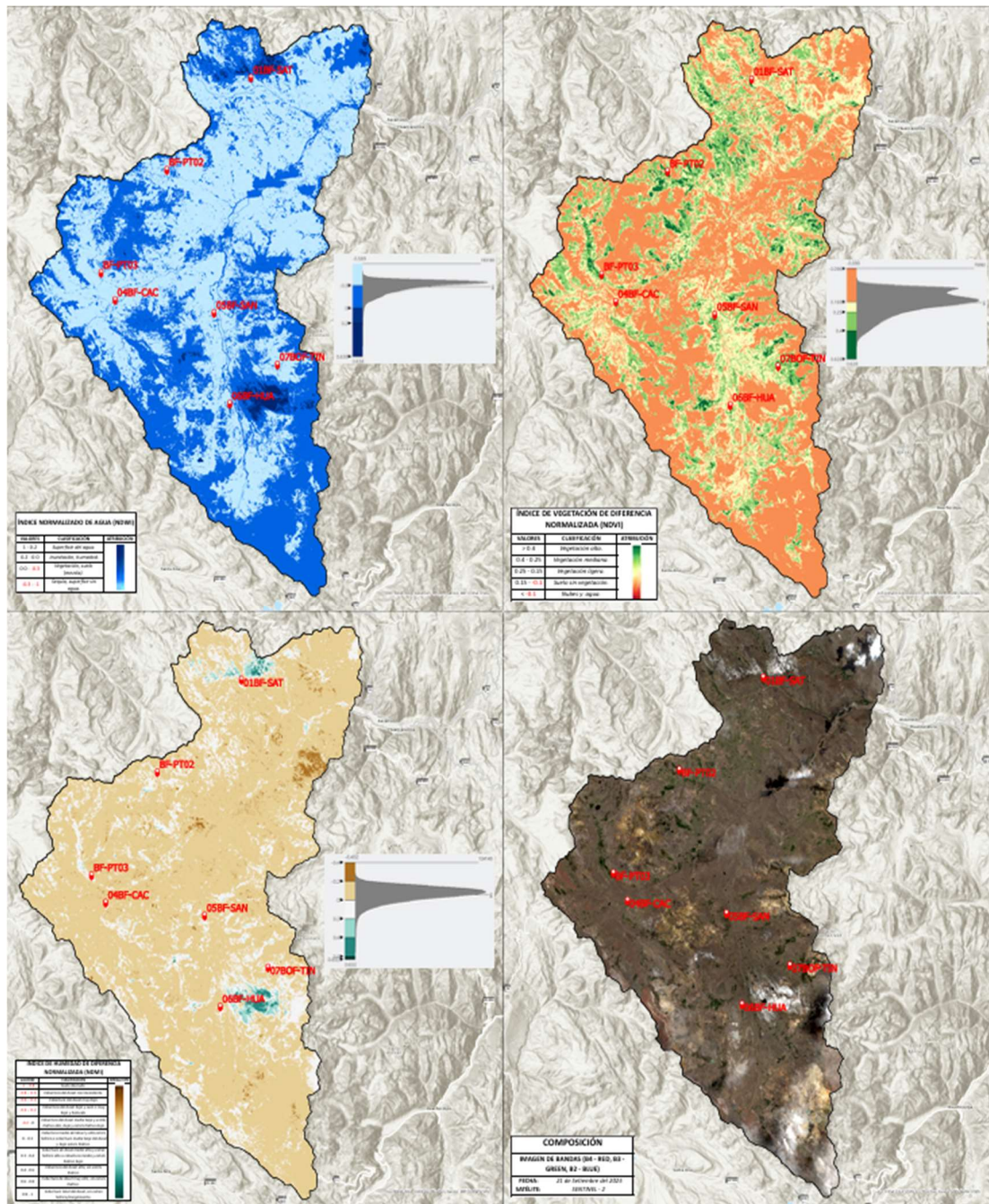


Figura 35

Cálculo de NDWI, NDVI y NDMI realizado el 31/10/2025 (Subcuenca media preurbana del río Ichu)

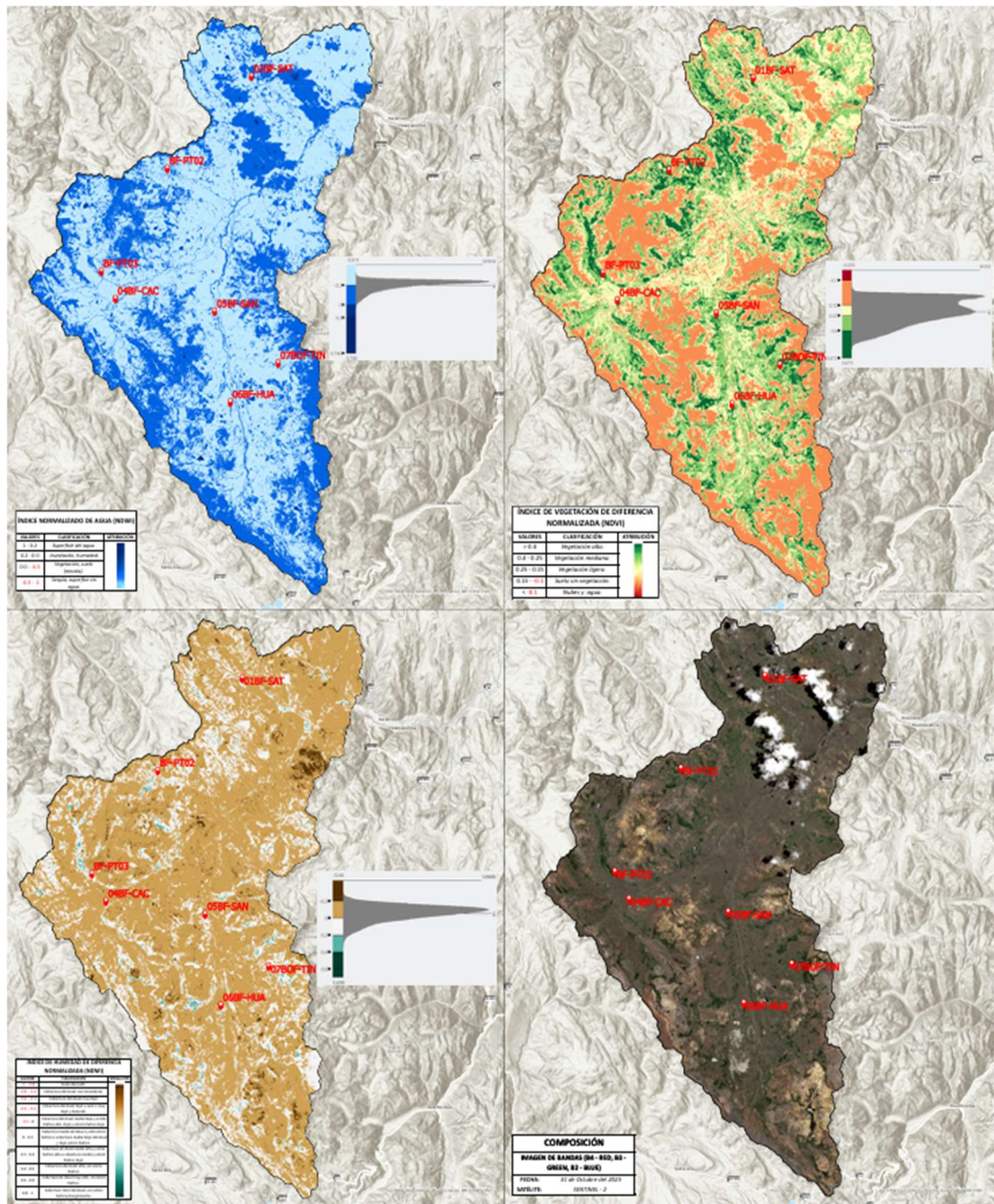


Figura 36

Cálculo de NDWI, NDVI y NDMI realizado el 20/11/2025 (Subcuenca media preurbana del río Ichu)

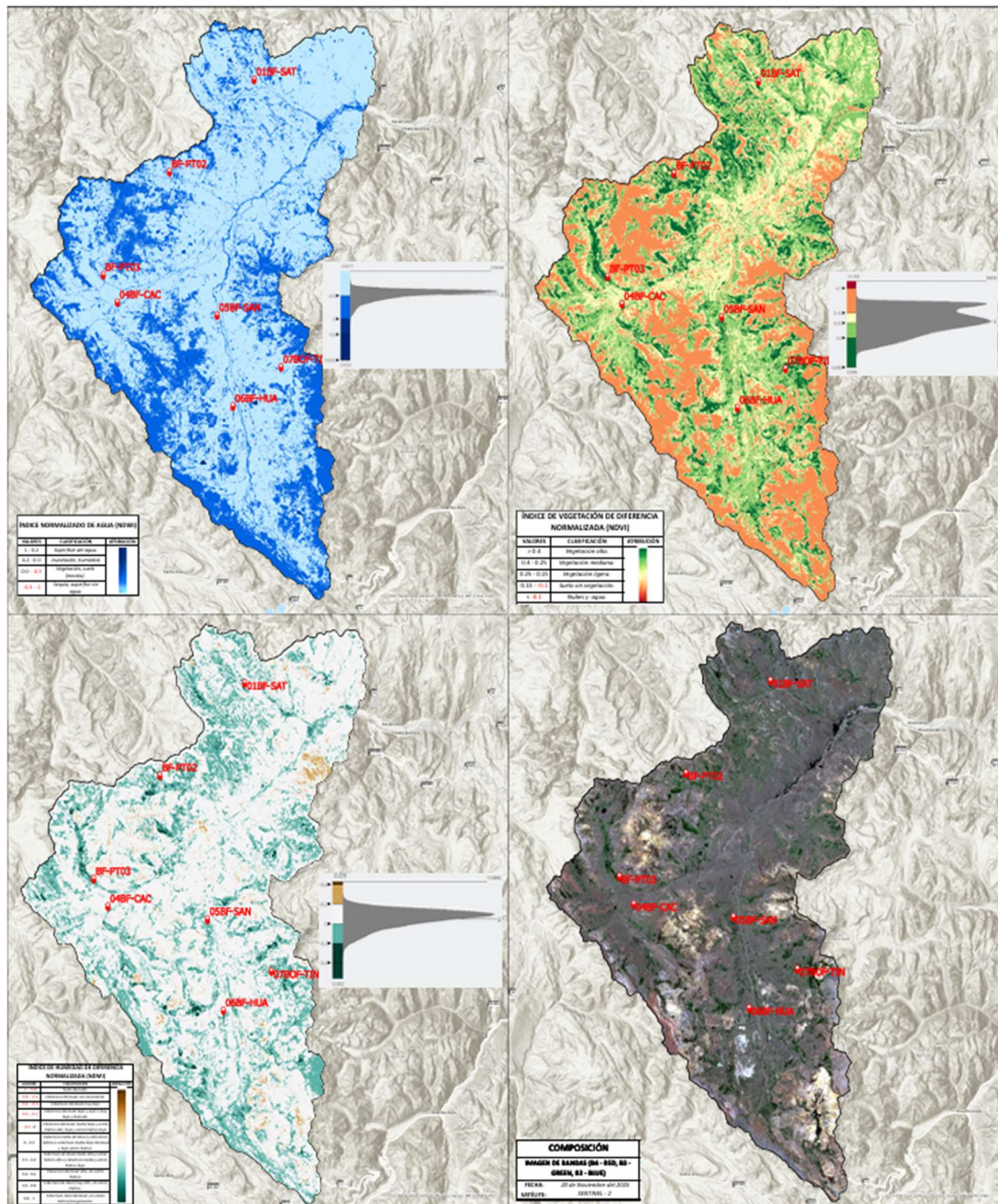


Figura 37

Cálculo de NDWI, NDVI y NDMI realizado el 05/12/2025 (Subcuenca media preurbana del río Ichu)

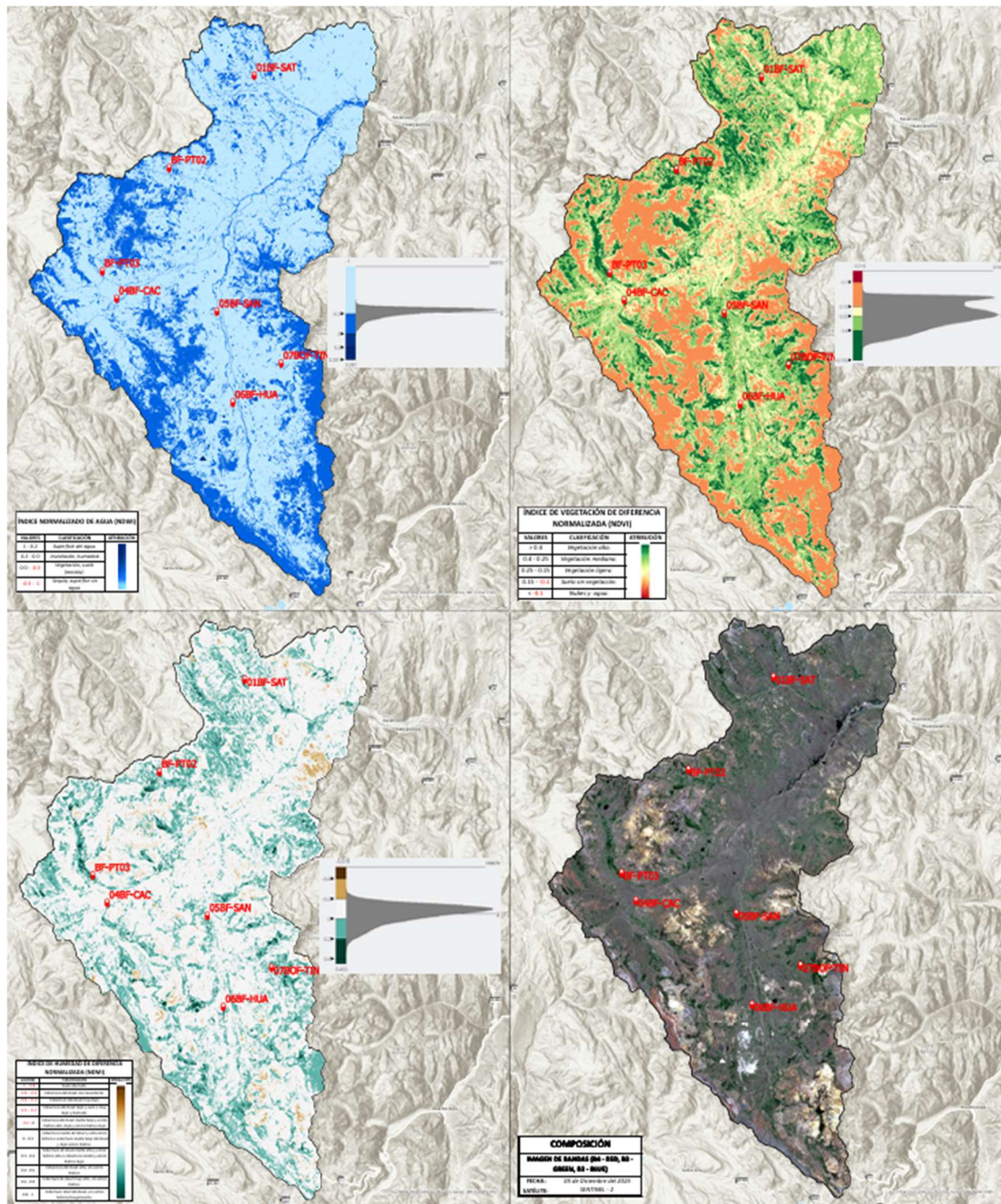


Figura 38

Cálculo de NDWI, NDVI y NDMI realizado el 20/12/2025 (Subcuenca media preurbana del río Ichu)

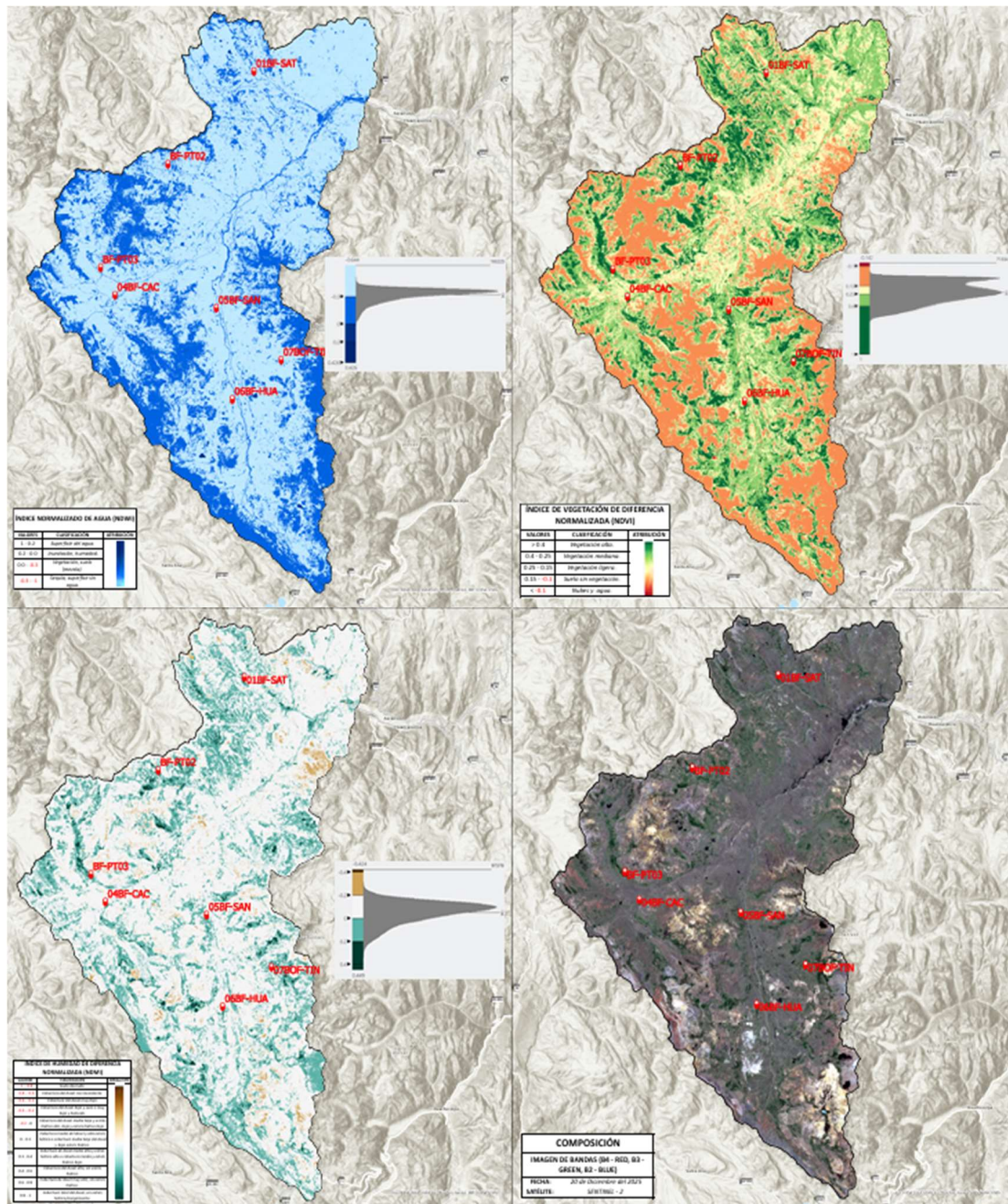


Figura 39

Medición de caudal (Subcuenca media preurbana del río Ichu)



Figura 40

Cálculo matemático de caudal

MEDICIÓN DE CAUDAL - "MÉTODO ÁREA - VELOCIDAD"			
DATOS:			
LUGAR GEOGRÁFICO:			
SECCIÓN:			
FLOTADOR (CARACTERÍSTICAS):			
PESO:		MATERIAL:	POLIPROPILENO (PP)
DIMENSIONES (CANAL):			
LARGO:	90 cm.	MATERIAL:	PVC
DIÁMETRO INTERIOR:	10.16 cm.	CARACTERÍSTICAS:	Tubo cortado a la mitad, conforma dos secciones semicirculares.

MATERIAL	DIMENSIONES	CARACTERÍSTICAS
Flotador de polipropileno (PP).	Peso: 2 g. Figura: esfera.	Utilizado para el cálculo de velocidad superficial en la sección.
Canal (sección cortada de tubo de 4" de PVC).	Largo: 90 cm. Diámetro interior: 10.16 cm. Altura: 7 cm.	Utilizado como canal por donde fluirá el flotador.
Cronómetro digital.	Unidad de medida: segundos.	Utilizado para controlar el tiempo de recorrido del flotador.

FÓRMULAS:	
VELOCIDAD SUPERFICIAL:	
$V_s = L/t$	L: distancia medida del flujo en "m". t: tiempo de recorrido por el flotador. Vs: en unidades de "m/s"
VELOCIDAD MEDIA DEL CORTE (FACTOR DE CORRECCIÓN):	
$V_m = K \cdot V_s$	K: coeficiente de corrección (adimensional) que toma valores desde 0.6 - 0.9, frecuentemente (0.8 - 0.85) para canales limpios y sin fuerte rozamiento; si hay mucha vegetación o flujo muy somero (0.5 - 0.7). Fuente: ISO 748 GUÍAS DNFRUCUSGSS.
ÁREA DE SECCIÓN (SEMICÍRCULO APROXIMADO, TUBO CORTADO):	
DIÁMETRO:	RADIO:
ÁREA DEL CÍRCULO:	$A = \pi r^2$
ÁREA DEL SEMICÍRCULO:	$A = 1/2 \cdot \pi r^2$
ÁREA DEL SEGMENTO CÍRCULAR (SECCIÓN PARCIALMENTE LLENA):	
CONSIDERANDO "r":	
ÁREA DEL SEGMENTO CÍRCULAR OCUPADO POR EL AGUA (ÁREA HÚMEDA):	$A = \frac{r^2}{2} (\theta - \sin \theta)$
θ: ángulo en radianes, se obtiene mediante la fórmula:	
$\theta = 2 \sin^{-1} \left(\frac{r-h}{r} \right)$	

Diámetro interior: 10.16
Altura: 7 cm.

SI EN CASO EL FLUJO DE AGUA ALCANZA EL ÁREA.

SI EN CASO EL FLUJO NO ALCANZA LA SECCIÓN.

Figura 41

Obtención de datos de precipitación (1990 – 2025) en RStudio para la (Subcuenca media preurbana del río Ichu)

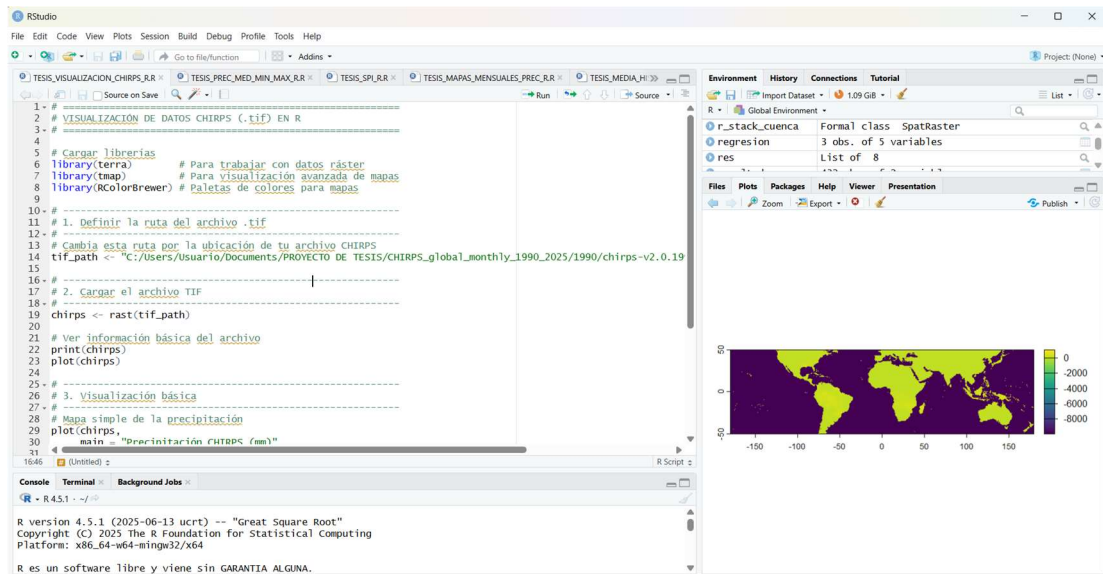


Figura 42

Obtención de precipitación mensual (1990 - 2025) en el área de estudio (Subcuenca media preurbana del río Ichu) en RStudio

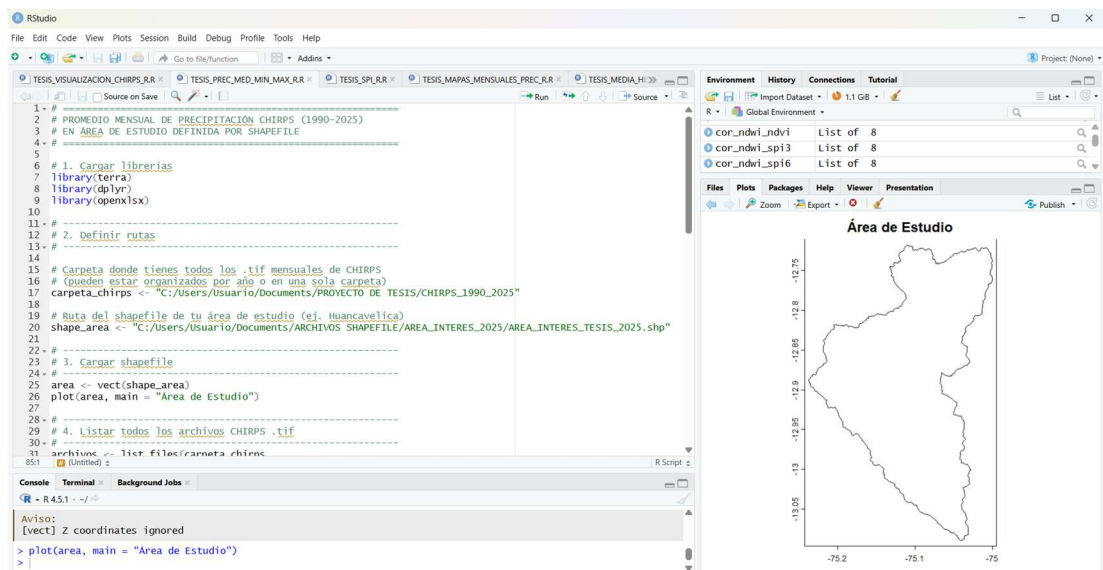


Figura 43

Obtención del SPI (1990 – 2025) para la Subcuenca media preurbana del río Ichu en RStudio

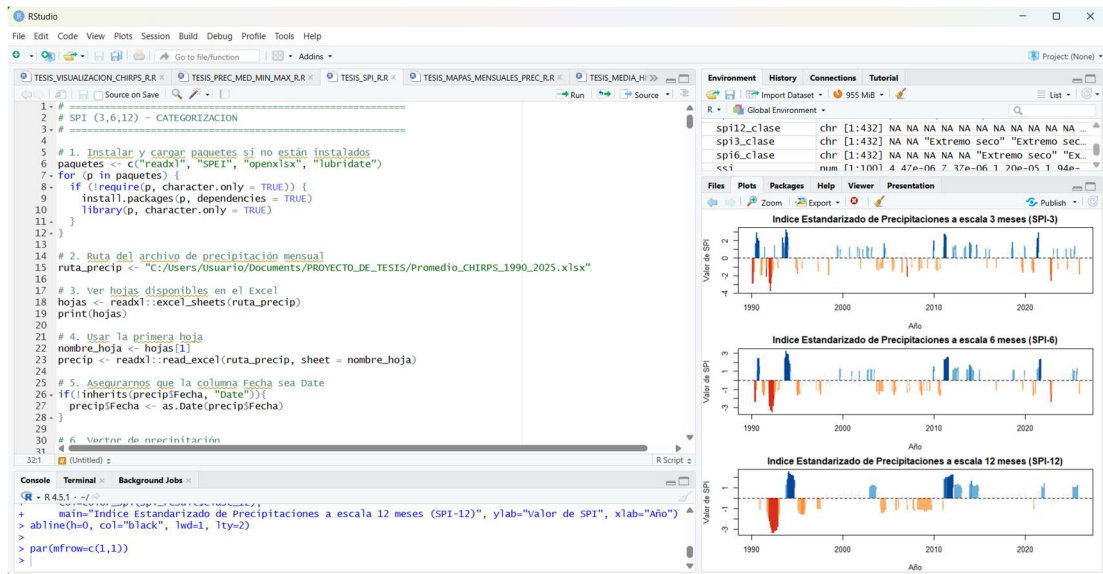


Figura 44

Validación de datos en RStudio de variables hidro climáticas periodo mayo – diciembre del 2025 para la Subcuenca media preurbana del río Ichu

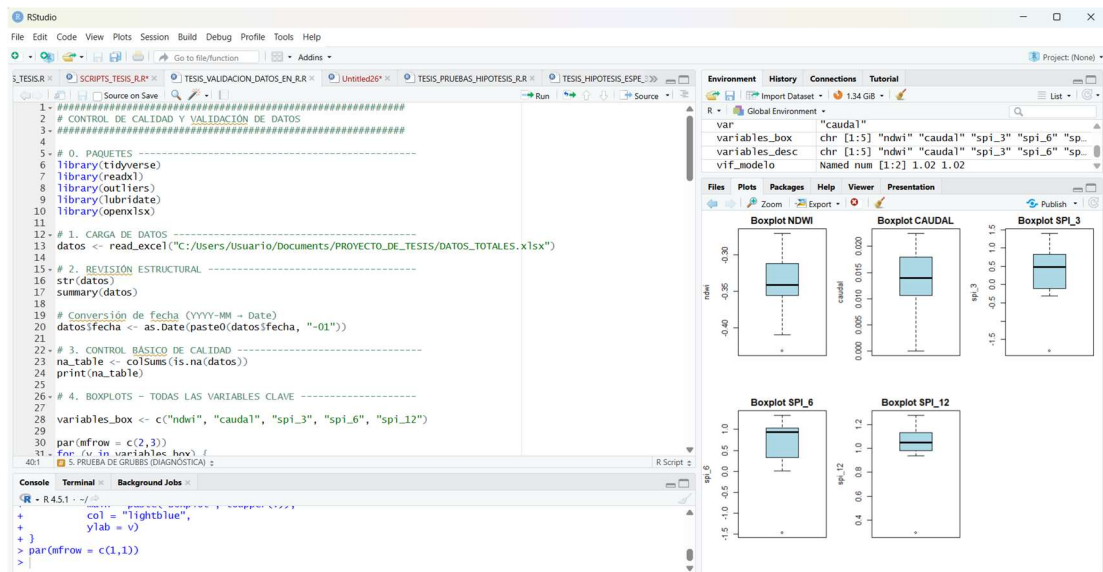


Figura 45

Análisis de correlación de variables RStudio

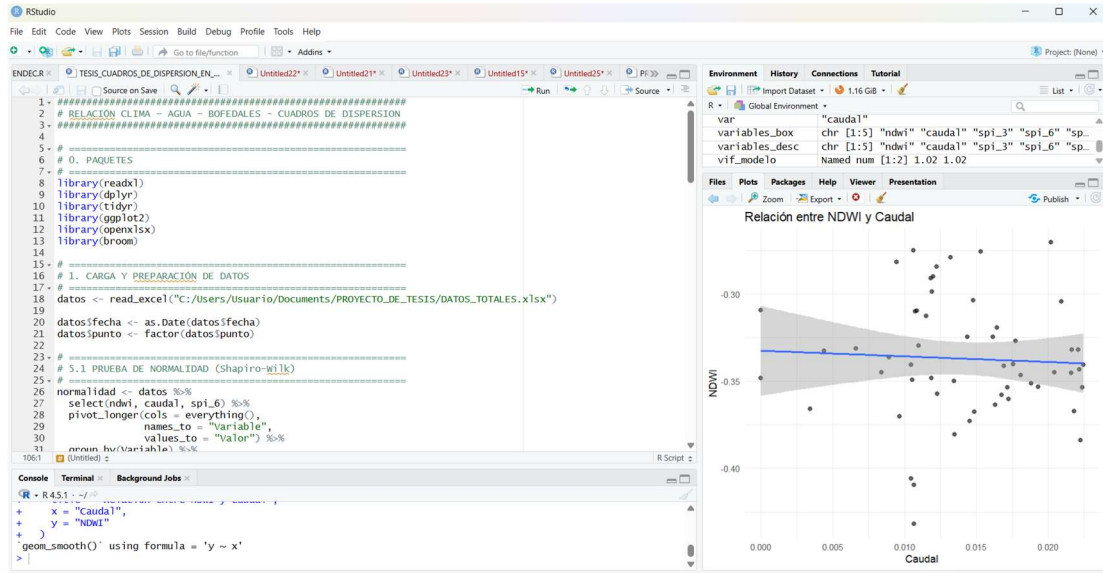


Figura 46

Evaluación de escenario del SPI-6 hacia el 2030 en RStudio para la Subcuenca media preurbana del río Ichu

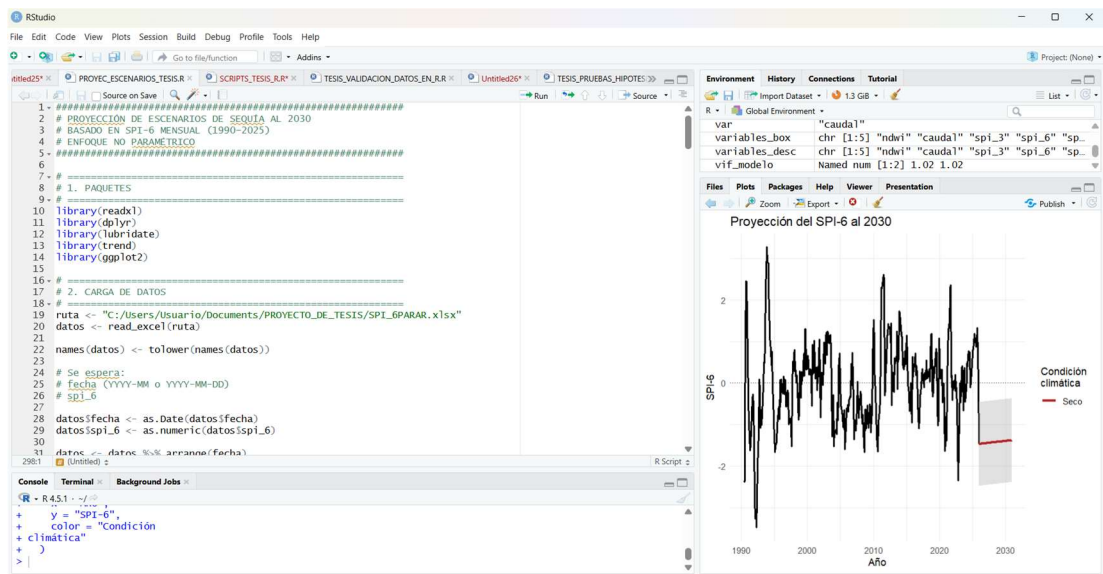


Figura 47

Base de datos obtenidos para los puntos de monitoreo del periodo mayo – diciembre del 2025 para el área de estudio (Subcuenca media preurbana del río Ichu)

fecha	punto	spi_3	spi_6	spi_12	ndmi	ndwi	ndvi	caudal			
May-25	1	1.029286529	1.012513566	1.018746573	1.018746573	0.197547257	-0.270351283	0.467229903	0.02019526		
Jun-25	1	1.393165761	1.052368763	1.045802093	1.045802093	0.207609184	-0.344933406	0.532302022	0.02043718		
Jul-25	1	0.436851774	0.869275865	1.05061134	1.05061134	0.152606964	-0.341109619	0.462926105	0.01694889		
Ago-25	1	-0.308131346	1.011117537	1.089388308	1.089388308	0.118093498	-0.363536	0.463615507	0.01630945		
Set-25	1	0.510108628	1.334060817	1.17820637	1.17820637	0.1758845	-0.324705005	0.4803565	0.01437225		
Oct-25	1	0.635083036	0.658325218	1.276082265	1.276082265	0.198094994	-0.358065009	0.556448996	0.01678555		
Nov-25	1	0.100654788	0.012609599	0.939900122	0.939900122	0.243011996	-0.346504986	0.576470971	0.01811878		
Dic-25	1	-1.813899142	-1.468980183	0.291639113	0.291639113	0.235820502	-0.351079494	0.580272973	0.01882438		
May-25	2	1.029286529	1.012513566	1.018746573	1.018746573	0.23873058	-0.343180791	0.561948717	0.022183774		
Jun-25	2	1.393165761	1.052368763	1.045802093	1.045802093	0.204680398	-0.353415191	0.52994746	0.022386365		
Jul-25	2	0.436851774	0.869275865	1.05061134	1.05061134	0.170611612	-0.367138565	0.508852214	0.021812356		
Ago-25	2	-0.308131346	1.011117537	1.089388308	1.089388308	0.135908499	-0.383762002	0.494862497	0.022285070		
Set-25	2	0.510108628	1.334060817	1.17820637	1.17820637	0.165255502	-0.345398501	0.491941497	0.021609765		
Oct-25	2	0.635083036	0.658325218	1.276082265	1.276082265	0.213834003	-0.332073003	0.536481977	0.021677295		
Nov-25	2	0.100654788	0.012609599	0.939900122	0.939900122	0.225404993	-0.331905991	0.545711994	0.022116243		
Dic-25	2	-1.813899142	-1.468980183	0.291639113	0.291639113	0.248365499	-0.3407415	0.567611516	0.022453896		
May-25	3	1.029286529	1.012513566	1.018746573	1.018746573	0.191060886	-0.353439763	0.52824983	0.0171864		
Jun-25	3	1.393165761	1.052368763	1.045802093	1.045802093	0.167455427	-0.367702559	0.509578347	0.0148752		
Jul-25	3	0.436851774	0.869275865	1.05061134	1.05061134	0.097087197	-0.405786052	0.467152596	0.0104603		
Ago-25	3	-0.308131346	1.011117537	1.089388308	1.089388308	0.034823251	-0.431919485	0.433227003	0.0106644		
Set-25	3	0.510108628	1.334060817	1.17820637	1.17820637	0.036255049	-0.409440994	0.425755501	0.0106644		
Oct-25	3	0.635083036	0.658325218	1.276082265	1.276082265	0.130410999	-0.329724997	0.463517994	0.0109875		
Nov-25	3	0.100654788	0.012609599	0.939900122	0.939900122	0.136403993	-0.357401997	0.480441004	0.0123009		
Dic-25	3	-1.813899142	-1.468980183	0.291639113	0.291639113	0.129255503	-0.380667493	0.497205988	0.0135042		
May-25	4	1.029286529	1.012513566	1.018746573	1.018746573	0.199176654	-0.303698137	0.489963397	0.0148036		
Jun-25	4	1.393165761	1.052368763	1.045802093	1.045802093	0.168545604	-0.312482029	0.461296111	0.0114978		
Jul-25	4	0.436851774	0.869275865	1.05061134	1.05061134	0.10810563	-0.336211056	0.412215754	0.0089320		
Ago-25	4	-0.308131346	1.011117537	1.089388308	1.089388308	0.0443737	-0.370256007	0.383230001	0.0096646		
Set-25	4	0.510108628	1.334060817	1.17820637	1.17820637	0.040321998	-0.349248007	0.367578998	0.0105283		
Oct-25	4	0.635083036	0.658325218	1.276082265	1.276082265	0.147754997	-0.274940014	0.422910988	0.0106134		
Nov-25	4	0.100654788	0.012609599	0.939900122	0.939900122	0.149476007	-0.298525989	0.447221994	0.0119075		
Dic-25	4	-1.813899142	-1.468980183	0.291639113	0.291639113	0.176666498	-0.279071987	0.456786498	0.0132307		
May-25	5	1.029286529	1.012513566	1.018746573	1.018746573	0.268359169	-0.284270421	0.533835828	0.0122575		
Jun-25	5	1.393165761	1.052368763	1.045802093	1.045802093	0.255370528	-0.289884135	0.518104285	0.0120095		
Jul-25	5	0.436851774	0.869275865	1.05061134	1.05061134	0.201589301	-0.309161291	0.478516921	0.0000000		
Ago-25	5	-0.308131346	1.011117537	1.089388308	1.089388308	0.147228502	-0.348287508	0.462389499	0.0000000		
Set-25	5	0.510108628	1.334060817	1.17820637	1.17820637	0.150187999	-0.331355989	0.449400514	0.0066371		
Oct-25	5	0.635083036	0.658325218	1.276082265	1.276082265	0.178638995	-0.281735003	0.441661	0.0094713		
Nov-25	5	0.100654788	0.012609599	0.939900122	0.939900122	0.154970005	-0.309947014	0.445161015	0.0107494		
Dic-25	6	-1.813899142	-1.468980183	0.291639113	0.291639113	0.149046503	-0.353279501	0.499201015	0.0193245		
May-25	7	1.029286529	1.012513566	1.018746573	1.018746573	0.233343408	-0.275833294	0.507719681	0.0153290		
Jun-25	7	1.393165761	1.052368763	1.045802093	1.045802093	0.204583615	-0.290895581	0.481456116	0.0118274		
Jul-25	7	0.436851774	0.869275865	1.05061134	1.05061134	0.116229523	-0.332482457	0.429422796	0.0043870		
Ago-25	7	-0.308131346	1.011117537	1.089388308	1.089388308	0.070501551	-0.365783498	0.407221496	0.0034241		
Set-25	7	0.510108628	1.334060817	1.17820637	1.17820637	0.07465595	-0.34499301	0.386041507	0.0083919		
Oct-25	7	0.635083036	0.658325218	1.276082265	1.276082265	0.107013002	-0.340490013	0.447032005	0.0104603		
Nov-25	7	0.100654788	0.012609599	0.939900122	0.939900122	0.102374002	-0.348302007	0.457323015	0.0118874		
Dic-25	7	-1.813899142	-1.468980183	0.291639113	0.291639113	0.111738503	-0.349757001	0.464627996	0.0134621		

Figura 48

Base de datos obtenidos para SPI y proyección de escenarios.

Fecha	SPI_3	Clase_3	SPI_6	Clase_6	SPI_12	Clase_12
1/01/1990						
1/02/1990						
1/03/1990	-2.850598962			Extremo seco		
1/04/1990	-2.808131214			Extremo seco		
1/05/1990	-1.571856659			Severo		
1/06/1990	0.062172758			Normal	-2.387832822	Extremo seco
1/07/1990	1.667265943			Muy húmedo	-2.327389122	Extremo seco
1/08/1990	2.934343954			Excesivamente húmedo	-1.012774956	Moderadamente seco
1/09/1990	2.292128911			Excesivamente húmedo	1.040606572	Moderadamente húmedo
1/10/1990	2.242732999			Excesivamente húmedo	2.459404301	Excesivamente húmedo
1/11/1990	2.032244522			Excesivamente húmedo	2.428931352	Excesivamente húmedo
1/12/1990	1.175869477			Moderadamente húmedo	1.523619672	Muy húmedo
1/01/1991	-0.281415314			Normal	0.615878003	Normal
1/02/1991	-0.91426299			Severo	-0.351752343	Normal
1/03/1991	-1.905168029			Severo	-0.979119724	Normal
1/04/1991	-1.304797366			Moderadamente seco	-1.304855864	Moderadamente seco
1/05/1991	-0.38472027			Normal	-1.628480857	Severo
1/06/1991	0.475381729			Normal	-1.50510934	Severo
1/07/1991	1.299999713			Moderadamente húmedo	-1.075706667	Moderadamente seco
1/08/1991	-0.64043565			Normal	-0.765542698	Normal
1/09/1991	-2.079078423			Extremo seco	-0.373105032	Normal
1/10/1991	-1.127176527			Moderadamente seco	-0.273834894	Normal
1/11/1991	-0.446233219			Normal	-0.550760598	Normal
1/12/1991	-1.159976399			Moderadamente seco	-1.479364262	Moderadamente seco
1/01/1992	-2.788165674			Extremo seco	-2.782408248	Extremo seco
1/02/1992	-3.738533522			Extremo seco	-3.265463423	Extremo seco
1/03/1992	-2.851305476			Extremo seco	-3.129095608	Extremo seco
1/04/1992	-2.063407697			Extremo seco	-3.288389805	Extremo seco
1/05/1992	-1.792401681			Severo	-3.477578304	Extremo seco
1/06/1992	-1.355006526			Moderadamente seco	-2.795086475	Extremo seco
1/07/1992	-0.315299602			Normal	-2.061651213	Extremo seco
1/08/1992	1.463708189			Moderadamente húmedo	-1.538947242	Severo
1/09/1992	-0.36374956			Normal	-1.251134064	Moderadamente seco
1/10/1992	0.296670794			Normal	0.08644901	Normal
1/11/1992	-0.576762583			Normal	-0.174122028	Normal
1/12/1992	-1.104089779			Moderadamente seco	-1.080008409	Moderadamente seco
1/01/1993	-1.107181219			Moderadamente seco	-0.845773053	Normal
1/02/1993	-0.821326356			Normal	-1.006203913	Moderadamente seco
1/03/1993	-0.098602872			Normal	-0.732094501	Normal
1/04/1993	0.282194449			Normal	-0.399138679	Normal
1/05/1993	0.697938977			Normal	-0.065114045	Normal
1/06/1993	2.355814364			Excesivamente húmedo	0.512966634	Normal
1/07/1993	1.679859957			Muy húmedo	0.482315309	Normal
1/08/1993	1.754494969			Muy húmedo	0.917952736	Normal
1/09/1993	1.214877381			Moderadamente húmedo	2.428220275	Excesivamente húmedo
1/10/1993	2.389653511			Excesivamente húmedo	2.583837679	Excesivamente húmedo
1/11/1993	3.228085405			Excesivamente húmedo	3.274741189	Excesivamente húmedo
1/12/1993	2.92708255			Excesivamente húmedo	2.917491929	Excesivamente húmedo
1/01/1994	2.423698734			Excesivamente húmedo	2.890276884	Excesivamente húmedo
1/02/1994	1.494808915			Moderadamente húmedo	2.891591836	Excesivamente húmedo
1/03/1994	0.855757369			Normal	2.170046522	Excesivamente húmedo
1/04/1994	0.833973681			Normal	1.873366854	Muy húmedo
1/05/1994	0.448277859			Normal	1.133524039	Moderadamente húmedo
1/06/1994	0.880602286			Normal	0.930066877	Normal
1/07/1994	0.315091984			Normal	0.845334181	Normal
1/08/1994	-0.07529077			Normal	0.426750445	Normal
1/09/1994	0.141781183			Normal	0.756072397	Normal
1/10/1994	-0.389073803			Normal	-0.208215215	Normal
1/11/1994	-0.31361161			Normal	-0.315464471	Normal
1/12/1994	-1.087389382			Moderadamente seco	-0.948788863	Normal
1/01/1995	-1.301172252			Moderadamente seco	-1.265977283	Moderadamente seco
1/02/1995	-1.774857559			Severo	-1.664001469	Severo
1/03/1995	-0.994493265			Normal	-1.53271107	Severo
1/04/1995	-0.79989465			Normal	-1.444907529	Moderadamente seco
1/05/1995	-0.475856034			Normal	-1.436577252	Moderadamente seco
1/06/1995	-0.483717575			Normal	-0.990802186	Normal
1/07/1995	-0.710263565			Normal	-0.884462646	Normal
1/08/1995	-1.12274623			Moderadamente seco	-0.654582411	Normal
1/09/1995	-0.334662022			Normal	-0.564847187	Normal
1/10/1995	-0.674330981			Normal	-0.866674331	Normal
1/11/1995	0.318746887			Normal	0.070790746	Normal
1/12/1995	-0.542920533			Normal	-0.57449798	Normal
1/01/1996	-0.164709837			Normal	-0.383795239	Normal
1/02/1996	-0.024349025			Normal	0.094914795	Normal
1/03/1996	0.187912422			Normal	-0.219105944	Normal
1/04/1996	0.192787354			Normal	-0.022637411	Normal
1/05/1996	-0.281037042			Normal	-0.256886483	Normal
1/06/1996	0.065249409			Normal	0.164977602	Normal
1/07/1996	-0.903389004			Normal	0.076146905	Normal

1/08/1996	0.314264699	Normal	-0.274429382	Normal	-0.142408289	Normal		
1/09/1996	0.128768287	Normal	0.071400933	Normal	-0.188873869	Normal		
1/10/1996	-0.222139911	Normal	-0.565111435	Normal	-0.150742205	Normal		
1/11/1996	-0.689553546	Normal	-0.560472719	Normal	-0.4283763	Normal		
1/12/1996	-0.291255786	Normal	-0.251122583	Normal	-0.006238187	Normal		
1/01/1997	-0.102863815	Normal	-0.18235931	Normal	-0.048349687	Normal		
1/02/1997	0.089206121	Normal	-0.274211014	Normal	-0.354775862	Normal		
1/03/1997	-0.842404847	Normal	-1.001756334	Moderadamente seco	-0.893760001	Normal		
1/04/1997	-0.980768602	Normal	-0.955252119	Normal	-1.024742248	Moderadamente seco		
1/05/1997	-1.47022823	Moderadamente seco		-0.851148218	Normal	-1.021149756	Moderadamente seco	
1/06/1997	-0.506878117	Normal	-0.86368344	Normal	-1.018389487	Moderadamente seco		
1/07/1997	-0.835634091	Normal	-1.086909157	Moderadamente seco		-1.034422453	Moderadamente seco	
1/08/1997	-0.070904821	Normal	-1.52114262	Severo	-1.052051968	Moderadamente seco		
1/09/1997	0.848101794	Normal	-0.058155525	Normal	-0.921698071	Normal		
1/10/1997	0.304594898	Normal	-0.095041385	Normal	-0.917982646	Normal		
1/11/1997	0.611076234	Normal	0.525565823	Normal	-0.571741807	Normal		
1/12/1997	0.135948555	Normal	0.28465202	Normal	-0.583692759	Normal		
1/01/1998	0.698611613	Normal	0.6895538	Normal	-0.376769779	Normal		
1/02/1998	0.645408047	Normal	0.796841042	Normal	-0.229575346	Normal		
1/03/1998	0.371042303	Normal	0.264075733	Normal	0.22085848	Normal		
1/04/1998	0.054377311	Normal	0.309058029	Normal	0.252619882	Normal		
1/05/1998	-0.556977279	Normal	0.004358903	Normal	0.16099386	Normal		
1/06/1998	-0.63056529	Normal	0.186319254	Normal	0.190703656	Normal		
1/07/1998	-1.917324296	Severo	-0.154269107	Normal	0.184137499	Normal		
1/08/1998	0.230653704	Normal	-0.56525581	Normal	0.191348233	Normal		
1/09/1998	-0.807134617	Normal	-0.880337744	Normal	0.03405998	Normal		
1/10/1998	-0.024557189	Normal	-0.727991972	Normal	0.132428757	Normal		
1/11/1998	0.278797839	Normal	0.28109905	Normal	0.100015392	Normal		
1/12/1998	0.212044567	Normal	0.024899456	Normal	0.131836804	Normal		
1/01/1999	-0.382452518	Normal	-0.355680703	Normal	-0.302435524	Normal		
1/02/1999	0.207415866	Normal	0.268850026	Normal	-0.143933338	Normal		
1/03/1999	0.082075426	Normal	0.048849873	Normal	-0.16503486	Normal		
1/04/1999	0.577438923	Normal	0.211083991	Normal	0.024937082	Normal		
1/05/1999	0.234597388	Normal	0.210596851	Normal	0.261624727	Normal		
1/06/1999	1.481037809	Moderadamente húmedo	0.415361864	Normal	0.272107497	Normal		
1/07/1999	1.224382649	Moderadamente húmedo	0.70364887	Normal	0.303983458	Normal		
1/08/1999	-0.416879416	Normal	0.165512751	Normal	0.226501462	Normal		
1/09/1999	0.166349039	Normal	1.285553084	Moderadamente húmedo	0.365989479	Normal		
1/10/1999	1.0210438	Moderadamente húmedo	1.296118417	Moderadamente húmedo	0.52053583	Normal		
1/11/1999	0.47579257	Normal	0.33764791	Normal	0.307572219	Normal		
1/12/1999	0.343723742	Normal	0.329593801	Normal	0.455000155	Normal		
1/01/2000	0.003657378	Normal	0.351178707	Normal	0.677246785	Normal		
1/02/2000	0.551507847	Normal	0.652634702	Normal	0.514224224	Normal		
1/03/2000	0.501260765	Normal	0.47972854	Normal	0.754075175	Normal		
1/04/2000	0.352554093	Normal	0.200483927	Normal	0.487538905	Normal		
1/05/2000	0.018547651	Normal	0.284347998	Normal	0.350056488	Normal		
1/06/2000	-0.447387115	Normal	0.338285732	Normal	0.350399957	Normal		
1/07/2000	-0.080718728	Normal	0.322157225	Normal	0.365717754	Normal		
1/08/2000	0.412866189	Normal	0.043752986	Normal	0.41754843	Normal		
1/09/2000	-0.355579669	Normal	-0.544499022	Normal	0.305638211	Normal		
1/10/2000	1.194064894	Moderadamente húmedo	0.925442328	Normal	0.41449539	Normal		
1/11/2000	0.1815553	Normal	0.23140434	Normal	0.337771153	Normal		
1/12/2000	0.373408699	Normal	0.256791738	Normal	0.359428955	Normal		
1/01/2001	0.722608244	Normal	1.018252505	Moderadamente húmedo	0.734710223	Normal		
1/02/2001	0.50750939	Normal	0.475918782	Normal	0.327302461	Normal		
1/03/2001	0.553564046	Normal	0.540158799	Normal	0.366152339	Normal		
1/04/2001	-0.223946552	Normal	0.097743842	Normal	0.300127339	Normal		
1/05/2001	0.102486091	Normal	0.309218905	Normal	0.335597656	Normal		
1/06/2001	-0.502203121	Normal	0.374747996	Normal	0.347535343	Normal		
1/07/2001	0.535326461	Normal	-0.169444762	Normal	0.367016767	Normal		
1/08/2001	0.537259088	Normal	0.14592622	Normal	0.35500457	Normal		
1/09/2001	1.275462558	Moderadamente húmedo	0.146452522	Normal	0.516729501	Normal		
1/10/2001	0.599420336	Normal	0.669698101	Normal	0.254308077	Normal		
1/11/2001	1.053334578	Moderadamente húmedo	1.045977893	Moderadamente húmedo	0.655735454	Normal		
1/12/2001	-0.185371418	Normal	0.100268834	Normal	0.32040721	Normal		
1/01/2002	-1.240116281	Moderadamente seco	-0.834346204	Normal	-0.549872241	Normal		
1/02/2002	-0.609270032	Normal	0.010349471	Normal	0.075456774	Normal		
1/03/2002	0.537976187	Normal	0.261291246	Normal	0.267141352	Normal		
1/04/2002	1.009191052	Moderadamente húmedo	0.226570389	Normal	0.354118212	Normal		
1/05/2002	0.545115136	Normal	-0.056304608	Normal	0.306502517	Normal		
1/06/2002	-0.121683831	Normal	0.435440979	Normal	0.326832068	Normal		
1/07/2002	-0.005080701	Normal	0.086194607	Normal	0.310329907	Normal		
1/08/2002	0.982436115	Normal	0.656713992	Normal	0.351655134	Normal		
1/09/2002	1.360162857	Moderadamente húmedo	0.465832126	Normal	0.341096658	Normal		
1/10/2002	1.367382937	Moderadamente húmedo	1.099101516	Moderadamente húmedo	0.483280859	Normal		
1/11/2002	1.146525927	Moderadamente húmedo	1.218269259	Moderadamente húmedo	0.399870232	Normal		
1/12/2002	0.746393227	Normal	0.938768229	Normal	0.749244775	Normal		
1/01/2003	0.231430648	Normal	0.672056205	Normal	1.044069439	Moderadamente húmedo		
1/02/2003	0.856388916	Normal	1.238320083	Moderadamente húmedo	1.183849707	Moderadamente húmedo		
1/03/2003	1.086389604	Moderadamente húmedo	1.19048768	Moderadamente húmedo	1.196024604	Moderadamente húmedo		
1/04/2003	1.263055326	Moderadamente húmedo	1.123957539	Moderadamente húmedo	1.279656491	Moderadamente húmedo		
1/05/2003	0.77747052	Normal	0.954335365	Normal	1.287080681	Moderadamente húmedo		
1/06/2003	0.229582175	Normal	0.994555268	Normal	1.247069028	Moderadamente húmedo		
1/07/2003	-0.95458098	Normal	1.155262191	Moderadamente húmedo	1.231509458	Moderadamente húmedo		
1/08/2003	0.21090311	Normal	0.802085013	Normal	1.249169261	Moderadamente húmedo		
1/09/2003	-0.58904553	Normal	-0.076624725	Normal	1.063540431	Moderadamente húmedo		
1/10/2003	-1.068786701	Moderadamente seco	-1.285679223	Moderadamente seco	0.816968435	Normal		
1/11/2003	-1.361906529	Moderadamente seco	-1.163765652	Moderadamente seco	0.540135122	Normal		
1/12/2003	-0.165180481	Normal	-0.282904096	Normal	0.683714783	Normal		
1/01/2004	-1.32642765	Moderadamente seco	-1.527135149	Severo	0.188366218	Normal		
1/02/2004	-0.56331695	Normal	-1.128709104	Moderadamente seco	-0.236248091	Normal		
1/03/2004	-1.118834118	Moderadamente seco	-1.167293129	Moderadamente seco	-1.081191578	Moderadamente seco		
1/04/2004	-0.476258671	Normal	-1.185419828	Moderadamente seco	-1.402627152	Moderadamente seco		
1/05/2004	-1.136682453	Moderadamente seco	-1.103270267	Moderadamente seco	-1.463971581	Moderadamente seco		
1/06/2004	-1.067337576	Moderadamente seco	-1.22880641	Moderadamente seco	-1.353068456	Moderadamente seco		

1/07/2004	0.191212147	Normal	-0.461440522	Normal	-1.309090826	Moderadamente seco		
1/08/2004	1.658055631	Muy húmedo	-0.892440109	Normal	-1.326170881	Moderadamente seco		
1/09/2004	1.164783765	Moderadamente húmedo		-0.306983686	Normal	-1.133699297	Moderadamente seco	
1/10/2004	0.389794166	Normal	0.360179863	Normal	-1.009833591	Moderadamente seco		
1/11/2004	0.167974013	Normal	0.506176483	Normal	-0.799795003	Normal		
1/12/2004	0.54021784	Normal	0.71291783	Normal	-0.6395486	Normal		
1/01/2005	-0.122197947	Normal	0.01288539	Normal	-0.331858655	Normal		
1/02/2005	-0.704630095	Normal	-0.542362783	Normal	-0.875580178	Normal		
1/03/2005	-0.881539394	Normal	-0.583598919	Normal	-0.61426547	Normal		
1/04/2005	-0.645469882	Normal	-0.701182161	Normal	-0.565802171	Normal		
1/05/2005	-0.462605719	Normal	-0.788742419	Normal	-0.562993884	Normal		
1/06/2005	-1.327283698	Moderadamente seco		-1.071212713	Moderadamente seco	-0.664125411	Normal	
1/07/2005	-1.461593677	Moderadamente seco		-0.821959607	Normal	-0.720885234	Normal	
1/08/2005	-1.179039512	Moderadamente seco		-0.647024155	Normal	-0.787246797	Normal	
1/09/2005	-1.171288463	Moderadamente seco		-1.592134475	Severo	-0.902578162	Normal	
1/10/2005	-0.824565581	Normal	-1.274102078	Moderadamente seco		-0.955429153	Normal	
1/11/2005	-0.898927477	Normal	-1.068514834	Moderadamente seco		-1.088449433	Moderadamente seco	
1/12/2005	-0.403223415	Normal	-0.612047112	Normal	-1.177352026	Moderadamente seco		
1/01/2006	-0.418824554	Normal	-0.655256288	Normal	-0.929275287	Normal		
1/02/2006	-0.1004362	Normal	-0.529039654	Normal	-0.733919845	Normal		
1/03/2006	-0.411695383	Normal	-0.686764563	Normal	-1.005524894	Moderadamente seco		
1/04/2006	-0.132808862	Normal	-0.431759127	Normal	-0.693841819	Normal		
1/05/2006	-0.406726238	Normal	-0.381124347	Normal	-0.747862718	Normal		
1/06/2006	0.276145217	Normal	-0.308488173	Normal	-0.700413843	Normal		
1/07/2006	-1.616766448	Severo	-0.31920987	Normal	-0.715046815	Normal		
1/08/2006	0.733394529	Normal	-0.340742779	Normal	-0.60455569	Normal		
1/09/2006	0.65867256	Normal	0.462863142	Normal	-0.504612446	Normal		
1/10/2006	0.640587726	Normal	-0.049861989	Normal	-0.41835305	Normal		
1/11/2006	0.665221192	Normal	0.73283361	Normal	-0.076742897	Normal		
1/12/2006	-0.040691272	Normal	0.086490858	Normal	-0.24230474	Normal		
1/01/2007	-0.710002177	Normal	-0.385302055	Normal	-0.436189469	Normal		
1/02/2007	-2.096328289	Extremo seco	-1.358800431	Moderadamente seco		-1.107969724	Moderadamente seco	
1/03/2007	-0.866852874	Normal	-0.890439598	Normal	-0.688300431	Normal		
1/04/2007	-0.512107618	Normal	-0.903780938	Normal	-0.852689887	Normal		
1/05/2007	0.170168835	Normal	-1.153276236	Moderadamente seco		-0.79192975	Normal	
1/06/2007	-0.388333795	Normal	-0.85801736	Normal	-0.833993386	Normal		
1/07/2007	-0.962156146	Normal	-0.636323609	Normal	-0.813810196	Normal		
1/08/2007	-1.023022657	Moderadamente seco		0.033418277	Normal	-0.923638647	Normal	
1/09/2007	-0.637933602	Normal	-0.613104096	Normal	-0.962187175	Normal		
1/10/2007	-0.525991908	Normal	-0.841149687	Normal	-1.051389849	Moderadamente seco		
1/11/2007	-0.275349463	Normal	-0.466282256	Normal	-1.217081142	Moderadamente seco		
1/12/2007	-0.43048187	Normal	-0.534683951	Normal	-0.970575321	Normal		
1/01/2008	-0.011702435	Normal	-0.20190684	Normal	-0.564674726	Normal		
1/02/2008	-0.134432501	Normal	-0.282300701	Normal	-0.182975944	Normal		
1/03/2008	-0.51128722	Normal	-0.787220397	Normal	-0.874922022	Normal		
1/04/2008	-0.999177207	Normal	-0.918102499	Normal	-1.054519074	Moderadamente seco		
1/05/2008	-1.423366248	Moderadamente seco		-0.977031806	Normal	-1.103957605	Moderadamente seco	
1/06/2008	-1.415730396	Moderadamente seco		-0.755424758	Normal	-1.068263841	Moderadamente seco	
1/07/2008	-1.118534538	Moderadamente seco		-1.138416279	Moderadamente seco	-1.084019084	Moderadamente seco	
1/08/2008	-0.148053845	Normal	-1.487412947	Moderadamente seco		-1.041590499	Moderadamente seco	
1/09/2008	-1.188171305	Moderadamente seco		-1.66887393	Severo	-1.107736463	Moderadamente seco	
1/10/2008	-0.22354319	Normal	-0.643205841	Normal	-1.018308445	Moderadamente seco		
1/11/2008	-0.659876719	Normal	-0.639912732	Normal	-1.118584405	Moderadamente seco		
1/12/2008	-0.927013771	Normal	-1.095810321	Moderadamente seco		-1.136860854	Moderadamente seco	
1/01/2009	-0.966868301	Normal	-0.923592035	Normal	-1.287737354	Moderadamente seco		
1/02/2009	-0.229881444	Normal	-0.53826177	Normal	-1.176128899	Moderadamente seco		
1/03/2009	-0.401270144	Normal	-0.92772397	Normal	-1.247193103	Moderadamente seco		
1/04/2009	-0.557097512	Normal	-1.074276298	Moderadamente seco		-1.152591947	Moderadamente seco	
1/05/2009	-1.141932108	Moderadamente seco		-0.889672703	Normal	-1.08489053	Moderadamente seco	
1/06/2009	-0.62953179	Normal	-0.502515546	Normal	-1.109636117	Moderadamente seco		
1/07/2009	-0.152985498	Normal	-0.585380699	Normal	-1.080188766	Moderadamente seco		
1/08/2009	-0.001558803	Normal	-1.185547708	Moderadamente seco		-1.073396688	Moderadamente seco	
1/09/2009	-0.608644024	Normal	-0.797107967	Normal	-1.040324705	Moderadamente seco		
1/10/2009	-0.875246728	Normal	-0.794666339	Normal	-1.201478903	Moderadamente seco		
1/11/2009	0.575721492	Normal	0.506948803	Normal	-0.613260008	Normal		
1/12/2009	1.375830998	Moderadamente húmedo		1.153164542	Moderadamente húmedo	0.128181923	Normal	
1/01/2010	2.000437211	Excesivamente húmedo		1.516499576	Muy húmedo	0.400050021	Normal	
1/02/2010	0.832396585	Normal	0.936769484	Normal	0.023102793	Normal		
1/03/2010	-0.430689284	Normal	0.254383678	Normal	0.044742485	Normal		
1/04/2010	-1.190766996	Moderadamente seco		0.147668171	Normal	-0.048629176	Normal	
1/05/2010	-1.321163799	Moderadamente seco		-0.273960794	Normal	-0.099704469	Normal	
1/06/2010	-1.353309357	Moderadamente seco		-0.671155731	Normal	-0.081408283	Normal	
1/07/2010	-0.984359718	Normal	-1.312081252	Moderadamente seco		-0.118210318	Normal	
1/08/2010	-0.529611865	Normal	-1.444174052	Moderadamente seco		-0.129236167	Normal	
1/09/2010	-1.252049398	Moderadamente seco		-1.647494881	Severo	-0.130084055	Normal	
1/10/2010	-0.612505304	Normal	-0.921519479	Normal	-0.063750779	Normal		
1/11/2010	-0.774041901	Normal	-0.824055122	Normal	-0.529451184	Normal		
1/12/2010	-0.43121604	Normal	-0.652837224	Normal	-0.87265649	Normal		
1/01/2011	-0.237826641	Normal	-0.428253867	Normal	-1.138795874	Moderadamente seco		
1/02/2011	1.263373818	Moderadamente húmedo		0.730701422	Normal	-0.243665336	Normal	
1/03/2011	2.804623541	Excesivamente húmedo		2.296351194	Excesivamente húmedo	1.830042518	Muy húmedo	
1/04/2011	2.666156158	Excesivamente húmedo		2.27042717	Excesivamente húmedo	1.957640573	Muy húmedo	
1/05/2011	2.448733693	Excesivamente húmedo		2.372295888	Excesivamente húmedo	2.006842047	Excesivamente húmedo	
1/06/2011	-0.112057478	Normal	2.490592616	Excesivamente húmedo		1.995968202	Muy húmedo	
1/07/2011	-0.675018091	Normal	2.610016464	Excesivamente húmedo		2.015099923	Excesivamente húmedo	
1/08/2011	-0.591300635	Normal	2.499906394	Excesivamente húmedo		2.025399209	Excesivamente húmedo	
1/09/2011	-0.433520174	Normal	-0.302919057	Normal	2.049406654	Excesivamente húmedo		
1/10/2011	0.178130979	Normal	-0.145646798	Normal	2.153977649	Excesivamente húmedo		
1/11/2011	0.186597603	Normal	0.038753425	Normal	2.236653697	Excesivamente húmedo		
1/12/2011	0.561802137	Normal	0.417231349	Normal	2.258372175	Excesivamente húmedo		
1/01/2012	0.510444486	Normal	0.491727771	Normal	2.250426871	Excesivamente húmedo		
1/02/2012	1.277557437	Moderadamente húmedo		1.138655548	Moderadamente húmedo	2.276526407	Excesivamente húmedo	
1/03/2012	1.134727228	Moderadamente húmedo		1.145188838	Moderadamente húmedo	0.983364476	Normal	
1/04/2012	1.437880224	Moderadamente húmedo		1.418519147	Moderadamente húmedo	1.284239633	Moderadamente húmedo	
1/05/2012	0.990792513	Normal	1.345841592	Moderadamente húmedo		1.249880136	Moderadamente húmedo	

1/06/2012	1.465644358	Moderadamente húmedo	1.307358841	Moderadamente húmedo	1.286272556	Moderadamente húmedo
1/07/2012	-0.885737189	Normal	1.338906222	Moderadamente húmedo	1.294008007	Moderadamente húmedo
1/08/2012	-0.332626657	Normal	0.968058595	Normal	1.281507548	Moderadamente húmedo
1/09/2012	0.637794161	Normal	1.44400969	Moderadamente húmedo	1.379613842	Moderadamente húmedo
1/10/2012	-0.197836223	Normal	-0.538258195	Normal	1.246421206	Moderadamente húmedo
1/11/2012	0.200296076	Normal	0.099197668	Normal	1.27985732	Moderadamente húmedo
1/12/2012	0.148130139	Normal	0.250078588	Normal	1.16725234	Moderadamente húmedo
1/01/2013	0.115131091	Normal	0.015433466	Normal	1.00899297	Moderadamente húmedo
1/02/2013	-0.330447689	Normal	-0.217898015	Normal	0.433114663	Normal
1/03/2013	0.740713305	Normal	0.598482719	Normal	0.902502118	Normal
1/04/2013	0.592047043	Normal	0.465401527	Normal	0.303846878	Normal
1/05/2013	1.190646972	Moderadamente húmedo	0.56747671	Normal	0.531545454	Normal
1/06/2013	-0.375141444	Normal	0.567139507	Normal	0.520124247	Normal
1/07/2013	1.39703514	Moderadamente húmedo	0.741181107	Normal	0.531169406	Normal
1/08/2013	0.259859662	Normal	1.239359378	Moderadamente húmedo	0.582997927	Normal
1/09/2013	0.438011641	Normal	-0.144677931	Normal	0.503290626	Normal
1/10/2013	0.713996927	Normal	1.132105283	Moderadamente húmedo	0.712985016	Normal
1/11/2013	0.587003584	Normal	0.566583522	Normal	0.713362072	Normal
1/12/2013	1.808701912	Muy húmedo	1.734731041	Muy húmedo	1.234566883	Moderadamente húmedo
1/01/2014	1.694023832	Muy húmedo	1.694025374	Muy húmedo	1.376634545	Moderadamente húmedo
1/02/2014	1.488814191	Moderadamente húmedo	1.499630941	Moderadamente húmedo	1.696383781	Muy húmedo
1/03/2014	0.594836781	Normal	1.323269674	Moderadamente húmedo	1.183707916	Moderadamente húmedo
1/04/2014	0.425517483	Normal	1.147881063	Moderadamente húmedo	1.309428011	Moderadamente húmedo
1/05/2014	0.380030046	Normal	1.088301948	Moderadamente húmedo	1.178727188	Moderadamente húmedo
1/06/2014	-0.287422595	Normal	0.453183955	Normal	1.187157053	Moderadamente húmedo
1/07/2014	-0.184101523	Normal	0.383499121	Normal	1.18466099	Moderadamente húmedo
1/08/2014	-0.36407305	Normal	0.323237082	Normal	1.154946854	Moderadamente húmedo
1/09/2014	1.565024565	Muy húmedo	0.440152496	Normal	1.299891351	Moderadamente húmedo
1/10/2014	1.061586559	Moderadamente húmedo	0.776582646	Normal	1.266724634	Moderadamente húmedo
1/11/2014	0.58080536	Normal	0.444350169	Normal	1.150262529	Moderadamente húmedo
1/12/2014	0.519068749	Normal	0.782096838	Normal	0.690697788	Normal
1/01/2015	0.923969075	Normal	1.142101681	Moderadamente húmedo	0.841533455	Normal
1/02/2015	0.434495358	Normal	0.605996977	Normal	0.572368301	Normal
1/03/2015	-0.162791074	Normal	-0.00245298	Normal	0.100264701	Normal
1/04/2015	-0.699286554	Normal	-0.155738424	Normal	0.033059897	Normal
1/05/2015	-0.491247606	Normal	-0.093625985	Normal	0.041204065	Normal
1/06/2015	-0.594071622	Normal	-0.283682079	Normal	0.03670187	Normal
1/07/2015	0.246445705	Normal	-0.670645866	Normal	0.076955274	Normal
1/08/2015	0.143086061	Normal	-0.511218509	Normal	0.08456523	Normal
1/09/2015	1.110817998	Moderadamente húmedo	0.00136972	Normal	-0.010433689	Normal
1/10/2015	-0.78770847	Normal	-0.547487608	Normal	-0.27382666	Normal
1/11/2015	-1.094054297	Moderadamente seco	-0.951948317	Normal	-0.399961782	Normal
1/12/2015	0.457970125	Normal	0.628004574	Normal	0.03390062	Normal
1/01/2016	0.470573436	Normal	0.14620567	Normal	-0.404290633	Normal
1/02/2016	1.000937465	Moderadamente húmedo	0.373464758	Normal	-0.043322759	Normal
1/03/2016	0.322877901	Normal	0.380834386	Normal	0.342178665	Normal
1/04/2016	0.506308903	Normal	0.568725167	Normal	0.399327384	Normal
1/05/2016	0.275871552	Normal	0.721235839	Normal	0.349760852	Normal
1/06/2016	-0.40015924	Normal	0.187924752	Normal	0.36669265	Normal
1/07/2016	-0.694760261	Normal	0.412089022	Normal	0.325966972	Normal
1/08/2016	-0.544839042	Normal	0.194564529	Normal	0.313800348	Normal
1/09/2016	-0.273806684	Normal	-0.472212134	Normal	0.230259416	Normal
1/10/2016	-0.597242051	Normal	-0.797482353	Normal	0.368927651	Normal
1/11/2016	-1.065433308	Moderadamente seco	-1.087119935	Moderadamente seco	0.336482615	Normal
1/12/2016	-0.893527306	Normal	-0.874106499	Normal	-0.24691752	Normal
1/01/2017	-0.1011926	Normal	-0.303352	Normal	0.142679855	Normal
1/02/2017	0.291421411	Normal	-0.251455859	Normal	-0.067581162	Normal
1/03/2017	0.392353434	Normal	-0.187036721	Normal	-0.291197731	Normal
1/04/2017	0.038565462	Normal	-0.123097956	Normal	-0.30377407	Normal
1/05/2017	0.117567001	Normal	0.186426223	Normal	-0.208185772	Normal
1/06/2017	0.056738054	Normal	0.34326218	Normal	-0.209687767	Normal
1/07/2017	0.701509623	Normal	0.108546222	Normal	-0.170679138	Normal
1/08/2017	-0.314921316	Normal	0.055273075	Normal	-0.186515207	Normal
1/09/2017	-0.284425099	Normal	-0.10342284	Normal	-0.202745212	Normal
1/10/2017	-0.032763606	Normal	0.241108947	Normal	-0.05810625	Normal
1/11/2017	0.282244957	Normal	0.177760939	Normal	0.229559302	Normal
1/12/2017	0.174821192	Normal	0.087373553	Normal	0.288736011	Normal
1/01/2018	0.656764891	Normal	0.543418026	Normal	0.340525817	Normal
1/02/2018	0.044168394	Normal	0.133991366	Normal	0.105041082	Normal
1/03/2018	0.174557576	Normal	0.110741377	Normal	0.06938537	Normal
1/04/2018	-0.104098466	Normal	0.157832419	Normal	0.189029824	Normal
1/05/2018	0.408515318	Normal	0.227747408	Normal	0.241020355	Normal
1/06/2018	0.886085965	Normal	0.342385777	Normal	0.235210874	Normal
1/07/2018	1.179814258	Moderadamente húmedo	0.037470764	Normal	0.24765018	Normal
1/08/2018	1.803185792	Muy húmedo	0.634627168	Normal	0.418380238	Normal
1/09/2018	1.104764926	Moderadamente húmedo	1.141341954	Moderadamente húmedo	0.381342539	Normal
1/10/2018	0.904103756	Normal	1.184558375	Moderadamente húmedo	0.442135279	Normal
1/11/2018	-0.526039635	Normal	-0.039587953	Normal	0.193253797	Normal
1/12/2018	-0.356171322	Normal	-0.087927826	Normal	0.211854286	Normal
1/01/2019	-0.76109273	Normal	-0.323445007	Normal	-0.146427716	Normal
1/02/2019	0.127404276	Normal	-0.170177469	Normal	0.252459602	Normal
1/03/2019	0.762414816	Normal	0.388494378	Normal	0.634143479	Normal
1/04/2019	0.784854005	Normal	0.224944873	Normal	0.480894787	Normal
1/05/2019	0.78139334	Normal	0.530271248	Normal	0.450050386	Normal
1/06/2019	-0.019999598	Normal	0.655793417	Normal	0.442057027	Normal
1/07/2019	0.516155478	Normal	0.81936538	Normal	0.420984344	Normal
1/08/2019	-1.014934846	Moderadamente seco	0.68119837	Normal	0.250377611	Normal
1/09/2019	-1.398349172	Moderadamente seco	-0.591647598	Normal	0.211161056	Normal
1/10/2019	-1.613452966	Severo	-1.028422483	Moderadamente seco	-0.011111883	Normal
1/11/2019	-0.680272664	Normal	-0.837116259	Normal	0.225439829	Normal
1/12/2019	1.41575759	Moderadamente húmedo	1.072737204	Moderadamente húmedo	0.987740533	Normal
1/01/2020	1.217215652	Moderadamente húmedo	0.606129382	Normal	0.887432827	Normal
1/02/2020	0.517849256	Normal	0.1053194	Normal	0.457338349	Normal
1/03/2020	-0.373689909	Normal	0.322538597	Normal	0.153142252	Normal
1/04/2020	-0.382828255	Normal	0.251298633	Normal	0.001772364	Normal
1/05/2020	0.110896736	Normal	0.32082862	Normal	-0.003416272	Normal

1/06/2020	-0.601450561	Normal	-0.472243088	Normal	0.037751165	Normal		
1/07/2020	0.571226059	Normal	-0.318728256	Normal	0.00995142	Normal		
1/08/2020	-0.772696533	Normal	-0.002775719	Normal	0.018815137	Normal		
1/09/2020	-0.30442521	Normal	-0.645742155	Normal	0.138514888	Normal		
1/10/2020	-1.353347074	Moderadamente seco		-0.813096018	Normal	0.058883407	Normal	
1/11/2020	-1.633651492	Severo	-1.639139408	Severo	-0.20003918	Normal		
1/12/2020	-1.517616302	Severo	-1.4267048	Moderadamente seco		-1.036122652	Moderadamente seco	
1/01/2021	-0.394087385	Normal	-0.796287066	Normal	-0.641368228	Normal		
1/02/2021	-0.733607402	Normal	-1.389366158	Moderadamente seco		-0.919668471	Normal	
1/03/2021	0.827178225	Normal	-0.026634134	Normal	-0.183052728	Normal		
1/04/2021	1.278902292	Moderadamente húmedo		0.853336792	Normal	0.615988572	Normal	
1/05/2021	2.264893443	Excesivamente húmedo		1.204374832	Moderadamente húmedo		0.64126043	Normal
1/06/2021	2.904674401	Excesivamente húmedo		1.425331823	Moderadamente húmedo		0.630522547	Normal
1/07/2021	0.628364602	Normal	1.323058075	Moderadamente húmedo		0.634892952	Normal	
1/08/2021	-0.890482946	Normal	2.279676785	Excesivamente húmedo		0.646662104	Normal	
1/09/2021	-0.571150426	Normal	2.357309682	Excesivamente húmedo		0.609947637	Normal	
1/10/2021	-0.132287618	Normal	0.131136559	Normal	0.840239033	Normal		
1/11/2021	0.39436012	Normal	0.179922327	Normal	1.172513267	Moderadamente húmedo		
1/12/2021	-0.315799199	Normal	-0.417026609	Normal	1.00640516	Moderadamente húmedo		
1/01/2022	0.112699392	Normal	0.034916957	Normal	1.005284193	Moderadamente húmedo		
1/02/2022	-0.159195878	Normal	0.021077266	Normal	1.464336807	Moderadamente húmedo		
1/03/2022	0.375002108	Normal	0.054180865	Normal	0.686252278	Normal		
1/04/2022	-0.058992799	Normal	-0.094855911	Normal	-0.069385788	Normal		
1/05/2022	-0.045732754	Normal	-0.191535592	Normal	-0.146005811	Normal		
1/06/2022	-0.55356123	Normal	0.204595174	Normal	-0.132707528	Normal		
1/07/2022	-0.022932798	Normal	-0.079108779	Normal	-0.134514823	Normal		
1/08/2022	-0.439444234	Normal	-0.128800005	Normal	-0.11052914	Normal		
1/09/2022	-0.293280922	Normal	-0.602988719	Normal	-0.099193786	Normal		
1/10/2022	-1.78794986	Severo	-1.427437373	Moderadamente seco		-0.401907424	Normal	
1/11/2022	-2.57049705	Extremo seco	-2.345425961	Extremo seco		-0.880414021	Normal	
1/12/2022	-1.598999771	Severo	-1.493990503	Moderadamente seco		-0.474227499	Normal	
1/01/2023	-0.427303377	Normal	-0.951634984	Normal	-0.53904213	Normal		
1/02/2023	1.107201347	Moderadamente húmedo		-0.010926329	Normal	-0.096300524	Normal	
1/03/2023	0.397996776	Normal	-0.47079787	Normal	-0.582786591	Normal		
1/04/2023	0.115067628	Normal	-0.221510926	Normal	-0.525941038	Normal		
1/05/2023	-0.473676968	Normal	0.35045401	Normal	-0.383352871	Normal		
1/06/2023	0.329296979	Normal	0.407028281	Normal	-0.411372123	Normal		
1/07/2023	1.063463545	Moderadamente húmedo		0.232325471	Normal	-0.413468997	Normal	
1/08/2023	-1.192436715	Moderadamente seco		-0.66006971	Normal	-0.426509487	Normal	
1/09/2023	-0.466908685	Normal	0.054764436	Normal	-0.419022435	Normal		
1/10/2023	-0.0089531764	Normal	0.363741479	Normal	-0.119757283	Normal		
1/11/2023	-0.231095883	Normal	-0.455222856	Normal	0.171942905	Normal		
1/12/2023	-0.22176529	Normal	-0.310769169	Normal	0.171315684	Normal		
1/01/2024	-0.071723588	Normal	-0.110813333	Normal	0.101741847	Normal		
1/02/2024	0.237132974	Normal	0.05561159	Normal	-0.340952948	Normal		
1/03/2024	0.790108892	Normal	0.473623918	Normal	0.440039221	Normal		
1/04/2024	0.609152693	Normal	0.389105086	Normal	0.430840199	Normal		
1/05/2024	0.858953128	Normal	0.647253521	Normal	0.427369848	Normal		
1/06/2024	0.389500671	Normal	0.764861222	Normal	0.442834749	Normal		
1/07/2024	1.110813934	Moderadamente húmedo		0.719613766	Normal	0.446026545	Normal	
1/08/2024	-1.309202437	Moderadamente seco		0.737964652	Normal	0.431745633	Normal	
1/09/2024	-1.034457691	Moderadamente seco		-0.102011634	Normal	0.398571451	Normal	
1/10/2024	-0.600149304	Normal	0.006156491	Normal	0.369832409	Normal		
1/11/2024	0.595595781	Normal	0.303273938	Normal	0.6956471	Normal		
1/12/2024	0.666487018	Normal	0.412308258	Normal	0.77952978	Normal		
1/01/2025	1.114666768	Moderadamente húmedo		0.780614772	Normal	0.899486833	Normal	
1/02/2025	0.665927681	Normal	0.806500256	Normal	0.94597049	Normal		
1/03/2025	0.858686256	Normal	0.951239584	Normal	0.846007505	Normal		
1/04/2025	0.844304722	Normal	1.186408464	Moderadamente húmedo		1.05920223	Moderadamente húmedo	
1/05/2025	1.029286529	Moderadamente húmedo		1.012513566	Moderadamente húmedo	1.018746573	Moderadamente húmedo	
1/06/2025	1.393165761	Moderadamente húmedo		1.052368763	Moderadamente húmedo	1.045802093	Moderadamente húmedo	
1/07/2025	0.436851774	Normal	0.869275865	Normal	1.05061134	Moderadamente húmedo		
1/08/2025	-0.308131346	Normal	1.011117537	Moderadamente húmedo		1.089388308	Moderadamente húmedo	
1/09/2025	0.510108628	Normal	1.334060817	Moderadamente húmedo		1.17820637	Moderadamente húmedo	
1/10/2025	0.635083036	Normal	0.658325218	Normal	1.276082265	Moderadamente húmedo		
1/11/2025	0.100654788	Normal	0.012609599	Normal	0.939900122	Normal		
1/12/2025	-1.813899142	Severo	-1.468980183	Moderadamente seco		0.291639113	Normal	

● 7% de similitud general

Principales fuentes encontradas en las siguientes bases de datos:

- 6% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 5% Base de datos de trabajos entregados
- 2% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

FUENTES PRINCIPALES

Las fuentes con el mayor número de coincidencias dentro de la entrega. Las fuentes superpuestas no se mostrarán.

1	apirepositorio.unh.edu.pe Internet	2%
2	Universidad Nacional de Colombia on 2023-11-28 Submitted works	<1%
3	sedici.unlp.edu.ar Internet	<1%
4	Universidad Nacional del Centro del Peru on 2023-11-16 Submitted works	<1%
5	hdl.handle.net Internet	<1%
6	alicia.concytec.gob.pe Internet	<1%
7	repositorio.upsc.edu.pe Internet	<1%
8	repositorio.unh.edu.pe Internet	<1%

9	Universidad Nacional de Huancavelica on 2025-11-13 Submitted works	<1%
10	Universidad Católica Boliviana "San Pablo" on 2024-11-04 Submitted works	<1%
11	repositorio.unjbg.edu.pe Internet	<1%
12	repositorio.unsch.edu.pe Internet	<1%
13	Universidad de Alcalá on 2021-06-29 Submitted works	<1%
14	doczz.net Internet	<1%
15	Universidad Nacional Santiago Antunez de Mayolo on 2025-12-31 Submitted works	<1%
16	Universidad Nacional de Huancavelica on 2021-02-05 Submitted works	<1%
17	coursehero.com Internet	<1%
18	chapingo.uruza.edu.mx Internet	<1%
19	Universidad de Jaén on 2017-12-05 Submitted works	<1%
20	biblioteca.cehum.org Internet	<1%

21	earchive.tpu.ru Internet	<1%
22	repositorio.continental.edu.pe Internet	<1%
23	Coila Quispe, Derly. "Aprendizaje basado en estudio de casos (ABEC) y... Publication	<1%
24	Universidad Peruana Del Centro on 2025-02-08 Submitted works	<1%
25	Universidad Privada del Norte on 2025-11-13 Submitted works	<1%
26	dokumen.pub Internet	<1%
27	repositorio.undac.edu.pe Internet	<1%
28	revistas.uach.cl Internet	<1%
29	USIL-D.A. Fac. Ingenieria: Ing. Ambiental (L. SANTILLAN) on 2025-08-18 Submitted works	<1%
30	ale-musik.blogspot.com Internet	<1%
31	docs.google.com Internet	<1%
32	orcid.org Internet	<1%

33	repositorio.upn.edu.pe Internet	<1%
34	repositorio.ute.edu.ec Internet	<1%
35	mdpi.com Internet	<1%
36	eminente.emi.edu.bo Internet	<1%
37	repositorio.uta.cl Internet	<1%
38	Consortio CIXUG on 2021-07-14 Submitted works	<1%
39	Private University of Pucallpa on 2025-11-29 Submitted works	<1%
40	pt.scribd.com Internet	<1%
41	repositorio.upla.edu.pe Internet	<1%
42	repositorio.unasam.edu.pe Internet	<1%
43	Montaña, Vivian Daniela Sánchez. "Generación de un Modelo Geoespa... Publication	<1%
44	Pontificia Universidad Católica de Chile on 2025-03-27 Submitted works	<1%

45	Universidad Cesar Vallejo on 2026-01-07 Submitted works	<1%
46	Universidad Libre - Sede Bogota on 2026-03-16 Submitted works	<1%
47	Universidad Politécnica del Perú on 2024-10-06 Submitted works	<1%
48	University of Gujrat on 2025-10-06 Submitted works	<1%
49	qdoc.tips Internet	<1%
50	revistas.up.ac.pa Internet	<1%
51	Benigno Duran, Ramón Arteaga, Alejandro Monterroso, Mario Vázquez... Crossref	<1%
52	Integración Moodle Presencial on 2026-03-18 Submitted works	<1%
53	Parajuli, Paridhi. "Curation and Analysis of AI Ready Environmental Jus... Publication	<1%
54	Sancho Knapik, Domingo. "Exploring New Non-Destructive Techniques ... Publication	<1%
55	Universidad Andina Nestor Caceres Velasquez on 2025-04-25 Submitted works	<1%
56	Universidad Católica Boliviana "San Pablo" on 2024-11-04 Submitted works	<1%

57	Universidad Manuela Beltrán Virtual on 2017-08-08 Submitted works	<1%
58	crea.ujaen.es Internet	<1%
59	dle.rae.es Internet	<1%
60	laccei.org Internet	<1%
61	revistas.lamolina.edu.pe Internet	<1%
62	sidof.segob.gob.mx Internet	<1%
63	"Incorporación de los efectos de erupciones volcánicas en modelos es... Internet	<1%
64	Marisa Mazari Hiriart, Paola Massyel GarcíaMeneses, Jesús Adrián Fer... Crossref	<1%
65	Pizano Quispe, Rogelio. "Determinación de frecuencias de sequía en la... Publication	<1%
66	Raúl Yaranga, Karol Maraví, Mariela Román, Drussi Cáceres et al. "Gro... Crossref	<1%
67	Universidad Internacional de la Rioja on 2024-07-18 Submitted works	<1%
68	Universidad Internacional de la Rioja on 2025-01-30 Submitted works	<1%

69	Universidad Nacional Abierta y a Distancia, UNAD,UNAD on 2025-11-23 Submitted works	<1%
70	Universidad Nacional Agraria La Molina on 2023-09-24 Submitted works	<1%
71	Universidad Nacional Daniel Alcides Carrion on 2025-12-18 Submitted works	<1%
72	Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga on 2024-12-13 Submitted works	<1%
73	Universidad Peruana Del Centro on 2025-02-08 Submitted works	<1%
74	Universidad Santo Tomas on 2025-06-05 Submitted works	<1%
75	Universidad TecMilenio on 2024-02-14 Submitted works	<1%
76	Universidad de Guadalajara - Posgrados on 2026-02-20 Submitted works	<1%
77	Universidad del Valle de Guatemala on 2026-02-16 Submitted works	<1%
78	Universitat Politècnica de València on 2022-09-06 Submitted works	<1%
79	Vicente Serrano, Sergio Martin. "Spatial and temporal evolution of drou..." Publication	<1%
80	archimer.ifremer.fr Internet	<1%

81	aventuravila.blogspot.com Internet	<1%
82	ddb14c24-f630-4ad3-9cc5-fa2b99d8ac4e.filesusr.com Internet	<1%
83	es.scribd.com Internet	<1%
84	ouci.dntb.gov.ua Internet	<1%
85	pdfs.semanticscholar.org Internet	<1%
86	repositorio.unal.edu.co Internet	<1%
87	repositorio.unas.edu.pe Internet	<1%
88	repositorio.upse.edu.ec Internet	<1%
89	tesis.unap.edu.pe Internet	<1%
90	uaeh.redalyc.org Internet	<1%
91	unhuancavelica on 2025-02-05 Submitted works	<1%
92	vsip.info Internet	<1%

93

scilit.net

Internet

<1%



UNH

UNIVERSIDAD NACIONAL DE
HUANCAVELICAESCUELA PROFESIONAL DE
INGENIERIA AMBIENTAL Y SANITARIAFirmado digitalmente por DUEÑAS
JURADO Carlos FAU 20168014962
soft
Cargo: Director(A) De Escuela
Profesional
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 28.04.2026 08:45:04 -05:00"Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres"
"Año de la Esperanza y el Fortalecimiento de la Democracia"

Huancavelica, 28 de Abril del 2026

MEMORANDO MULTIPLE N° 000016-2026-UNH/EPIAS

Señores:

PEDRO ANTONIO PALOMINO PASTRANA
DOCENTE NOMBRADO
DEPARTAMENTO ACADEMICO DE INGENIERIA AMBIENTAL Y SANITARIA

CESAR CASTAÑEDA CAMPOS
DOCENTE NOMBRADO
DEPARTAMENTO ACADEMICO DE INGENIERIA AMBIENTAL Y SANITARIA

CARLOS DUEÑAS JURADO
DOCENTE NOMBRADO
DEPARTAMENTO ACADEMICO DE INGENIERIA AMBIENTAL Y SANITARIA

JORGE LUIS HUERE PEÑA
DIRECTOR(A) DE DEPARTAMENTO ACADÉMICO
DEPARTAMENTO ACADEMICO DE INGENIERIA AMBIENTAL Y SANITARIA

WILFREDO SÁEZ HUAMÁN
DOCENTE NOMBRADO
DEPARTAMENTO ACADEMICO DE INGENIERIA AMBIENTAL Y SANITARIA

**ASUNTO: DESIGNACIÓN DE JURADOS PARA INFORME FINAL DE TESIS.**

Fecha elaboración: Huancavelica, 28 de Abril de 2026

Por medio del presente me dirijo a Ustedes, de mi especial consideración y estima personal, al mismo tiempo en atención al documento de la referencia se designa como jurados evaluadores del Informe Final de Tesis "**DISPONIBILIDAD HÍDRICA DE BOFEDALES DE LA CUENCA RÍO ICHU Y SU RELACIÓN CON SEQUÍAS PARA LA CIUDAD DE HUANCAVELICA, 2025**" presentado por: **JHON EVERSON DE LA CRUZ CASTRO**; para su respectiva evaluación de acuerdo al del Reglamento de Grados y Títulos de la UNH., de acuerdo al siguiente detalle:

PEDRO ANTONIO PALOMINO PASTRANA
CESAR CASTAÑEDA CAMPOS
CARLOS DUEÑAS JURADO
JORGE LUIS HUERE PEÑA
WILFREDO SÁEZ HUAMÁN

PRESIDENTE
SECRETARIA
VOCAL
ACCESITARIO 1
ACCESITARIO 2

Hago propicia la oportunidad para expresarle el testimonio de mi especial consideración y estima personal.

Atentamente,

Documento Firmado Digitalmente

CARLOS DUEÑAS JURADO
DIRECTOR(A) DE ESCUELA PROFESIONAL
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA AMBIENTAL Y SANITARIA

CDJ/hcq

N° Expediente: EPIAS020260000167



"Esta es una copia auténtica imprimible de un documento electrónico archivado por la Universidad Nacional de Huancavelica, aplicando lo dispuesto por el Art. 25 de D.S. 070-2013-PCM y la Tercera Disposición Complementaria Final del D.S. 026-2016-PCM".
Su autenticidad e integridad pueden ser contrastadas a través.
Dirección web: <https://sgd.unh.edu.pe:8181/verifica/inicio.do>
Código de Verificación: **WCC3W8N**



UNIVERSIDAD NACIONAL DE
HUANCAVELICA

ESCUELA PROFESIONAL DE
INGENIERIA AMBIENTAL Y SANITARIA

"Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres"
"Año de la Esperanza y el Fortalecimiento de la Democracia"

ANEXO N° 01
DESTINATARIOS DE LA MEMORANDO MULTIPLE



N° Expediente: EPIAS020260000167



"Esta es una copia auténtica imprimible de un documento electrónico archivado por la Universidad Nacional de Huancavelica, aplicando lo dispuesto por el Art. 25 de D.S. 070-2013-PCM y la Tercera Disposición Complementaria Final del D.S. 026-2016-PCM".
Su autenticidad e integridad pueden ser contrastadas a través.
Dirección web: <https://sgd.unh.edu.pe:8181/verifica/inicio.do>
Código de Verificación: **WCC3W8N**

UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCVELICA

(Creada por ley N° 25265)

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y

SANITARIA



TESIS:

“Análisis de la disponibilidad de agua superficial de los bofedales de la cuenca del río Ichu y su relación con el riesgo de sequías en la ciudad de Huancavelica, para el año 2025”

LINEA DE INVESTIGACIÓN:

INVESTIGACIÓN CLIMÁTICA

PRESENTADO POR:

Bach. DE LA CRUZ CASTRO, Jhon Everson

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO AMBIENTAL Y SANITARIO

HUANCAVELICA – PERÚ

2025

INDICE GENERAL

INDICE GENERAL.....	ii
INDICE DE TABLAS.....	v
INDICE DE FIGURAS.....	vii
INTRODUCCIÓN	xi
CAPITULO I PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	13
1.1.Descripción del problema.....	13
1.2.Formulación del problema.....	15
1.2.1.Problema general.....	15
1.2.2.Problemas específicos	16
1.3. Objetivos	16
1.3.1. Objetivo general.....	16
1.4. Justificación.....	17
1.4.1. Social.....	17
1.4.2. Ambiental.....	17
1.4.3. Práctico	18
CAPITULO II MARCO TEÓRICO	19
2.1. Antecedentes.....	19
2.1.1. A nivel internacional	19
2.1.2. A nivel nacional.....	26
2.1.3. A nivel local	34
2.2. Bases teóricas	36
2.2.1. Teoría del Cambio climático	36
2.2.1. Teoría del ciclo hidrológico	40
2.2.2. Teoría no paramétrica en sistemas naturales	45
2.2.2. Propagación de Sequías	46
2.2.3. Tipología de las Sequías.....	47
2.2.4. Análisis multiescalar de sequias.....	48
2.2.5. Índices espectrales en teledetección hidrológica	50
2.2.6. Regulación hidrológica de humedales altoandinos.....	51

2.2.8. Análisis de tendencias en series hidro climáticas.....	53
2.3. Definición de términos	54
2.3.1. Bofedales.....	54
2.3.2. Cuenca hidrográfica	54
2.3.3. Déficit hídrico	55
2.3.4. Disponibilidad de agua superficial.....	55
2.3.5. Índice Estandarizado de Precipitación (SPI).....	55
2.3.6. Índice Normalizado de Agua (NDWI)	56
2.3.7. Proyecciones climáticas	56
2.3.8. Resiliencia.....	56
2.3.9. Riesgo de sequía	56
2.3.10. Sequía.....	57
2.3.11. Sistema de Información Geográfica (SIG).....	57
2.4. Hipótesis.....	57
2.4.1. Hipótesis general.....	57
2.4.2. Hipótesis específica.....	58
2.5. Variables	58
2.5.1. Variable Dependiente	58
2.5.2. Variable Independiente.....	58
2.6. Operacionalización de variables.....	59
CAPITULO III MATERIALES Y MÉTODOS	61
3.1. Ámbito temporal y espacial.....	61
3.1.1. Ámbito temporal	61
3.1.2. Ámbito espacial	61
3.2. Tipo de investigación.....	64
3.3. Nivel de investigación	64
3.4. Métodos de investigación	64
3.4.1. Método general	64
3.4.2. Método específico	65
3.5. Diseño de investigación.....	65
3.6. Población, muestra y muestreo.....	66
3.6.1. Población de investigación.....	66

3.6.2. Muestra de investigación	66
3.6.3. Muestreo de la investigación.....	68
3.7. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	68
3.7.1. Técnica de recolección de datos.....	68
3.7.2. Instrumento de recolección de datos	69
3.8. Técnica de procesamiento y análisis de datos	70
3.8.1. Técnicas de procesamiento	70
3.8.2. Análisis de datos	72
CAPITULO IV DISCUSIÓN DE RESULTADOS	73
4.1. Análisis de información.....	73
4.1.1. Procesamiento de datos satelitales	73
4.1.2. Procesamiento de datos meteorológicos	80
4.1.3. Integración geoespacial y análisis multitemporal	89
4.1.4. Análisis estadístico y correlacional	94
4.1.5. Análisis de tendencias y evaluación de escenarios	102
4.2. Prueba de hipótesis.....	110
4.2.1. Proceso de prueba de normalidad	110
4.2.1. Proceso de prueba de hipótesis	111
4.3 Discusión de resultados	116
CONCLUSIONES	119
RECOMENDACIONES	121
REFERENCIAS BIBLOGRAFICAS	122
ANEXOS	138
Matriz de Consistencia.....	140

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Evidencias y mecanismos en el cambio climático	39
Tabla 2 Función de los componentes hidrológicos	43
Tabla 3 Factores y mecanismos del ciclo hidrológico.....	44
Tabla 4 Métodos no paramétricos en ciencias naturales	46
Tabla 5 Clasificación de sequías	47
Tabla 6 Aplicación de escalas del SPI.....	49
Tabla 7 Índices espectrales de uso común.....	50
Tabla 8 Componentes hídricos de humedales altoandinos.....	52
Tabla 9 Factores de degradación en humedales altoandinos.....	53
Tabla 10 Comparación de métodos de análisis de tendencias.....	53
Tabla 11 Cuadro de operacionalización de variables	59
Tabla 12 Coordenadas UTM de puntos monitoreados en la Subcuenca media del río Ichu.....	74
Tabla 13 Generalidades del uso del sensor remoto Sentinel - 2.....	75
Tabla 14 Lista de bandas espectrales del satélite Sentinel – 2	76
Tabla 15 Intervalos de valores y clasificación para el NDWI.....	77
Tabla 16 Intervalos de valores y clasificación para el NDVI.....	78
Tabla 17 Intervalos de valores y clasificación para el NDMI	78
Tabla 18 Valores de NDWI, NDVI, NDMI de los puntos de monitoreo obtenidos por geoprocesamiento (Subcuenca media preurbana del río Ichu)	79
Tabla 19 Descripción de funciones de la plataforma CHIRPS	80
Tabla 20 Datos de precipitación mensual (mm/mes) desde el año 1990 al 2025 para el área de estudio (Subcuenca media preurbana del río Ichu).....	82
Tabla 21 Valores y clasificación del Índice de Precipitación Estandarizado (SPI) ...	84

Tabla 22 Materiales y dimensiones para el aforamiento de caudal superficial.....	89
Tabla 23 Valores de los caudales (m ³ /s) determinados en el monitoreo de campo (Subcuenca media preurbana del río Ichu)del periodo mayo-diciembre del 2025	90
Tabla 24 Clasificación para los valores de caudales hallados.....	91
Tabla 25 Valores promedios de índices espectrales (NDWI, NDVI, NDMI), Caudal y clasificación correspondiente al periodo mayo-diciembre del 2025 (Subcuenca media preurbana del río Ichu).....	93
Tabla 26 Resultados de prueba de Grubss para el NDWI, Caudal y escalas de SPI. 95	
Tabla 27 Estadística descriptiva de las variables en los puntos de monitoreo	96
Tabla 28 Resultados Test Mann – Kendall +Sen para el NDWI en el periodo mayo-diciembre del 2025.....	103
Tabla 29 Resultados Test Mann – Kendall +Sen para el Caudal del periodo mayo-diciembre del 2025.....	105
Tabla 30 Resultados Test Mann – Kendall +Sen para el SPI-6 del periodo mayo-diciembre del 2025.....	107
Tabla 31 Prueba de normalidad para las variables de estudio.....	110
Tabla 32 Prueba estadística para la hipótesis general.....	112
Tabla 33 Prueba estadística no paramétrica para hipótesis especifica 1	113
Tabla 34 Prueba estadística no paramétrica para hipótesis especifica 2	114
Tabla 35 Prueba estadística no paramétrica para hipótesis especifica 3	115

INDICE DE FIGURAS

Figura 1 Balance radiativo terrestre	38
Figura 2 Cambios de escorrentía en respuesta al calentamiento atmosférico continuo	40
Figura 3 Dinámica del ciclo hidrológico.....	42
Figura 4 Prolongación de una sequía meteorológica a una hidrológica	49
Figura 5 Teledetección aplicada a recursos hídricos.....	51
Figura 6 Ubicación geográfica del área de estudio (Subcuenca media preurbana del río Ichu).....	62
Figura 7 Hidrografía del área de estudio (Subcuenca media preurbana del río Ichu)	63
Figura 8 Selección de bofedales para su estudio (Subcuenca media preurbana del río Ichu) en el periodo 2025	67
Figura 9 Delimitación del área de estudio (Subcuenca media preurbana del río Ichu)	74
Figura 10 Media mensual histórica de precipitaciones (1990-2025) para el área de estudio (Subcuenca media preurbana del río Ichu).....	81
Figura 11 Índice de Precipitación Estandarizado a escala de 3 meses (SPI-3) (1990-2025) para la Subcuenca media preurbana del río Ichu	86
Figura 12 Índice de Precipitación Estandarizado a escala de 6 meses (SPI-6) (1990 – 2025) para la Subcuenca media preurbana del río Ichu	87
Figura 13 Índice de Precipitación Estandarizado a escala de 12 meses (SPI-12) (1990-2025) para la Subcuenca media preurbana del río Ichu	88
Figura 14 Boxplot obtenidos para el NDWI, Caudal y escalas de SPI del periodo mayo-diciembre de 2025 en la Subcuenca media preurbana del río Ichu.....	94
Figura 15 Series temporales (NDWI, Caudal, SPI) en el 2025 para la Subcuenca media preurbana del río Ichu.....	98

Figura 16 Análisis de correlación entre el NDWI – SPI-6 (Variable independiente – variable dependiente) del periodo mayo-diciembre del 2025	99
Figura 17 Análisis de correlación entre el NDWI – Caudal en el periodo mayo-diciembre del 2025	100
Figura 18 Análisis de correlación del Caudal y el SPI-6 (variable independiente – variable dependiente) para el periodo mayo-diciembre del 2025	101
Figura 19 Tendencias para el NDWI del periodo mayo-diciembre del 2025 para la Subcuenca media preurbana del río Ichu	102
Figura 20 Tendencias para el Caudal del periodo mayo-diciembre del 2025 para la Subcuenca media preurbana del río Ichu	104
Figura 21 Tendencias para el SPI-6 del periodo mayo-diciembre del 2025 para la Subcuenca media preurbana del río Ichu	106
Figura 22 Evaluación de escenarios del SPI-6 al 2030 para la Subcuenca media preurbana del río Ichu	108
Figura 23 Respuestas del NDWI, Caudal según categorías del SPI frente a escenarios proyectados hacia el 2030	109
Figura 24 Mapa de ubicación y accesibilidad a los puntos de monitoreo	143
Figura 25 Cálculo de NDWI, NDVI y NDMI realizado el 14/05/2025 (Subcuenca media preurbana del río Ichu)	144
Figura 26 Cálculo de NDWI, NDVI y NDMI realizado el 29/05/2025 (Subcuenca media preurbana del río Ichu)	145
Figura 27 Cálculo de NDWI, NDVI y NDMI realizado el 13/06/2025 (Subcuenca media preurbana del río Ichu)	146
Figura 28 Cálculo de NDWI, NDVI y NDMI realizado el 23/06/2025 (Subcuenca media preurbana del río Ichu)	147
Figura 29 Cálculo de NDWI, NDVI y NDMI realizado el 10/07/2025 (Subcuenca media preurbana del río Ichu)	148

Figura 30 _Cálculo de NDWI, NDVI y NDMI realizado el 23/07/2025 (Subcuenca media preurbana del río Ichu)	149
Figura 31 _Cálculo de NDWI, NDVI y NDMI realizado el 07/08/2025(Subcuenca media preurbana del río Ichu)	150
Figura 32 _Cálculo de NDWI, NDVI y NDMI realizado el 19/08/2025 (Subcuenca media preurbana del río Ichu)	151
Figura 33 _Cálculo de NDWI, NDVI y NDMI realizado el 08/09/2025 (Subcuenca media preurbana del río Ichu)	152
Figura 34 _Cálculo de NDWI, NDVI y NDMI realizado el 21/09/2025 (Subcuenca media preurbana del río Ichu)	153
Figura 35 _Cálculo de NDWI, NDVI y NDMI realizado el 31/10/2025 (Subcuenca media preurbana del río Ichu)	154
Figura 36 _Cálculo de NDWI, NDVI y NDMI realizado el 20/11/2025 (Subcuenca media preurbana del río Ichu)	155
Figura 37 _Cálculo de NDWI, NDVI y NDMI realizado el 05/12/2025 (Subcuenca media preurbana del río Ichu)	156
Figura 38 _Cálculo de NDWI, NDVI y NDMI realizado el 20/12/2025 (Subcuenca media preurbana del río Ichu)	157
Figura 39 Medición de caudal (Subcuenca media preurbana del río Ichu).....	158
Figura 40 _Cálculo matemático de caudal	159
Figura 41 _Obtención de datos de precipitación (1990 – 2025) en RStudio para la (Subcuenca media preurbana del río Ichu).....	160
Figura 42 _Obtención de precipitación mensual (1990 - 2025) en el área de estudio (Subcuenca media preurbana del río Ichu) en RStudio.....	160
Figura 43 _Obtención del SPI (1990 – 2025) para la Subcuenca media preurbana del río Ichu en RStudio	161
Figura 44 _Validación de datos en RStudio de variables hidro climáticas periodo mayo – diciembre del 2025 para la Subcuenca media preurbana del río Ichu.....	161

Figura 45	Análisis de correlación de variables RStudio.....	162
Figura 46	Evaluación de escenario del SPI-6 hacia el 2030 en RStudio para la Subcuenca media preurbana del río Ichu	162
Figura 47	Base de datos obtenidos para los puntos de monitoreo del periodo mayo – diciembre del 2025 para el área de estudio (Subcuenca media preurbana del río Ichu)	163
Figura 48	Base de datos obtenidos para SPI y proyección de escenarios.	164

INTRODUCCIÓN

El agua constituye un recurso esencial para la vida, el equilibrio ecológico y el desarrollo de las sociedades; sin embargo, su disponibilidad se ve progresivamente afectada por la variabilidad climática, el uso ineficiente y la degradación ambiental (Villalobos, 2008). En el Perú, los ecosistemas altoandinos cumplen un rol estratégico en la regulación hídrica al almacenar y liberar agua de manera gradual, contribuyendo al abastecimiento poblacional y al equilibrio hidrológico de las cuencas (Instituto Nacional de Investigación y Ecosistemas de Montaña, 2023). Investigaciones recientes relacionan que el retroceso glaciar y las modificaciones en los índices de precipitaciones están aumentando la desestabilidad hídrica en las cuencas altoandinas, esto a su vez conlleva a la frecuencia de eventos extremos como sequías e inundaciones (Instituto Geofísico del Perú, 2010).

Los bofedales y humedales altoandinos son considerados sistemas eco hidrológicos fundamentales para la regulación del agua dependiendo de la estación y temporadas climáticas contribuyen al ciclo hidrológico del agua almacenándola o liberándola (Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña, 2023). La ciudad de Huancavelica depende directamente de los aportes hídricos provenientes de la cuenca del río Ichu, donde la disponibilidad de agua superficial está condicionada por procesos climáticos y por la funcionalidad hidrológica de los ecosistemas altoandinos. La intensificación de periodos secos y la evidencia de reducción en la regulación hídrica durante el estiaje evidencian la necesidad de comprender la dinámica de disponibilidad de agua superficial en estos sistemas y su relación con el riesgo de sequías (Ayala Bizarro, 2020).

Ante el incremento en la severidad de las sequías, se hace evidente la falta de estudios que relacionen la disponibilidad hídrica superficial de los ecosistemas altoandinos con eventos extremos en la cuenca del río Ichu. Investigar la disminución de este recurso y proyectar su comportamiento ante escenarios climáticos críticos es fundamental para entender y mitigar los impactos de los fenómenos severos actuales

La presente investigación tiene como finalidad analizar la disponibilidad de agua superficial en los bofedales de la cuenca del río Ichu y su relación con el riesgo de sequías en la ciudad de Huancavelica para el año 2025, mediante el uso de indicadores espectrales de humedad y el Índice Estandarizado de Precipitación como indicador de variabilidad climática.

El informe de investigación se estructura en cinco capítulos. El Capítulo I desarrolla el planteamiento del problema, la formulación de objetivos y la justificación científica del estudio en el contexto hidrológico de la cuenca analizada. El Capítulo II sistematiza los fundamentos teóricos y los antecedentes científicos sobre disponibilidad hídrica en ecosistemas altoandinos, eco hidrología de bofedales y sequía meteorológica, estableciendo el marco conceptual que sustenta el análisis. El Capítulo III define el enfoque metodológico de la investigación, describiendo el diseño de estudio, la delimitación del área de análisis, los procedimientos de obtención de índices espectrales de humedad, el cálculo del Índice Estandarizado de Precipitación, las mediciones de caudal superficial y la aplicación de pruebas estadísticas no paramétricas para el análisis de tendencias, correlaciones y diferencias entre escenarios climáticos. El Capítulo IV presenta el procesamiento de la información, la evaluación temporal de la disponibilidad de agua superficial, el análisis de la relación entre variables hidrológicas y climáticas y la discusión de los resultados en el marco de la dinámica hidrológica de los bofedales. Finalmente, el Capítulo V sintetiza los hallazgos mediante conclusiones técnicas y establece recomendaciones orientadas a la gestión hídrica y al desarrollo de investigaciones futuras en la ciudad de Huancavelica.

CAPITULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Descripción del problema

Contemporáneamente el acceso al agua está manifestando problemas globales. Se entiende que este recurso es esencial para la vida pues contribuye también al desarrollo social; el crecimiento poblacional, el cambio climático, el uso inadecuado de agua y el crecimiento poblacional son variables que afectan directamente al riesgo de disponibilidad de este recurso, mostrando su disminución a ritmo preocupante (Centro Nacional de Planeamiento Estratégico, 2023).

Según la Organización de las Naciones Unidas (ONU), el mundo ya enfrenta a la actualidad problemas en la gestión y escasez hídrica, lo cual indica que más de 2.300 millones de personas en el mundo están incluidas a esta problemática, proyectado al año 2050, más del 50 % de la población global subsistirá en condiciones de estrés hídrico severo (Li, 2023), este escenario muestra severidad en las zonas de alta montaña, donde los glaciares, humedales y bofedales son ecosistemas que regulan el agua, estos a su vez, muestran ya un panorama de alteraciones significativas debido al aumento de la temperatura global y los cambios en los patrones de precipitación (Santa Cruz et al., 2022). Justamente los humedales altoandinos vienen a ser uno de los ecosistemas afectados por el cambio climático, estos ecosistemas regulan el ciclo hidrológico, ya que capturan, almacenan agua en las temporadas de pluviosidad y las

liberan a manera gradual en temporadas de estiaje o sequía, su deterioro a nivel mundial está conllevando graves consecuencias para la seguridad hídrica a las poblaciones que están dependientes de estos ecosistemas (Morales Saravia, 2019). Según la Organización Meteorológica Mundial (OMM), la temperatura global está aumentando lo cual conlleva a la evaporación del agua en los humedales de las montañas, que a su vez contribuye a la disminución de las precipitaciones lo cual desempeña al desequilibrio en la disponibilidad hídrica (Llosa et al., 2009).

En el nivel nacional, Perú presenta una geografía compleja y la distribución de los recursos hídricos muestra un panorama desigual, la crisis del agua tiende a ser un problema creciente, nuestro país contiene importantes fuentes de agua dulce, a pesar de su gran cantidad su distribución es de manera desigual, claro está, la región costa mantiene mayores índices de población pero presenta escasez crónica de agua y caso inverso en la región sierra y selva, mantienen fuentes naturales como glaciares, ríos, quebradas, nevados y bofedales o también denominados como humedales altoandinos (Autoridad Nacional del Servicio Civil, 2021). Sin embargo, fenómenos como El Niño y la Niña a esto atribuimos el cambio climático, están influyendo en el cambio de patrones de las variables meteorológicas y conlleva también a la frecuencia de eventos extremos, ejemplos como la desglaciación acelerada, impactos en los patrones de precipitación y hasta la frecuencia o aumento de sequías, han mantenido alerta a la sostenibilidad hídrica en muchas poblaciones y comunidades (Pabón Caicedo & Montealegre Bocanegra, 2017). Según datos del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI) y la Autoridad Nacional del Agua (ANA), varias regiones altoandinas están registrando disminución en la disponibilidad de agua superficial, lo que afecta a la producción agrícola, la producción ganadería y el abastecimiento de agua hacia su consumo (Autoridad Nacional del Agua, 2010).

La región de Huancavelica, considerada como una región vulnerable del país enfrenta una crisis hídrica que va en aumento debido a la disminución del agua en sus fuentes naturales, una de las fuentes que abastece a la capital es el río Ichu, su dinámica hidrológica depende en gran medida de los bofedales y de los glaciares Antarazu, Huamanrazu y Ccarhuarazu que contribuyen a su formación y se consolidan dentro de

su cuenca, pero hacia los últimos años, se está observando una disminución progresiva en la disponibilidad de agua superficial en los bofedales, esto genera una preocupación sobre el futuro de abastecimiento hídrico a la ciudad de Huancavelica (Ayala Bizarro, 2020). El decrecimiento del agua en los bofedales puede estar relacionada con diversos factores, como la variabilidad climática, el incremento de la temperatura, los cambios en los patrones de precipitación y la degradación del suelo. La falta de lluvias en ciertas temporadas y la reducción en la capacidad de almacenamiento de los bofedales están generando un mayor riesgo de sequías (Ñahui Martínez, 2021b), lo que podría afectar de manera directa la disponibilidad de agua para consumo humano, agrícola y ganadero en la región.

Por lo tanto, ante la creciente incertidumbre sobre la seguridad hídrica en la región y primordial en la ciudad de Huancavelica, se hace necesario realizar una investigación que analice la disponibilidad de agua superficial en los bofedales de la cuenca del río Ichu y su relación con el riesgo de sequías, para el año 2025. Esta investigación permitirá generar información puntual para la toma de decisiones en materia de gestión del agua y por supuesto a la adaptación al cambio climático, contribuyendo a la formulación de estrategias para garantizar la sostenibilidad hídrica en Huancavelica y otras regiones altoandinas que enfrentan problemáticas similares.

1.2. Formulación del problema

1.2.1. Problema general

¿Cómo influye la disponibilidad de agua superficial de los bofedales de la cuenca del río Ichu en el riesgo de sequías que enfrenta la ciudad de Huancavelica, considerando las variaciones estacionales proyectado en el año 2025?

1.2.2. Problemas específicos

1.2.2.1. Problema específico 1.

¿Cuál es el estado actual de conservación de los bofedales en la cuenca del río Ichu y cómo se manifiesta su disponibilidad de agua superficial durante el año?

1.2.2.2. Problema específico 2.

¿Existe una correlación significativa entre la disponibilidad de agua superficial de los bofedales y el Índice de Sequía Estandarizado (SPI) para la ciudad de Huancavelica?

1.2.2.3. Problema específico 3.

¿Cuáles son las proyecciones de disponibilidad de agua de los bofedales y el del riesgo de sequías en la ciudad de Huancavelica para los próximos 5 años?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Analizar la disponibilidad de agua superficial de los bofedales de la cuenca del río Ichu y su influencia en el riesgo de sequías para la ciudad de Huancavelica, considerando las variaciones estacionales proyectado en el año 2025.

1.2.3.1. Objetivo específico 1.

Evaluar la conservación actual de los bofedales en la cuenca del río Ichu y determinar su disponibilidad de agua superficial durante el periodo 2025.

1.2.3.2. Objetivo específico 2.

Determinar la magnitud de la correlación entre la disponibilidad de agua superficial de los bofedales y el Índice de Sequía Estandarizado para la ciudad de Huancavelica.

1.2.3.3. Objetivo específico 3.

Estimar proyecciones y proponer escenarios futuros de disponibilidad de agua superficial de los bofedales y el riesgo de sequias en la ciudad de Huancavelica para los periodos a 5 años.

1.4. Justificación

En los últimos años, la disponibilidad de agua se mantiene como un factor determinante para la sostenibilidad ambiental en nuestro país. No obstante, las fuentes o cuerpos que garantizan el abastecimiento hídrico están experimentando alteraciones críticas en sus regímenes estables. Dado que los ríos se originan en las zonas altoandinas, es importante la evaluación consistente de los ecosistemas que los sustentan. Los bofedales o humedales altoandinos destacan por su función de regulación y almacenamiento de agua, pero el incremento de actividades antrópicas y el cambio climático degradan sus capacidades y aporte a la seguridad hídrica. El incremento de insolación, prolongación de sequias y cambios en la dinámica de las precipitaciones están generando preocupación lo cual induce a estudiar a carácter científico estos fenómenos.

1.4.1. Social

El estudio demuestra que el acceso al agua es fundamental para el desarrollo de la población de Huancavelica, el identificar los factores que provocan la reducción de agua permite proponer soluciones de rigurosidad científica hacia la seguridad hídrica en las siguientes generaciones.

1.4.2. Ambiental

Esta investigación evaluará el estado actual de los humedales altoandinos (bofedales) y su tendencia de variabilidad de agua disponible. Estos ecosistemas, situados en cabeceras de cuenca no solo sustentan el abastecimiento de agua, sino que actúan como sumideros de carbono y habitas esenciales para la biodiversidad, la degradación de estos ecosistemas aumenta su vulnerabilidad a fenómenos

meteorológicos extremos, por ello esta investigación identifica los efectos del cambio climático y su importancia de mantener el equilibrio ambiental.

1.4.3. Práctico

Los resultados de esta investigación tendrán utilidad para investigaciones consecutivas y para algunos organismos públicos de interés, informando de la toma de decisiones que se pueden concretar e implementar medidas de adaptación, orientar el uso eficiente del recurso y fortalecer la gestión técnica en la cuenca del río Ichu.

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

2.1.1. A nivel internacional

Pérez et al. (2024), realizaron un estudio en la cuenca del río Guachal (GRB) en el departamento del Valle del Cauca, Colombia denominado *Disentangling the socio-natural dynamics of drought and water scarcity in Colombia's Tropical Andes*, el estudio determino que la problemática no es solo climática, sino resultados de cambios en uso del suelo y el consumo excesivo de agua por parte de sectores económicos dominantes dedicados en la producción de caña de azúcar, estos factores antropogénicos, sumados a las sequias intensificadas por el fenómeno El Niño (ENSO), exacerbaron la crisis en la región. La investigación critica las respuestas políticas actuales por ser reactivas e ineficaces ante los impulsores estructurales de largo plazo y para mejorar la gestión se propuso nuevos indicadores de sequía, inventario de daños y mecanismos de control de demanda. Finalmente destacaron la necesidad de integrar los sistemas humanos y naturales para fortalecer la ciencia de la sequía y participación social.

Belay et al. (2024), realizaron un trabajo de investigación titulado *Estimation of spatially distributed groundwater recharge in data-scarce regions*, donde evaluaron métodos de estimación de recarga de aguas subterráneas en la cuenca alta del río Beles, Etiopía, una zona con limitados datos hidrometeorológicos. Aplicaron los enfoques WetSpass, Fluctuación del Nivel Freático (WTF) y Balance de Masa de Cloruros (CMB), integrando sensores remotos y mediciones in situ. Los resultados revelaron variabilidad espacial con promedios anuales de 420 mm, 308 mm y 365 mm, respectivamente. Se halló una correlación del 72 % entre WetSpass y WTF, validando la utilidad de datos satelitales en regiones con escasas estaciones. El estudio determinó que la recarga es influenciada por el uso del suelo, la pendiente y la precipitación según la zona. Finalmente, se concluyó que la teledetección mejora la precisión de las estimaciones, siendo clave para la gestión sostenible en áreas vulnerables.

Romero Calle & Vera Chávez (2023), realizaron un estudio titulado *Evaluación del agua subterránea de bofedales para la provisión de agua en la comunidad Micaya*, analizaron la disponibilidad y sostenibilidad del agua subterránea en los bofedales de la comunidad Micaya, en el altiplano boliviano. Mediante un enfoque integral que incluyó balances hídricos, ensayos geotécnicos y geofísicos, el estudio determinó una creciente escasez hídrica causada por la reducción de la recarga natural y el retroceso glaciar. Los resultados revelaron déficits hídricos significativos en periodos secos y una capacidad limitada de los suelos para retener agua a largo plazo. Se identificó que estos humedales dependen críticamente del flujo subterráneo, por lo que su sobreexplotación aceleraría la degradación del ecosistema. Ante estos hallazgos, los autores enfatizaron la necesidad de implementar infraestructuras de captación y estrategias de manejo sostenible. Finalmente, resaltaron la importancia de integrar estudios hidrogeológicos en la planificación local para garantizar un uso eficiente del recurso en zonas de alta vulnerabilidad climática.

Chávez et al. (2023), en su investigación titulada *Andean peatlands at risk? Spatiotemporal patterns of extreme NDVI anomalies, water extraction and drought severity in a large-scale mining area of Atacama, northern Chile*, analizaron los patrones espacio - temporales de anomalías extremas del NDVI, la extracción de agua

y la severidad de la sequía en Atacama, Chile. Mediante el uso de imágenes Landsat (1986-2018), evaluaron 442 bofedales identificando cambios críticos en su productividad. La metodología integró el índice climático SPEI con la distribución geoespacial de derechos de agua otorgados a la industria extractiva. Los resultados revelaron que el NDVI del verano austral se correlacionó significativamente con la severidad de la sequía durante el pico de la temporada de crecimiento. Se concluyó que, aunque la precipitación y la temperatura influyen mayormente en la productividad, el aumento histórico en la extracción de agua plantea riesgos de degradación a largo plazo. Este estudio destaca la vulnerabilidad de los humedales altoandinos frente a la presión industrial y climática, subrayando la importancia de monitorear anomalías extremas para su conservación.

Jafarzadeh et al. (2022), en su trabajo de investigación titulado *Remote Sensing and Machine Learning Tools to Support Wetland Monitoring: A Meta-Analysis of Three Decades of Research*, realizaron una revisión sistemática de tres décadas de investigación sobre el uso de sensores remotos y aprendizaje automático en el monitoreo de humedales. Al evaluar 344 estudios, determinaron que la combinación de datos satelitales con algoritmos avanzados mejoró significativamente la precisión en la clasificación de cobertura y detección de cambios. El estudio destacó que el uso de imágenes multiespectrales y de radar (SAR), con modelos de aprendizaje profundo, optimizó la observación incluso ante nubosidad. Asimismo, se evidenció una tendencia hacia el uso de plataformas como Google Earth Engine para el procesamiento masivo de datos. La investigación concluyó que el monitoreo efectivo requiere la integración de múltiples fuentes de información para la conservación de estos ecosistemas. Finalmente, resaltaron la necesidad de políticas públicas que fomenten la teledetección en la planificación ambiental y la gestión de recursos vulnerables.

Bustos Castelblanco (2021), en su investigación titulada *Análisis de la disponibilidad hídrica superficial en la cuenca alta y media del río La Vieja bajo escenarios de cambio climático*, evaluó la disponibilidad hídrica superficial en la cuenca del río La Vieja bajo escenarios de cambio climático y variaciones en el uso del suelo. Utilizó herramientas hidroinformáticas y Modelos de Circulación General,

calibrados mediante la eficiencia de Nash - Sutcliffe, para simular la oferta hídrica futura. Los hallazgos determinaron que la escasez no depende de la cantidad total de agua, sino de su distribución temporal, con déficits críticos en periodos secos. Se identificó que municipios como Armenia y Quimbaya presentan déficit hídrico persistente en todas las proyecciones realizadas. El estudio concluyó que la variabilidad climática impacta directamente en la estabilidad del recurso, sugiriendo medidas como la reforestación y la construcción de infraestructura de almacenamiento. Finalmente, se resaltó la necesidad de regular la actividad agropecuaria para garantizar la seguridad hídrica a largo plazo en la región.

Wickel et al. (2021), realizaron un trabajo de investigación titulado *Monitoreo hidro-ecológico y modelación de bofedales de altura en la cuenca Katari*, donde evaluaron la dinámica eco-hidrológica de los bofedales altoandinos en la cuenca Katari, Bolivia, mediante datos satelitales y modelación hidrológica. Utilizaron imágenes Landsat (1984-2020) e índices espectrales como el NDVI y el MNDWI para realizar un análisis multitemporal de la cobertura vegetal y el agua superficial. A través de la herramienta WEAP, desarrollaron un modelo conceptual para analizar la oferta y demanda hídrica, evidenciando que la variabilidad de estos humedales depende de la disponibilidad de agua y el retroceso glaciar. Los resultados mostraron que el NDVI alcanza su máximo en la estación húmeda, mientras que el MNDWI reflejó la dependencia de la escorrentía por derretimiento. Se concluyó que la disminución de glaciares impacta negativamente la recarga y regulación hídrica futura. El estudio resaltó que el monitoreo con sensores remotos es clave para la gestión sostenible frente a la variabilidad climática y las actividades antropogénicas. Finalmente, se enfatizó la necesidad urgente de medidas de conservación para la estabilidad hídrica.

Shi et al. (2021), en su investigación titulada *Using Time Series Optical and SAR Data to Assess the Impact of Historical Wetland Change on Current Wetland in Zhenlai County, Jilin Province, China*, evaluaron el impacto del cambio histórico en los humedales de Zhenlai, China, empleando series de tiempo de datos ópticos y SAR. La investigación generó mapas anuales de resolución de 30 m (1985-2018) mediante Landsat en Google Earth Engine para explorar procesos de degradación.

Metodológicamente, integraron datos de Sentinel-1B y Sentinel-2 para identificar periodos estables de degradación y restauración con alta resolución temporal. Los resultados permitieron clasificar zonas vulnerables y transformaciones del suelo utilizando el algoritmo de Bosque Aleatorio (RFC). Se determinó que la combinación de datos multitemporales S12' ofreció mayor precisión en el mapeo de dinámicas hídricas. El estudio concluyó que la calidad ecológica es resultado integral de las trayectorias históricas del uso de la tierra, el régimen pluvial y el retorno de agua de actividades agrícolas. Finalmente, se resaltó que la integración de sensores es fundamental para comprender la evolución y vulnerabilidad de estos ecosistemas.

Mukherjee (2020), en su investigación titulada *Wetland habitat stability assessment in hydro-geomorphological (HGM) and surface water availability (SWA) conditions in a lower Gangetic floodplain region of Eastern India*, analizó la estabilidad de los humedales en la llanura del río Ganges, India, evaluando condiciones hidro-geomorfológicas y la disponibilidad de agua superficial. Mediante imágenes Landsat, clasificación difusa e índices compuestos, el estudio determinó que hasta un 24 % de los humedales enfrenta un alto riesgo de degradación, mientras que solo un 11 % muestra alta estabilidad. Los hallazgos revelaron un incremento en la fluctuación estacional del nivel hídrico, sugiriendo una tendencia a la desecación en periodos de sequía. Se identificó que el 77 % de estos ecosistemas depende críticamente del flujo subterráneo y la conectividad fluvial. La validación mediante curvas ROC y el índice Kappa confirmó la precisión del método difuso para delimitar zonas vulnerables. El estudio concluyó que la degradación está vinculada a la pérdida de conexión con cuerpos fluviales, recomendando el monitoreo basado en teledetección para fortalecer la planificación hídrica y la conservación de estos hábitats.

Pérez-Cutillas et al. (2020), en su investigación titulada *Climate change impacts on water provision capacity in a high-mountain Mediterranean basin*, analizaron los efectos del cambio climático en la capacidad de provisión hídrica de la cuenca del río Ródano, entre Suiza y Francia. El objetivo fue comprender la disponibilidad futura de agua y variaciones del balance hídrico según factores altitudinales. Mediante un modelo de servicios ecosistémicos, evaluaron 5 escenarios

climáticos, incluyendo periodos actuales y proyecciones futuras bajo trayectorias de concentración RCP 4.5 y 8.5. Los resultados proyectaron una reducción significativa del caudal, hasta 30% en las condiciones más críticas hacia finales de siglo. Se identificó que las áreas de alta montaña, dependientes del deshielo, son las más sensibles y vulnerables a estos cambios. El estudio concluyó que las diferencias en el balance hídrico final están condicionadas por rasgos altitudinales. Esto permite comparar la situación actual con proyecciones futuras para identificar áreas de intervención prioritaria. Finalmente, la investigación destacó la importancia de evaluar la interacción entre ecosistemas y servicios esenciales ante el calentamiento global.

Houshang Ehsani & Shakeryari (2020), en su trabajo de investigación titulado *Monitoring of wetland changes affected by drought using four Landsat satellite data and Fuzzy ARTMAP classification method (case study Hamoun wetland, Iran)*, analizaron los cambios en los humedales de Hamoun, Irán, causados por sequías y actividades antropogénicas. Mediante imágenes Landsat (1977-2014) y el método de clasificación Fuzzy ARTMAP, realizaron una detección multitemporal de la cobertura hídrica. Los resultados revelaron reducciones críticas de superficie en las primeras fases debido a la disminución del flujo del río Hirmand, aunque se registró una recuperación del 9.23 % hacia 2014 por la conservación. Se identificó una correlación directa entre la retracción del humedal, el aumento de tormentas de polvo y la reducción del NDVI. El análisis meteorológico confirmó que el incremento de sequías y la menor precipitación exacerbaron la degradación del ecosistema. El estudio concluyó que los métodos de clasificación avanzados permiten un monitoreo preciso para la toma de decisiones. Finalmente, se resaltó la importancia de la gestión política climática para mitigar la desertificación en estos ecosistemas vulnerables.

Yager et al. (2019), en su investigación titulada *Socio-ecological dimensions of Andean pastoral landscape change: bridging traditional ecological knowledge and satellite image analysis in Sajama National Park, Bolivia*, analizaron las transformaciones en los paisajes pastorales del Parque Nacional Sajama, integrando el conocimiento ecológico tradicional con el análisis de imágenes satelitales Landsat (1986-2016). Los resultados revelaron una reducción crítica de bofedales saludables,

los cuales disminuyeron de 33.8 km² a 21.7 km², mientras los pastizales secos se cuadruplicaron en el mismo periodo. Las comunidades aymaras identificaron como causas la escasez hídrica, cambio climático y la pérdida de prácticas comunitarias. Sin embargo, se demostró que la infraestructura de riego colectiva permitió conservar mejor estos ecosistemas en zonas específicas. El estudio concluyó que la integración de saberes locales y teledetección ofrece una comprensión detallada de los cambios socioecológicos. Asimismo, se enfatizó que fortalecer el manejo comunitario del agua es fundamental para la sostenibilidad de los bofedales. Finalmente, la investigación resaltó la importancia de la gestión hídrica ante los efectos climáticos globales.

Choubin et al. (2016), realizaron un trabajo de investigación titulado *Application of several data-driven techniques to predict a Standardized Precipitation Index*, donde evaluaron la precisión de modelos de predicción de sequías en la cuenca de Maharlu-Bakhtegan, Irán, una región caracterizada por su alta variabilidad climática. El estudio empleó tres enfoques: sistemas neurodifusos (ANFIS), árboles de decisión (M5P) y redes neuronales (MLP), analizando 25 señales climáticas globales para predecir el Índice de Precipitación Estandarizado (SPI). Los resultados demostraron que el modelo MLP obtuvo el mejor rendimiento en predicciones a corto plazo, especialmente al incorporar índices climáticos del mes previo. Por su parte, M5P y ANFIS destacaron en proyecciones de mayor anticipación, aunque el primero tendió a subestimar eventos extremos. Los hallazgos resaltaron que el uso de inteligencia artificial y señales climáticas globales mejora significativamente la previsión de sequías. El estudio concluyó que estas herramientas son fundamentales para la gestión eficiente de recursos hídricos en zonas áridas. Finalmente, se validó la eficacia de estos modelos mediante indicadores estadísticos y diagramas de Taylor.

Paredes & Guevara (2013), en su investigación titulada *A probabilistic model for the prediction of meteorological droughts in Venezuela*, desarrollaron y validaron un modelo probabilístico para la predicción temprana de sequías meteorológicas en Venezuela, utilizando datos de 632 estaciones pluviométricas y el índice estandarizado de precipitación (SPI). La metodología incluyó un análisis de componentes principales para delimitar subregiones homogéneas y un análisis de correlación desfasada entre

series del SPI y anomalías de variables macroclimáticas. El modelo, fundamentado en cuatro variables macroclimáticas y cuatro rangos de SPI, permitió identificar la probabilidad de ocurrencia de eventos de sequía con una precisión validada de entre el 85.19 % y el 100 %. Los resultados demostraron que la regionalización de anomalías de precipitación y la selección rigurosa de predictores son aspectos cruciales para la exactitud predictiva. Se concluyó que el modelo es una herramienta altamente eficaz para la alerta temprana frente a fenómenos de sequía a nivel nacional. Finalmente, el estudio resaltó la importancia de utilizar modelos probabilísticos para fortalecer la gestión del riesgo climático y la planificación hídrica.

Espinosa et al. (2011), en su trabajo de investigación titulado *Análisis multitemporal de cambios ocurridos en humedales utilizando imágenes satelitales. Período 1984 – 2011*, evaluaron la evolución de los humedales altoandinos en Chile, mediante sensores remotos y técnicas de análisis espacial. Utilizando imágenes ASTER y Landsat, aplicaron algoritmos de detección de cambios y el índice NDVI para identificar variaciones en la cobertura vegetal y la disponibilidad hídrica. Los resultados evidenciaron modificaciones significativas y una tendencia a la disminución de la vegetación debido a la extracción de agua, turismo y la expansión agropecuaria. Se identificó una reducción crítica en los niveles de humedad en humedales como Tebinquinche y Aguas Calientes entre 2000 y 2010. El estudio reveló que la estabilidad de la cobertura vegetal depende directamente del agua en el suelo y la disponibilidad hídrica superficial. Los hallazgos subrayaron la importancia de la teledetección para monitorear patrones de deterioro en el tiempo. Finalmente, se propusieron estrategias de mitigación ante el impacto antropogénico y el cambio climático para la conservación de estos ecosistemas.

2.1.2. A nivel nacional

Ángeles Clemente et al. (2024), en su investigación titulada *Comparison between Standardized Precipitation Index (SPI) and Standardized Evapotranspiration Index (SPEI) for Agricultural Drought over Mantaro Valley, Peru*, compararon los índices SPI y SPEI en el Valle del Mantaro, Perú, para evaluar su eficacia en la

identificación de sequías agrícolas y su relación con la variabilidad climática andina. Analizando datos de seis estaciones meteorológicas entre 1990 y 2021, determinaron que el 30% del periodo presentó condiciones de sequía. El estudio halló que el SPI distingue con mayor precisión las estaciones húmedas y secas, mientras que el SPEI identifica con más frecuencia eventos moderados a extremos al integrar la temperatura y el calentamiento global. El análisis estadístico mediante el índice de Kappa evidenció una concordancia sustancial, aunque no perfecta, entre ambos indicadores. Asimismo, se observó que la duración y severidad de las sequías fueron más persistentes en escalas temporales de 12 meses. La investigación concluyó que el SPEI es más adecuado para regiones con alta variabilidad térmica como los Andes peruanos. No obstante, el SPI se mantiene como una herramienta útil ante la falta de datos de temperatura. Finalmente, se resaltó la importancia de seleccionar el índice según la disponibilidad de información y los objetivos de gestión hídrica.

Gribbin et al. (2024), en su investigación titulada *Bofedal wetland and glacial melt contributions to dry season streamflow in a high-Andean headwater watershed*, analizaron el papel de los bofedales y el derretimiento glaciar en la regulación del caudal base de una cuenca altoandina en el sur. El estudio empleó un enfoque basado en isótopos estables y mediciones de caudal durante la transición de la temporada húmeda a seca en 2022. Los resultados indicaron que los bofedales desempeñan el papel de regulación hídrica, aportando entre un 9% y un 20% del flujo total del río durante el estiaje. Se identificó que, mientras el flujo glaciar se redujo drásticamente, el agua almacenada en los bofedales mantuvo el suministro hídrico, a pesar de experimentar procesos de evaporación. La investigación determinó que la pérdida de cobertura de nieve ocurre rápidamente al inicio del estiaje, dejando a estos humedales como la principal fuente de agua estable. Se concluyó que los bofedales actúan como reservas temporales que amortiguan los efectos de la estacionalidad ante el retroceso glaciar por el cambio climático. Finalmente, el estudio resaltó la importancia de estos ecosistemas para garantizar la disponibilidad hídrica después de las lluvias.

Talaverano et al. (2024), en su investigación titulada *Variación temporal de bofedales andinos utilizando tecnología de información geográfica en el distrito de*

Uranmarca, Apurímac - Perú, analizaron la variabilidad espacio-temporal de los bofedales en Uranmarca, utilizando tecnologías de información geográfica e imágenes Landsat 8 y 9. Mediante la aplicación de índices espectrales como el NDVI y el NDII, se evaluaron los cambios en la humedad superficial y la vegetación de estos ecosistemas. Los resultados revelaron fluctuaciones significativas, con una superficie que alcanzó su máximo en 2017 y disminuyó drásticamente hacia 2020. Se determinó una pérdida neta de 55,255.49 m² en una década, evidenciando un proceso de degradación vinculado a la variabilidad climática y factores antrópicos. El estudio concluyó que estos bofedales mantienen la regulación hídrica y el abastecimiento de las comunidades locales. Se identificó que la alteración de estos humedales compromete la disponibilidad de agua en las microcuencas. Finalmente, se recomendó la instalación de miras hidrométricas para fortalecer el monitoreo hídrico in situ.

Paredes Gomez (2023), en su investigación denominada *Característica fisicoquímica de las aguas superficiales del bofedal alto andino Guitarrachayocc, Distrito de Paras, Cangallo – Ayacucho, 2018 - 2019*, evaluó las características fisicoquímicas del agua superficial en el bofedal Guitarrachayocc, el estudio se desarrolló a 4,586 m.s.n.m., estableciendo 14 estaciones de muestreo en sistemas lénticos y lóticos para analizar parámetros de pH, conductividad y dureza. Los resultados revelaron alta heterogeneidad espacial y temporal, con variaciones significativas entre riachuelos y agua estancados. Se identificaron niveles de CE de hasta 1,149.1 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y condiciones de acidez con pH de 3.0 en ciertos sectores lénticos. Estos hallazgos evidenciaron un mayor grado de mineralización e influencia de procesos geológicos y materia orgánica en descomposición. La investigación concluyó que la calidad del agua está condicionada por la estacionalidad, la geología local y la presión antrópica. Finalmente, se resaltó la vulnerabilidad de estos ecosistemas ante el cambio climático. El estudio subrayó la importancia de monitorear la composición química para comprender la salud integral de los bofedales altoandinos.

Sulca & Joaquin (2023), en su investigación titulada *Influencia de la variabilidad climática en la dinámica espacio-temporal de los bofedales altoandinos en la microcuenca Chicllarazo. Periodo 1988-2022*, evaluaron el impacto de la

variabilidad climática en los bofedales de la microcuenca Chicllarazo, utilizando imágenes Landsat y Sentinel-2, aplicaron el índice NDVI y pruebas estadísticas de Mann-Kendall para analizar la dinámica de estos ecosistemas. Los resultados determinaron que la precipitación acumulada predomina en la extensión de los bofedales, con una dependencia del 48.38 %, mientras que la temperatura no mostró influencia significativa. El estudio registró la reducción anual del 6.8 % en la cobertura vegetal, acumulando una pérdida total de 2,656.3 ha. vinculada a periodos secos. Se identificó vulnerabilidad alta ante el cambio climático, evidenciando que la estabilidad de estos humedales depende de la disponibilidad hídrica (pluvial/glaciar). La investigación concluyó que la variabilidad climática condiciona severamente la dinámica estacional de los humedales. Finalmente, se resaltó la importancia de la teledetección para monitorear la degradación de estos reguladores hídricos.

Ross et al. (2023), en su investigación titulada *Seasonal water storage and release dynamics of bofedal wetlands in the Central Andes*, analizaron los procesos de almacenamiento y liberación de agua en bofedales de la cuenca Vilcanota-Urubamba, el estudio combinó imágenes Sentinel-2 con monitoreo in situ mediante registradores ultrasónicos para comprender la variabilidad estacional y la contribución al flujo base. Los resultados mostraron una marcada fluctuación en la cobertura, que se expandió significativamente tras la estación húmeda. Se estimó que estos humedales contribuyeron con hasta el 74 % del flujo total en la estación seca, con tiempos de retardo de hasta 32 días. La investigación evidenció que los bofedales actúan como reguladores clave para la seguridad hídrica en las cabeceras andinas. Se determinó una relación directa entre la extensión del ecosistema y la disponibilidad de agua en periodos de déficit. Sin embargo, se resaltó su vulnerabilidad ante el cambio climático y el aumento de la evaporación. El estudio concluyó que la degradación de estas áreas comprometería la regulación hidrológica futura. Finalmente, se validó el rol de los bofedales como almacenadores críticos de agua en los Andes Centrales.

Villar Acevedo (2023), en la investigación denominada *Desarrollo de un sistema de monitoreo para la evaluación de bofedales por medio de la observación terrestre*, diseñó un sistema de monitoreo basado en teledetección para evaluar

bofedales en la microcuenca Yuracmayo, la metodología integró imágenes Landsat, Sentinel-2 y reanálisis con GloFAS-ERA5 con mediciones de campo para caracterizar la respuesta hidrológica. Los resultados identificaron una tendencia creciente en la temperatura y una reducción sostenida de caudales, evidenciando un deterioro del balance hídrico. Se determinó que la cobertura de bofedales disminuyó más del 50 % entre 2017 y 2021, afectando su capacidad de almacenamiento. Asimismo, se registró una reducción del 20 % en la regulación hidrológica de la microcuenca entre 1984 y 2014. El estudio concluyó que la degradación de estos ecosistemas compromete la retención y liberación gradual de agua hacia el río Rímac. Se halló que las bajas tasas de infiltración indican un estado de funcionalidad ecosistémica crítica en zonas degradadas. Finalmente, la investigación demostró que la observación terrestre es una herramienta eficaz para el monitoreo continuo de humedales altoandinos.

Cuadros et al. (2022), en su investigación titulada *Diseño de metodología para la evaluación de la calidad de bofedales por teledetección*, propusieron una metodología para evaluar la calidad y extensión de los bofedales en Moquegua, mediante técnicas de teledetección con imágenes satelitales y drones. El estudio integró sensores de diversa resolución, como Sentinel-2, Skysat y drones de alta precisión, complementados con evaluaciones de campo. Se establecieron como indicadores principales la humedad, la estacionalidad (vía NDMI) y la vegetación dominante según su contribución ecosistémica. Los resultados determinaron que los bofedales permanentes poseen una mayor calidad ambiental por su capacidad para acumular turba y regular el agua. Se observó que la degradación vegetal por sobrepastoreo o plagas puede ocurrir independientemente de los cambios en la humedad del suelo. La investigación concluyó que es necesario evaluar estos indicadores de forma separada para una interpretación precisa. Finalmente, se validó la eficacia del modelo conceptual para la gestión de humedales altoandinos.

Baldoceda et al. (2022), en su investigación titulada *Análisis del porcentaje de humedad, materia orgánica y porosidad del suelo de dos tipos de bofedales*, evaluaron la relación entre humedad, materia orgánica y porosidad en dos bofedales de la Reserva Paisajística Nor Yauyos Cochas: uno natural (Huachipampa) y otro manejado (Tambo

Real). Mediante enfoque cuantitativo y análisis de laboratorio en distintas temporadas, los resultados evidenciaron que el bofedal natural presentó porosidad estable entre 40% y 60%, mientras que el manejado mostró variabilidad inestable de hasta 76%. En Huachipampa, la humedad alcanzó picos del 91.18% asociados a la especie *Distichia muscoides*, clave en la formación de turba. Por el contrario, en Tambo Real, la humedad dependió directamente de la influencia de los canales de infiltración. El estudio determinó que el contenido de materia orgánica fue significativamente mayor en el sistema natural, favoreciendo la retención hídrica a largo plazo. Se concluyó que los bofedales manejados presentan capacidades hídricas fluctuantes según su mantenimiento. Finalmente, se resaltó que la estructura del suelo y la acumulación de turba son determinantes para la estabilidad físico-química de estos ecosistemas.

Oshun et al. (2022), en su investigación titulada *Seasonal water storage in peat-forming bofedales sustains baseflow in the Andes*, analizaron el papel de los bofedales altoandinos como reguladores hídricos en la microcuenca Upper Ramuschaka, en los Andes Centrales. Mediante un enfoque integral que combinó monitoreo de humedad, aguas subterráneas, geofísica y análisis hidroquímico, el estudio evaluó la estructura hidráulica de estos ecosistemas durante tres años. Los resultados demostraron una relación positiva entre la cobertura de bofedales y el caudal base, capturando agua de áreas significativamente mayores a su tamaño. Se estimó que estos humedales almacenan aproximadamente 105,000 m³ de agua, aportando hasta el 98% del flujo total en la estación seca. La investigación determinó que la capacidad de regulación depende de la profundidad de la turba y la presencia de capas arcillosas. Se concluyó que los bofedales son críticos para la seguridad hídrica y la mitigación del estrés hídrico superficial. Finalmente, el estudio cuantificó la contribución hidrológica de la turba en la liberación gradual de agua hacia los ríos.

Gómez-Sánchez et al. (2022), en su investigación titulada *Análisis de la dinámica hídrica de los bofedales altoandinos y su relación con la variabilidad climática en la región sur del Perú*, estudiaron el comportamiento hidrológico de los bofedales frente a las fluctuaciones climáticas. La metodología integró sensores remotos, monitoreo con piezómetros y drones para analizar la humedad del suelo en

Puno, Cusco y Arequipa. Los resultados determinaron que suelos con más del 20% de MO retienen hasta el 85% de la precipitación, mientras que bofedales degradados perdieron el 35% de su capacidad de regulación en dos décadas. Se identificó una correlación significativa entre la variabilidad climática y la disponibilidad hídrica, registrando una disminución del 12% en la superficie hídrica asociada a valores negativos del SPI. La investigación concluyó que estos ecosistemas atenúan efectos de la sequía y regulan el flujo en cabeceras de cuenca. El estudio resaltó que el sobrepastoreo y el drenaje artificial aceleran la pérdida de almacenamiento hídrico. Finalmente, se validó la importancia de la turba en la seguridad hídrica regional.

Rascón et al. (2021), en su investigación denominada *Dry and Wet Events in Andean Populations of Northern Peru: A Case Study of Chachapoyas, Peru*, analizaron la variabilidad climática en Chachapoyas, mediante los índices SPI y SPEI durante el periodo 1981-2019. La metodología empleó datos de estaciones locales y del conjunto PISCO-SENAMHI para evaluar eventos secos y húmedos en diversas escalas temporales. Los resultados mostraron una tendencia creciente de eventos húmedos extremos recientemente, mientras que la sequía más severa se registró en 1993, afectando la disponibilidad hídrica. Se halló una alta correlación entre ambos índices, especialmente en escalas de 12 y 24 meses, validando su eficacia en la detección de déficits hídricos. El estudio reveló que cambios en la precipitación y temperatura impactan críticamente en el abastecimiento humano y agrícola. Se concluyó que el balance hídrico regional es sensible a la reducción de lluvias durante periodos secos. Finalmente, la investigación enfatizó la necesidad de fortalecer el monitoreo hidrometeorológico para prever eventos extremos.

Pauca-Tanco et al. (2020), en su investigación titulada *Análisis espacio-temporal y climático del humedal altoandino de Chalhuanca (Perú) durante el periodo 1986-2016*, evaluaron la variación de los bofedales en Chalhuanca, La metodología integró imágenes Landsat 5, 7 y 8, el cálculo del NDVI y el análisis de series de tiempo de temperatura y precipitación. Los resultados mostraron que el área de los bofedales aumentó a razón de 12 ha/año, alcanzando 882.52 ha al final del periodo. Se identificó incremento decadal en la precipitación como en las temperaturas (máx./mín.) El

estudio halló una correlación significativa entre la precipitación y la cobertura vegetal ($r=0.92$), sugiriendo que el aumento de lluvias favoreció la expansión del humedal. No obstante, la relación con la temperatura fue menos marcada, indicando posibles efectos indirectos del calentamiento global mediante la fusión glaciaria. Se concluyó que la dinámica de ecosistemas depende críticamente de la variabilidad hídrica superficial. Finalmente, la investigación resaltó la utilidad de las pruebas estadísticas y la teledetección para comprender la respuesta de los humedales ante cambios climáticos.

Alberto Castillo & Joseli Matos (2019), en su investigación *Evaluación del estado ambiental del bofedal altoandino 'Yanacancha' comunidad campesina de Miraflores - Yauyos 2019*, analizaron el estado ambiental del bofedal Yanacancha, mediante un diseño no experimental longitudinal, evaluaron la calidad hídrica, suelo, flora y fauna en temporadas húmeda y seca. Los resultados revelaron alteraciones significativas por factores antropogénicos y climáticos, destacando la presencia de metales pesados que exceden los ECA. Se identificó reducción de la cobertura vegetal por sobrepastoreo y disminución del nivel freático en el estiaje. El estudio evidenció que la variabilidad climática afecta la dinámica hídrica, mermando el caudal y la estabilidad del ecosistema en periodos de sequía. Se concluyó que, aunque el bofedal es un reservorio y regulador hidrológico fundamental, presenta una alta vulnerabilidad. Finalmente, la investigación subrayó la importancia de conservar estos hábitats para mantener la provisión de servicios ecosistémicos y la biodiversidad endémica

Otto & Gibbons (2017), en su investigación titulada *Potential Effects of Projected Decrease in Annual Rainfall on Spatial Distribution of High Andean Wetlands in Southern Peru*, analizaron el impacto de la disminución proyectada de precipitaciones de distribución espacial en los humedales altoandinos del sur, utilizando la teledetección, determinaron que estos ecosistemas representan el 2.5% del área total de la región. La investigación estableció una correlación significativa ($R^2=0.82$) entre la precipitación media anual y la presencia de bofedales, proyectando pérdidas totales en microcuencas áridas ante la reducción de lluvias. Los resultados mostraron que la densidad de humedales es mayor en cuencas con más de 1000 mm anuales, mientras que zonas con menos de 500 mm presentan una vulnerabilidad

crítica a la aridización. Se evidenció que la menor pluviosidad no solo reducirá la extensión de bofedales, sino también su capacidad de almacenamiento hídrico. El estudio concluyó que el cambio climático compromete el rol regulador de estos ecosistemas en el flujo base de los ríos. Finalmente, se resaltó la importancia de considerar estas proyecciones climáticas para la gestión del recurso hídrico

2.1.3. A nivel local

Maldonado-Fonkén et al. (2024), en su investigación titulada *Plant communities of high-Andean bofedal wetlands across a trans-Andean transect in southern Peru*, caracterizaron comunidades vegetales de bofedales en un transecto entre Ayacucho - Huancavelica para evaluar su diversidad y distribución en relación con factores ambientales. Se identificaron 13 comunidades vegetales dominadas por especies como *Distichia muscoides*, presente en el 90% de los sitios muestreados. La composición y abundancia de especies se relacionó con variables ambientales como la elevación, humedad del suelo y la profundidad de la napa freática. Los bofedales con mayor contenido de humedad y menor profundidad de napa freática mantienen mayor estabilidad en su diversidad vegetal. Se evidenció mayor heterogeneidad de los bofedales de la región de lo que se había reportado previamente, lo que resalta la necesidad de considerar esta heterogeneidad en las estrategias de conservación y manejo sostenible. Los bofedales más degradados, especialmente aquellos afectados por sobrepastoreo y reducción de la disponibilidad hídrica, mostraron pérdida significativa en la cobertura vegetal y en la capacidad de retención de agua.

Ñahui Martínez (2021a), en su investigación denominada *Comportamiento y estrategias de conservación del recurso hídrico de bofedales en Callqui Chico, Huancavelica*, analizó el estado actual y propuso estrategias de conservación para los bofedales de Callqui Chico, ante la creciente presión climática y antrópica, incluyó un enfoque cualitativo y descriptivo que evaluó factores climatológicos, diversidad biológica, características fisicoquímicas del suelo y aspectos socioeconómicos. Los resultados evidenciaron disminución progresiva de la precipitación e incremento térmico, provocando mayor evapotranspiración y desbalance hídrico. Se identificó que

bofedales con MO superior al 4.21 % mantienen mejor la humedad, mientras que aquellos con salinidad presentan mayor infiltración y pérdida de agua. El estudio destacó que las zonas con pendientes pronunciadas y escasa cobertura vegetal sufren una acelerada erosión y degradación. Como estrategias, propuso la restauración ecológica, mejores prácticas de riego y pastoreo, y capacitación local en gestión sostenible. Finalmente, la investigación subrayó la importancia de estas acciones para asegurar la permanencia del recurso hídrico en la región.

Crispin Cunya & Jimenez Diaz (2019), en su investigación titulada *Valoración económica ambiental de los bofedales del distrito de Pilpichaca, Huancavelica, Perú*, evaluaron la importancia económica y ambiental de 8,369.67 hectáreas de bofedales en Pilpichaca, a través de sus servicios ecosistémicos. Utilizando el concepto de Valor Económico Total (VET), el estudio estimó la contribución de estos ecosistemas a la sostenibilidad hídrica, almacenamiento de agua y la captura de C. Los resultados evidenciaron que la provisión de agua es el servicio más valioso, superando al almacenamiento de C en suelos altoandinos. Se determinó que la presencia de bofedales mejora significativamente la regulación hídrica de la cuenca, favoreciendo la disponibilidad de agua durante la estación seca. Esta función asegura estabilidad en actividades económicas como la ganadería de camélidos. La investigación resaltó que la pérdida de bofedales por presión antropogénica y cambio climático compromete la seguridad hídrica de las comunidades. Finalmente, se reforzó la necesidad de implementar estrategias de conservación y gestión sostenible para proteger bofedales.

Maldonado (2018), en su investigación titulada *Dinámica espacio-temporal de la flora de bofedales en Ayacucho y Huancavelica 2010-2012*, analizó la variabilidad de las comunidades vegetales en seis bofedales de Ayacucho y Huancavelica, la metodología empleó transectos de 50 metros para caracterizar la estructura y dominancia de especies como *Distichia muscoides* y *Plantago tubulosa*. Los resultados identificaron seis comunidades diferenciadas, observándose que la abundancia y diversidad fueron mayores en la temporada húmeda. En contraste, la estación seca registró disminución significativa de la cobertura vegetal y del contenido hídrico. El análisis mediante índices de Shannon y Pielou evidenció reducción en la riqueza de

especies durante períodos de baja disponibilidad de agua. Se determinó que los bofedales expuestos al sobrepastoreo mostraron degradación acelerada y menor capacidad de retención de humedad. El estudio sugirió que las comunidades vegetales responden de manera diferencial a la variabilidad climática según su resiliencia. Finalmente, se resaltó la importancia de monitorear estas dinámicas para la conservación de los reguladores hídricos altoandinos.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Teoría del Cambio climático

El cambio climático coetáneo se interpreta científicamente como la alteración del balance energético del sistema climático terrestre inducida principalmente por el incremento antropogénico de gases de efecto invernadero (WMO, 2024). El clima terrestre es el resultado del equilibrio dinámico entre radiación solar entrante y la radiación termal emitida por el planeta, este balance energético determina la temperatura media global y está gobernado por las leyes físicas, la termodinámica y transferencia radiativa (Chandrasekhar, 1960).

La atmósfera modifica este equilibrio mediante la absorción selectiva de radiación infrarroja por gases puntuales como CO₂, CH₄, N₂O y vapor de agua, este proceso, descrito primordialmente por Arrhenius (1896), se conoce como efecto invernadero y constituye el fundamento físico del calentamiento global. Este fenómeno incrementa la retención de radiación infrarroja que modifica los patrones de circulación atmosférica y oceánica, aumento de calor oceánico y la más importante que son los cambios en el ciclo hidrológico (United Nations World Water Development, 2020).

- Balance radiativo del sistema climático:

El sistema climático terrestre es descrito como un sistema termodinámico abierto gobernado por el balance entre radiación solar entrante y radiación infrarroja saliente (Arrhenius, 1896), la temperatura media global se determina por el equilibrio energético.

$$(1-\alpha)\frac{S}{4} = \sigma T_e^4$$

α : Albedo planetario.

S: Constante solar.

σ : Constante de Stefan-Boltzmann.

T_e : Temperatura efectiva de equilibrio.

La aplicación del balance radiativo planetario, permite estimar la temperatura efectiva de equilibrio de la Tierra al igualar la energía solar media absorbida por el sistema climático con la radiación infrarroja emitida al espacio, de modo que cualquier modificación en la composición atmosférica que reduzca la emisión infrarroja efectiva implica necesariamente un aumento de la temperatura de equilibrio hasta restablecer el balance energético (Taylor, 2005).

- Forzamiento radiativo antropogénico:

El cambio en el balance energético causado por gases de efecto invernadero se cuantifica mediante la ecuación del forzamiento radiativo (Ramaswamy et al., 2001). Para el dióxido de carbono, una aproximación ampliamente validada es:

$$\Delta F = 5.35 \ln \left(\frac{C}{C_0} \right)$$

ΔF : Forzamiento radiativo (W/m^2).

C: Concentración actual de CO_2 .

C_0 : Concentración de referencia.

Su aplicación consiste en calcular el cambio en el flujo energético neto del sistema climático generado por la variación relativa de la concentración atmosférica de dióxido de carbono respecto a un estado preindustrial, este forzamiento positivo representa un excedente de energía que rompe el equilibrio radiativo original y obliga al sistema climático a calentarse hasta alcanzar un nuevo estado estacionario compatible con el incremento de absorción infrarroja (Gunnar et al., 1998). En conjunto, ambas formulaciones operan de manera complementaria: la primera define el estado térmico de equilibrio del planeta y la segunda cuantifica la perturbación

energética que desplaza dicho equilibrio bajo influencia antropogénica, proporcionando un marco físico integrado para la interpretación del calentamiento global observado (Sherwood et al., 2020).

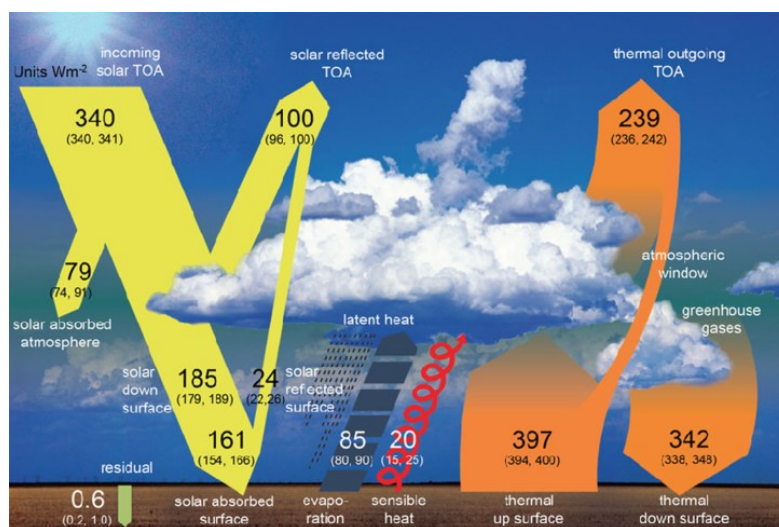
El sistema climático responde a los forzamientos radiativos mediante retroalimentaciones que amplifican o atenúan el calentamiento inicial (Wild et al., 2013), entre las más relevantes se encuentran:

- La retroalimentación del vapor de agua, que incrementa la opacidad atmosférica al infrarrojo.
- La retroalimentación hielo/albedo, que reduce la reflectancia superficial al disminuir la cobertura de hielo y nieve.
- Cambios en la nubosidad, cuya señal neta depende de su tipo y distribución espacial.

Estas retroalimentaciones, junto con la inercia térmica oceánica, explican la persistencia temporal de las señales de cambio y la reorganización del ciclo hidrológico, incluyendo alteraciones en la frecuencia e intensidad de precipitaciones extremas, sequías y caudales (Ambenje et al., 1994).

Figura 1

Balance radiativo terrestre



Nota: Imagen extraído de Wild et al. (2013).

El estudio científico del cambio climático integra teoría física, evidencia observacional y métodos estadísticos robustos para identificar señales persistentes en sistemas altamente variables. La evaluación conjunta entre la magnitud de cambios temporales en variables climáticas construye inferencias reproducibles sobre la evolución del sistema climático, fortalecer los cambios y apoya la interpretación física de los procesos observados (Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2023), particularmente pertinente en contextos donde la señal de cambio emerge gradualmente sobre una variabilidad natural significativa.

Tabla 1

Evidencias y mecanismos en el cambio climático

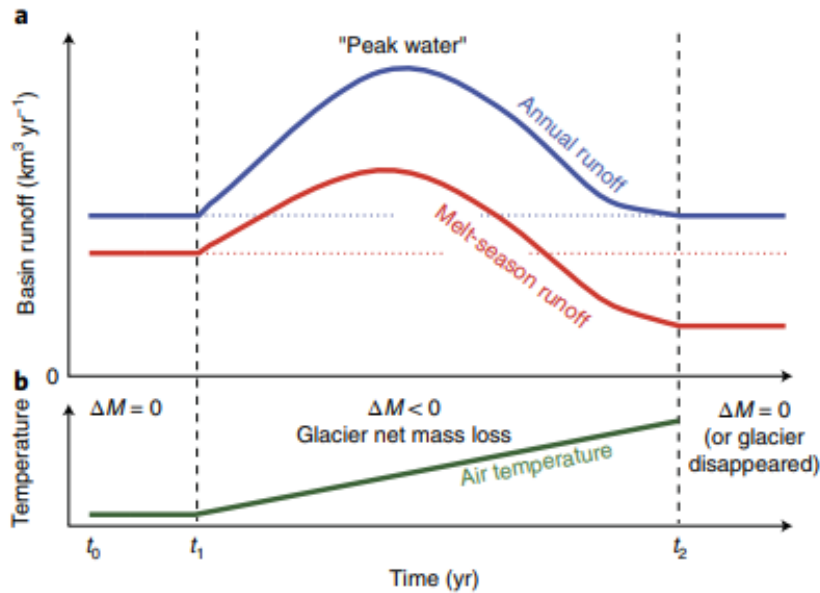
Evidencia observacional	Mecanismo físico dominante	Implicación hidroclimática
Aumento de temperatura media global	Forzamiento radiativo por GEI	Intensificación del ciclo hidrológico
Calentamiento oceánico	Inercia térmica y absorción de calor	Cambios en evaporación y circulación
Reducción de hielo y nieve	Retroalimentación hielo–albedo	Modificación de escorrentía estacional
Mayor frecuencia de extremos	Aire más cálido y húmedo	Incremento de precipitaciones intensas
Cambios regionales de precipitación	Reorganización de circulación	Redistribución espacial del recurso hídrico

Nota: Tabla elaborada con referencia del IPCC (2021).

La teoría del cambio climático aporta el marco explicativo que vincula los forzamientos climáticos globales con las dinámicas hidrológicas locales de ecosistemas altoandinos. El incremento de la temperatura atmosférica y las alteraciones en los patrones de precipitación ya descritas, se manifiestan regionalmente en cambios en la estacionalidad hídrica, reducción de la recarga superficial y mayor recurrencia de periodos secos, procesos que afectan de manera directa la funcionalidad en la disponibilidad de agua a nivel mundial (Secretaría de la Plataforma Internacional de Recuperación, 2015).

Figura 2

Cambios de escorrentía en respuesta al calentamiento atmosférico continuo



Nota: La figura “a” muestra cambios de escorrentía en temporadas de deshielo, típicos en glaciares y zonas de cordilleras. La figura “b” muestra la pérdida de masa glaciaria con relación al aumento de temperatura. Imagen extraída de Huss & Hock (2018).

2.2.1. Teoría del ciclo hidrológico

El ciclo hidrológico es el sistema físico que describe la circulación continua del agua entre la atmósfera, la superficie terrestre y el subsuelo, impulsado por la energía solar y la gravedad (Margat et al., 2005). Su funcionamiento se rige por principios universales de la física, particularmente la conservación de la masa, la conservación de la energía y otros que representan sistemas intrínsecos, que en conjunto explican los procesos de evaporación, condensación, precipitación, infiltración, percolación, escorrentía y flujo subterráneo (Te Chow et al., 1988).

Sistemáticamente el ciclo hidrológico opera como una red dinámica de transferencias entre reservorios naturales (atmósfera, suelo, acuíferos, vegetación y cuerpos de agua). La disponibilidad hídrica y la respuesta hidrológica observable dependen no solo de la magnitud de las entradas (precipitación), sino también de los procesos de almacenamiento y liberación gradual del agua, los cuales introducen

desfases temporales entre la señal climática y la respuesta del sistema (Koutsoyiannis, 2020).

- Ecuación de balance hídrico: conservación de la masa.

El comportamiento cuantitativo del ciclo hidrológico en una cuenca se expresa mediante la ecuación de continuidad o balance hídrico, que establece que el agua ingresa al sistema distribuyéndose entre pérdidas atmosféricas, flujos de salida y almacenamiento (Penman et al., 1948).

$$P = ET + Q + \Delta S$$

P: Precipitación.

ET: Evapotranspiración.

Q: Escorrentía total (superficial + subterránea).

ΔS : Cambio en el almacenamiento de agua del sistema.

Esta relación formaliza que el sistema hidrológico se redistribuye entre reservorios y estados físicos. En ambientes con alta capacidad de almacenamiento, el término ΔS adquiere significancia y explica la respuesta no inmediata del caudal o de la humedad superficial frente a la precipitación (Priestley, 1972).

- Ley de Darcy: ecuación de difusividad hídrica.

El movimiento del agua en el suelo y el subsuelo está gobernado por el flujo de agua, que describe a través de materiales y ambientes porosos en función del gradiente hidráulico y las propiedades del medio (Darcy, 1856).

$$Q = -KA \frac{dh}{dl}$$

Q: Caudal de flujo subterráneo.

K: Conductividad hidráulica del medio.

A: Área transversal del flujo.

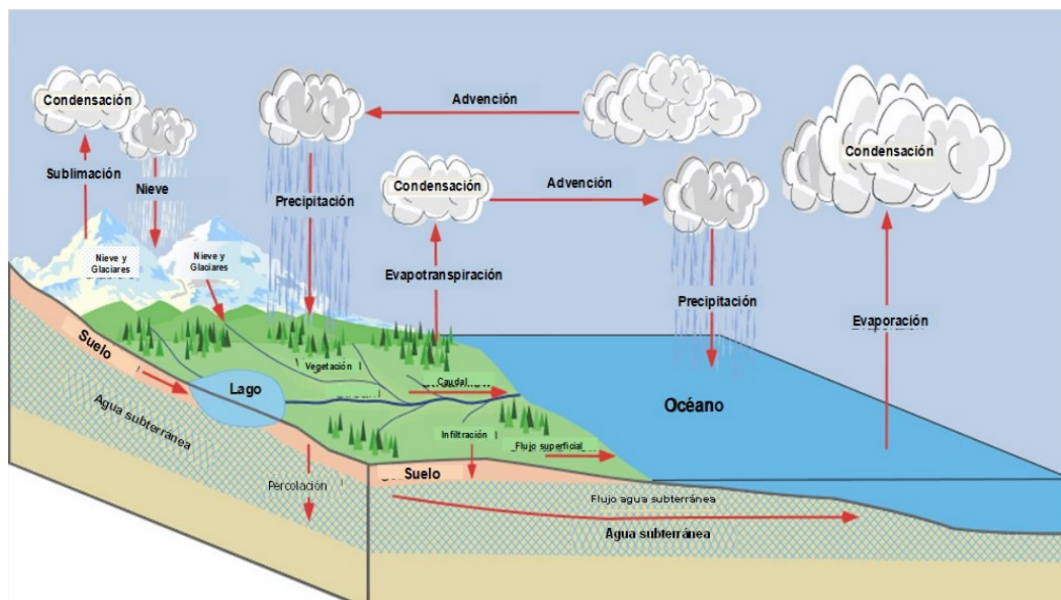
$\frac{dh}{dl}$: Gradiente hidráulico.

El signo negativo indica que el flujo ocurre desde zonas de mayor a menor energía hidráulica. Este principio explica la infiltración, el almacenamiento y la liberación progresiva del agua en suelos orgánicos saturados, generando tiempos de tránsito más largos y atenuación de picos de caudal (Gilvear & Bradley, 2009).

Puede representarse como un sistema de flujos y almacenamientos interconectados, la evaporación y la transpiración vegetal constituyen el flujo ascendente hacia la atmósfera, mientras que la precipitación representa el flujo descendente que reabastece los reservorios terrestres (Córdova Rodríguez & Rodríguez Iturbe, 2010). Parte del agua precipitada se infiltra en el suelo recargando acuíferos, mientras que el excedente genera escorrentía superficial que alimenta ríos y humedales (Oki et al., 2004). La magnitud relativa de estos procesos depende de factores climáticos, topográficos, edáficos y biológicos.

Figura 3

Dinámica del ciclo hidrológico



Nota: Imagen extraído de Ordoñez Gálvez (2011).

- Control energético de la evapotranspiración:
El intercambio de agua entre superficie y atmósfera depende del balance de energía disponible (Budyko, 1974).

$$ET = f(Rn, T, u, H)$$

Rn: Radiación neta.

T: Temperatura del aire.

u: Velocidad del viento.

H: Humedad atmosférica.

La evapotranspiración está controlada por la energía solar y las condiciones atmosféricas, por lo que regula la fracción de la precipitación que retorna a la atmósfera y modula el almacenamiento efectivo del sistema (Allen et al., 1998).

Esta conjugado al balance radiativo y la circulación atmosférica global, el calentamiento de la superficie incrementa la capacidad de la atmósfera para retener vapor de agua, intensificando los flujos evaporativos y modificando los patrones de precipitación, los cambios de temperatura y circulación atmosférica generan redistribuciones regionales del agua que también afectan a las funciones hidrológicas de sus componentes (Breña Puyol & Jacobo Villa, 2006).

Tabla 2

Función de los componentes hidrológicos

Componente	Proceso físico	Función hidrológica
Evaporación	Transferencia de agua líquida a vapor.	Regula humedad atmosférica.
Transpiración	Liberación de vapor por vegetación.	Conecta biosfera y atmósfera.
Precipitación	Condensación y caída de agua.	Principal fuente de recarga hídrica.
Infiltración	Entrada de agua al suelo.	Recarga de acuíferos.
Escorrentía	Flujo superficial gravitacional.	Alimenta ríos y humedales.
Almacenamiento	Retención en suelo, nieve o agua superficial.	Regula disponibilidad temporal.

Nota: Tabla elaborada con referencia de Breña Puyol & Jacobo Villa (2006).

La combinación de almacenamiento (ΔS), flujo subterráneo (ley de Darcy) y pérdidas por evapotranspiración introduce tiempos de respuesta que desacoplan parcialmente la señal climática de la respuesta hidrológica observable (Botter et al., 2011). En términos funcionales:

$$\text{Respuesta hidrológica} = f(\text{almacenamiento, infiltración, liberación gradual})$$

En sistemas con alta retención hídrica, la respuesta a la precipitación es no lineal y no instantánea, lo que fundamenta científicamente la presencia de correlaciones débiles o no significativas entre índices de precipitación acumulada y variables hidrológicas locales en escalas temporales cortas o intermedias (Florín Beltrán, 2010).

Tabla 3

Factores y mecanismos del ciclo hidrológico

Factor de control	Mecanismo de influencia	Resultado hidrológico
Temperatura atmosférica	Modifica evapotranspiración.	Cambios en humedad del suelo.
Precipitación	Determina recarga hídrica.	Variabilidad de caudales.
Topografía	Controla dirección del flujo.	Distribución espacial del agua.
Cobertura vegetal	Regula infiltración y transpiración.	Estabilidad del balance hídrico.
Propiedades del suelo	Controlan almacenamiento.	Persistencia de humedad.

Nota: Tabla elaborada con referencia de Chavarría -Vidal et al. (2022).

El ciclo hidrológico no es estacionario; su intensidad y distribución espacial varían en función de la variabilidad climática natural y de los forzamientos despreciables (Morejón Miranda et al., 2013). Cambios de la temperatura, cobertura vegetal o uso del suelo pueden modificar la manifestación de la evapotranspiración, escorrentía y almacenamiento (Bateman, 2007). En regiones andinas, la disponibilidad hídrica depende fuertemente de la precipitación estacional y del almacenamiento natural en suelos orgánicos las pequeñas variaciones en los flujos pueden generar impactos significativos en la oferta de agua superficial (Vera & Camilloni, 2015).

La comprensión de estos mecanismos es esencial para evaluar cambios en el comportamiento del agua en el tiempo, particularmente en contextos de variabilidad climática y transformación ambiental, proporcionando una base científica sólida para el análisis hidro climático contemporáneo (Araque Arellano, 2022).

2.2.2. Teoría no paramétrica en sistemas naturales

La teoría no paramétrica conforma un marco estadístico fundamental en el análisis de sistemas naturales, caracterizado por ser complejo, no lineal y ausencia de distribuciones probabilísticas anticipadas no asumen funcionales normales en las distribuciones como los métodos paramétricos, por ello permiten inferencias robustas a partir de datos observados sin estructuras estrictas (Anderson, 2001).

Los métodos no paramétricos se incluyen al marco metodológico esencial para el estudio de sistemas naturales complejos, la capacidad para modelar fenómenos sin imponer estructuras probabilísticas rígidas permite describir patrones emergentes, detectar tendencias y realizar inferencias robustas en contextos de alta incertidumbre. En disciplinas donde la variabilidad natural es dominante, estos métodos representan una alternativa científicamente sólida frente a los enfoques paramétricos tradicionales (Rodríguez-Barrios, 2017).

Los sistemas naturales están vinculados a procesos hidrológicos, fenómenos climáticos, biológicos o dinámicas en ecosistemas, ellos presentan heterogeneidad espacial frecuente, dependencia temporal y distribuciones asimétricas (López-Gómez & Williams-Linera, 2006). La estadística no paramétrica limita la aplicabilidad de modelos paramétricos clásicos, pero ofrece herramientas adecuadas en la estimación de densidades, pruebas de hipótesis y modelos funcional basado en datos (Diana, 2020). Un método no paramétrico se define como aquel que no especifica una familia paramétrica fija para describir la distribución de probabilidad de una variable aleatoria. Su objetivo principal es aproximar propiedades poblacionales mediante funciones empíricas o estimadores basados en ordenamientos y vecindad local (Sanit, 1999), las aplicaciones de métodos no paramétricos se dan en las siguientes ciencias naturales:

Tabla 4

Métodos no paramétricos en ciencias naturales

Área	Problema típico	Método no paramétrico
Ecología	Distribución espacial de especies	KDE espacial
Hidrología	Caudales extremos	Pruebas de rangos
Climatología	Tendencias meteorológicas	Test de Mann–Kendall
Biología	Curvas de supervivencia	Estimador Kaplan–Meier
Geociencias	Variabilidad de sedimentos	Bootstrap

Nota: Tabla elaborada con referencia de Helsel et al. (2020).

2.2.2. Propagación de Sequías

La sequías son procesos secuenciales, se describen de acuerdo a la propagación del déficit de precipitación y puede trasladarse a través del ciclo hidrológico hasta afectar el volumen y flujo en los ríos. Según Zhou et al. (2024), los mecanismos de propagación de una sequía son identificados mediante estos fenómenos críticos:

- **Agrupamiento:** evidenciado por periodos cortos y constantes de lluvia se combinan para formar un único evento de sequía prolongado en el área geográfica.
- **Atenuación:** la zona geográfica y ecosistemas suavizan el pico de la sequía, aun con la falta de lluvia extrema, el flujo de los ríos disminuye lentamente.
- **Retraso:** existe relación cronológica entre el valor significativo de sequía y el impacto en el volumen superficial del área geográfica.
- **Alargamiento:** persistencia de la sequía en los ecosistemas y su resalto en la escorrentía, incluso después de precipitaciones retorna a niveles normales.

El retraso ese el indicador de mayor importancia en este fenómeno, representa el tiempo que tarda el déficit de precipitaciones en convertirse a un déficit de flujo superficial, un desfase intrínsecamente ligado en la memoria hidrológica del área, lo

cual puede determinarse con la reducción de caudal (Keyantash & Dracup, 2002). Ese proceso de transferencia ayuda a identificar la vulnerabilidad de regiones hidrológicas y cuencas en mostrar el tiempo de retraso de almacenamiento y periodos de recuperación en el agua disponible.

2.2.3. Tipología de las Sequías

La sequía es un fenómeno multiforme que evoluciona en ciclo hidrológico, el déficit de agua y el impacto sectorial define el comportamiento físico en las distintas formas que se manifiesta una sequía. Su tipología se basa en las desviaciones sostenidas del agua dentro del sistema hidrológico. De las diversas clasificaciones en la ocurrencia del evento, la más resaltante es la de (Marcos Valiente, 2001), que distribuye las sequías basadas al sistema de almacenamiento de la siguiente manera:

Tabla 5

Clasificación de sequías

Tipo	Nivel geográfico	Indicador	Proceso físico
Meteorológica o Atmosférica	Atmósfera	SPI (Índice de Precipitación Estandarizado)	Altas presiones y bloqueo de frentes.
Agrícola	Rizosfera	SMA (Anomalía de Humedad del Suelo)	Déficit de agua disponibles para transpiración.
Hidrológica	Drenaje hídrico	Caudal de estiaje	Agotamiento de flujo base y almacenamiento superficial.
Hidrogeológica	Acuíferos	Nivel piezométrico	Descenso de nivel freático por falta de recarga.

Nota: Tabla elaborada con referencia de Marcos Valiente (2001).

Una sequía meteorológica se refiere a un periodo prolongado de precipitación inferior al promedio climático regional que es manifestado hacia una inicial de este fenómeno, cuando este déficit atmosférico persiste, sus efectos se extienden hacia los componentes hídricos generando reducciones en su almacenamiento y flujos de

escorrentía superficial y subterráneo, esto conlleva a ser derivada como una sequía hidrológica, obviamente ambas interpretadas al mismo proceso de deficiencia hídrica (Wilhite & Glantz, 1985). Ambos fenómenos no son independientes ya que están interrelacionadas y reflejan la evolución del déficit hídrico en cuencas hidrográficas, cuya ocurrencia y severidad dependen de la duración del déficit de precipitaciones como las características del sistema hidrológico (Snyder & de Melo-Abreu, 2005).

2.2.4. Análisis multiescalar de sequías

Se fundamenta a la distribución no uniforme del déficit de precipitaciones, la escala temporal representa el periodo de acumulación de agua necesario que manifieste estrés hídrico en el sistema hidrológico, el análisis multiescalar permite identificar como cada componente del ciclo hidrológico responde a la acumulación del déficit en el tiempo (Van Loon, 2015), esa complejidad es obtenida mediante índices métricos de desviación estadística, en ellos se considera a los siguientes:

- SPI (Índice de Precipitación Estandarizado), mide anomalías en la lluvia, identifica sequías meteorológicas en escalas de 1 a 24 meses.
- SPEI (Índice de Precipitación-Evapotranspiración Estandarizado), incluye la temperatura, mide el balance hídrico, vital para detectar sequías agrícolas.
- SSI (Índice de Caudal Estandarizado), normaliza volúmenes agua de ríos, indicador principal de sequía hidrológica, permite ver como el déficit acumulado de lluvias afecta el agua superficial.

El SPI, es el índice estándar que la Organización Meteorológica Mundial recomienda en la ciencia del clima, una herramienta inconstante que requiere datos de precipitación que no utiliza datos crudos, sino que la transforma en desviaciones estándar respecto a la media (Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas, 2013). Ajusta los datos en función de la probabilidad y las distribuye a un modelo de normalidad estándar, esto permite categorizar la sequía según su rareza estadística, su clasificación es referente al valor numérico obtenido en un intervalo desde -2 a +2, valores aproximados significan la intensidad en las variantes positivo

(humedad) y negativo (seco) (Mckee et al., 1993). Como el SPI es multiescalar la técnica se aplica al componente hídrico evaluado de la siguiente manera:

Tabla 6

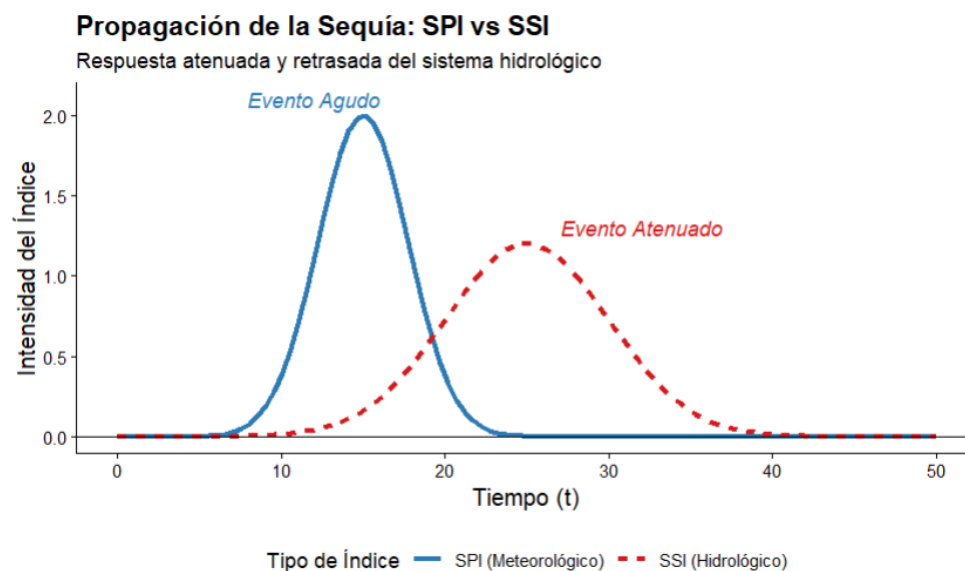
Aplicación de escalas del SPI

Escala (meses)	Técnica	Utilidad de monitoreo
SPI-1 a SPI-3	Corto plazo	Humedad superficial y sequías repentinas.
SPI-6	Plazo medio	Cambios de escorrentía superficial y crecimiento de cultivos en estaciones.
SPI-12	Largo plazo	Caudal de ríos principales y almacenamiento de embalses.
SPI-24 a más	Muy largo plazo	Recarga de acuíferos profundos y variabilidad climática.

Nota: Tabla elaborada con referencia de Mckee et al. (1993).

Figura 4

Prolongación de una sequía meteorológica a una hidrológica



Nota: Ambos eventos son medidos por el SPI, imagen extraída de Van Loon (2015).

También se manifiesta con la propagación de la sequía, un proceso con déficit de lluvia inicial medido por SPI (sequía meteorológica), se traslada con el tiempo hacia las reservas de agua dulce reflejándose en el SSI (sequía hidrológica), el fenómeno se caracteriza por tres factores claves: retraso temporal, el impacto en ríos y acuíferos no

es inmediato, la intensidad, capacidad de almacenamiento y la duración, si el sistema hidrológico permanece en crisis (McEvoy et al., 2016), desde un evento agudo puede convertirse a uno atenuado tal como resalta la figura 4.

2.2.5. Índices espectrales en teledetección hidrológica

Un índice espectral combina datos de reflectancia de bandas espectrales obtenidas mediante algoritmos matemáticos, con el objetivo de especificar alguna propiedad de la superficie (suelo, agua, etc.), el principio de reflectancia radica en la firma espectral, esto describe como un objeto refleja la energía de la longitud de onda, aprovechando este contraste para cuantificar variables biofísicas (Gu et al., 2007).

Los índices se seleccionan según el nivel de estudio y las características del sensor (LANDSAT, SENTINEL) en la descarga de metadatos satelitales, estos sensores mantienen sistemas convencionales a autocorregidos, como el sensor SENTINEL-2 donde los datos poseen corrección atmosférica y radiométrica, la cual estiman los cálculos a 10 m. de la superficie terrestre (Khalid et al., 2021). Generalmente la obtención de bandas espectrales se compone en la siguiente clasificación:

Tabla 7

Índices espectrales de uso común

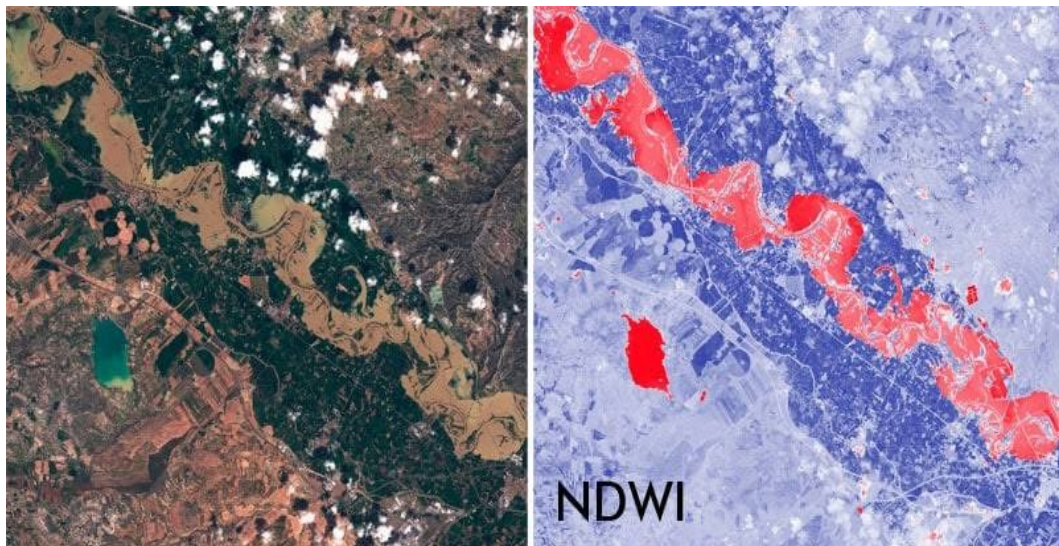
Índice	Nombre Técnico	Ecuación	Aplicación
NDVI	Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada	$(\text{NIR}-\text{R}) / (\text{NIR}+\text{R})$	Vigor fotosintético y biomasa.
NDWI	Índice Diferencial de Agua Normalizado	$(\text{G}-\text{NIR}) / (\text{G}+\text{NIR})$	Delimitación de cuerpos de agua.
NDMI	Índice de Humedad de Diferencia Normalizada	$(\text{NIR}-\text{SWIR}) / (\text{NIR}+\text{SWIR})$	Estrés hídrico del dosel.
SAVI	Índice de Vegetación Ajustado al Suelo	$[(\text{NIR}-\text{R}) / (\text{NIR}+\text{R}+\text{L})] \times (1+\text{L})$	Áreas con vegetación dispersa.

Nota: Tabla elaborada con referencia de Masafu & Williams (2024).

El NDVI evalúa el estado de vegetación por la alta absorción de clorofila en el espectro rojo y alta reflectancia del tejido foliar en el NIR muy apropiada para identificar masas que intervienen en ecosistemas andinos, el NDWI identifica aguas superficiales y humedad superficial muy útiles si quiere observar la reducción de lagunas, embalses y espejos de agua ideales para estudios en comportamientos estacionales de cuerpos hídricos, el NDMI es el índice más sensible al contenido de agua interna de la estructura foliar, la reflectancia en el SWIR detecta pérdida de agua en la planta descartando o afirmando el estrés hídrico en su masa (Mustafa et al., 2017).

Figura 5

Teledetección aplicada a recursos hídricos



Nota: Se observa la diferencia de colores para la identificación de agua y vegetación, imagen extraída de López Rodríguez (2024).

Estos índices son utilizados complementariamente en periodos transversales para la identificación de pérdidas o evolución periódica de elementos ecosistémicos útiles en estudios a gran escala (Martínez de Icaya-Gómez et al., 2025), uno de sus aportes se muestra en la figura 5 aplicándose a la gestión territorial.

2.2.6. Regulación hidrológica de humedales altoandinos

Los bofedales, son ecosistemas hidro mórficos que se caracterizan por suelos orgánicos de baja densidad y contenido de materia orgánica, la capacidad de

infiltración del suelo es superior a la intensidad de la lluvia ello hace que el flujo sea prácticamente disgregado, en lugar de ello este ecosistema reparte horizontalmente y retrasa el agua descargándolo en quebradas y ríos (Céleri & Feyen, 2009).

Tabla 8

Componentes hídricos de humedales altoandinos

Componente	Función de regulación	Impacto geográfico
Infiltración	Captación de agua pluvial y glacial.	Reducción de avenidas (inundaciones).
Almacenamiento	Retención porífera en la turba.	Reserva hídrica anual.
Descarga	Liberación lenta y gradual por gravedad.	Mantenimiento de caudal en temporada seca.
Evapotranspiración	Control de microclima local.	Regulación de la humedad atmosférica.

Nota: Tabla elaborada con referencia de Gonnet & Damian (2021).

La regulación hídrica se fundamenta en las propiedades físicas de la turba, pues posee una porosidad extremadamente alta de hasta 90% que le permite almacenar grandes volúmenes de agua, desde las precipitaciones y deshielo, el bofedal absorbe excedente de agua reduciendo la escorrentía superficial y previniendo la erosión de aguas abajo, a eso se denomina efecto esponja (García & Otto, 2015). Los bofedales mantienen un flujo subsuperficial continuo, este flujo conforma al flujo base de los ríos, garantizando la disponibilidad de agua en temporadas secas, los componentes de la regulación hídrica en humedales altoandinos son los siguientes:

Los bofedales funcionan en forma grupal y son puntos de afloramiento de aguas subterráneas eso conlleva a una conexión entre laderas y humedales en el fondo de valles, la degradación de estos ecosistemas altera su servicio ecosistémico de regulación alterando drásticamente el hidrograma en las cuencas, hace que los ríos sean más estacionales, quiere decir, se cargan demasiado en lluvias y secos en estiaje (Laqui et al., 2024). Los factores que afectan su regulación se establecen en la tabla 9.

Tabla 9*Factores de degradación en humedales altoandinos*

Factor	Efecto físico	Consecuencia
Drenaje artificial	Oxidación de turba.	Perdida irreversible de almacenamiento.
Cambio climático	Menos recarga en deshielo	Descenso de nivel freático.
Sobrepastoreo	Compactación del suelo	Escorrentía erosiva.

Nota: Tabla elaborada con referencia de Wunderlich et al. (2023).

2.2.8. Análisis de tendencias en series hidro climáticas

Las tendencias de series hidro climáticas es un componente fundamental en el estudio de la variabilidad ambiental y el cambio climático. Las series temporales de precipitación, temperatura, caudal fluvial, evaporación y humedad atmosférica presentan características complejas, como no estacionariedad, dependencia temporal, asimetría estadística y presencia de valores extremos (Ruiz-Ochoa et al., 2023).

Una tendencia se define como un cambio monotónico sistemático en el valor esperado de una variable a lo largo del tiempo. La identificación de tales tendencias permite evaluar procesos de cambio ambiental, alteraciones del ciclo hidrológico y efectos del calentamiento global sobre sistemas naturales (Yıldız et al., 2024).

Tabla 10*Comparación de métodos de análisis de tendencias*

Método	Tipo de tendencia	Supuestos
Regresión lineal	Lineal	Normalidad y homocedasticidad
Mann–Kendall	Monótona	No paramétrico
Pendiente de Sen	Magnitud monotónica	No paramétrico
Pruebas de rangos	Cambio general	No paramétrico

Nota: Tabla elaborada con referencia de Yue & Pilon (2004).

La detección de tendencias estadísticamente significativas no implica causalidad directa, sino evidencia de cambio sistemático en la estructura temporal del

sistema, el análisis estadístico constituye una herramienta inferencial dentro de un marco interdisciplinario por ello se existen métodos de análisis de tendencias (Hirsch et al., 1982).

El uso conjunto de la prueba de Mann–Kendall y la pendiente de Sen es especialmente relevante en la investigación sobre cambio climático porque permite detectar y cuantificar tendencias sistemáticas en variables ambientales bajo condiciones de alta variabilidad natural, no normalidad y presencia de eventos extremos, características inherentes a los registros hidro climáticos de largo plazo (SENAMHI, 2020). Estos métodos no paramétricos ofrecen inferencias robustas frente a sesgos derivados de distribuciones desconocidas, datos faltantes y relaciones no lineales, lo que fortalece la validez estadística de la evidencia empírica utilizada para evaluar cambios persistentes en el sistema climático (Alonso Losa, 2022).

2.3. Definición de términos

2.3.1. Bofedales

Los bofedales son ecosistemas hidro mórficos que contienen una vegetación herbácea hidrófila, suelen desarrollarse en suelos de ligeras pendientes o planos, por su textura en forma de almohadilla permanecen saturados de agua y están situados en zonas de alta montaña. Contribuyen al ciclo hidrológico en la regulación y liberación gradual de agua hacia los ríos y quebradas (Ministerio del Ambiente, 2019).

2.3.2. Cuenca hidrográfica

Una cuenca hidrográfica es una zona topográfica delimitada por un río principal y sus afluentes, constituye un sistema de drenaje que depende de la precipitación, la escorrentía depende del relieve, vegetación y el suelo. Las cuencas son fuentes de recarga de agua superficial y subterránea, mantienen la biodiversidad y proporcionan recursos naturales, se pueden clasificar dependiendo al uso y destino del agua, también por su tamaño, son áreas geográficas muy esenciales porque atribuyen

funciones hidrológicas, ecológicas, ambientales y socioeconómicas (Araque et al., 2019).

2.3.3. Déficit hídrico

Es la escasez de agua en un territorio, esto se da cuando la demanda hídrica supera la disponibilidad del mismo recurso. Es una problemática a nivel mundial y puede intensificarse por fenómenos extremos y anomalías meteorológicas lo que mantiene que el déficit de agua se prolongue y cause restricciones en su uso como también la accesibilidad en su consumo (Wheeler et al., 2018).

2.3.4. Disponibilidad de agua superficial

La disponibilidad de agua superficial está comprendida al volumen presente de cuerpos de agua (ríos, lagunas, lagos, acuíferos) que se hallan en una cuenca hidrográfica, el agua superficial depende de los factores como la precipitación, evapotranspiración y la cuantificación del balance hídrico, lo cual es clave para la planificación en las demandas de uso, evitar déficit hídrico y gestiones que se hallan en su territorio (Silva-Hidalgo et al., 2013).

2.3.5. Índice Estandarizado de Precipitación (SPI)

El SPI es un indicador que cuantifica anomalías en la precipitación a manera probabilística, evalúa la severidad, duración de sequías y excesos de lluvias. Se calcula ajustando los datos de precipitación histórica a una distribución de probabilidad transformándolos en valores de normalización, un SPI negativo indica condiciones secas, un SPI positivo indica condiciones húmedas, sus valores extremos reflejan sequías severas e intensidad de precipitaciones. Es muy útil en el análisis de estudio de la disponibilidad de agua y acuíferos en un territorio y en escalas de evaluación que se deriva desde 1 a 24 meses (Organización Meteorológica Mundial, 2012).

2.3.6. Índice Normalizado de Agua (NDWI)

El NDWI es un indicador de teledetección de cuerpos de agua mediante imágenes espectrales satelitales, se calcula mediante la reflexión de espectros entre el infrarrojo cercano y la banda verde, ello permite que las superficies de agua resalten entre la vegetación y el suelo seco. Este índice facilita los cambios de extensión de cuerpos de agua (inundaciones o sequías), son obtenidas mediante sensores para producir imágenes satelitales que contribuyen a la precisión en la cartografía (McFeeters, 1996).

2.3.7. Proyecciones climáticas

Son estimaciones de escenarios climáticos futuros que se basan en modelos matemáticos, se desarrollan con técnicas estadísticas y dinámicas para diferentes regiones. Busca determinar modelos futuros sobre niveles de emisión de los gases de efecto invernadero, temperatura y precipitaciones para encontrar sus tendencias, ello permite determinar la vulnerabilidad de ecosistemas y otros factores para su mitigación y adaptación al cambio climático (SENAMHI, 2009).

2.3.8. Resiliencia

Es la disposición, adaptación y recuperación de la naturaleza y el hombre a los efectos del cambio climático, implementando estrategias de mitigación y anticipación frente a eventos extremos (inundaciones, sequías, olas de calor) (Kawamura & Brady, 2022).

2.3.9. Riesgo de sequía

Es la probabilidad o amenaza de sequía que puede vulnerar en un territorio, su evaluación consta de tres componentes: el peligro, el Índice de Precipitación Estandarizado (SPI) y la vulnerabilidad para determinar indicadores de severidad, duración y frecuencia. Para su análisis se ocupan factores ambientales, socioeconómicos y la densidad poblacional, estos permiten lograr una estimación de

métodos estadísticos, lo cual relaciona la disponibilidad de agua, uso de suelo y zonas de alto riesgo que pueden estar bajo el impacto de sequías (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología, 2016).

2.3.10. Sequía

Se considera como sequía a un evento de severidad que depende de la gestión del agua en un territorio, la disminución o inusual disponibilidad de agua es causada por la falta de precipitaciones o variación en la distribución del agua, cuando los promedios históricos son mínimos se experimentan déficit de indicadores hidrológicos y pueden alterar los ecosistemas y generar agentes vulnerables en una población, la escasez de agua está vinculada al cambio climático ya que está vinculado a la alteración en los fenómenos meteorológicos (Velasco et al., 2005).

2.3.11. Sistema de Información Geográfica (SIG)

Los Sistemas de Información Geográfica son plataformas que combinan base de datos, cartografía, modelos matemáticos para generar análisis espacial para diversos campos, sus herramientas tecnológicas permiten almacenar, y visualizar datos espaciales georreferenciados, es muy eficaz en el monitoreo de recursos naturales, planificación urbana y la gestión ambiental, de ello se consolida mapas, información cartográfica relevante y modelos de procesamiento de información geográfica (Olaya, 2014).

2.4. Hipótesis

2.4.1. Hipótesis general

La disponibilidad de agua superficial de los bofedales de la cuenca del río Ichu influye significativamente en el riesgo de sequías en la ciudad de Huancavelica, considerando las variaciones estacionales proyectadas para el año 2025.

2.4.2. Hipótesis específica

- El estado de conservación de los bofedales en la cuenca del río Ichu influye en su disponibilidad de agua superficial a lo largo del año 2025.
- Existe una correlación significativa entre la disponibilidad de agua superficial de los bofedales y el Índice de Sequía Estandarizado (SPI) en la ciudad de Huancavelica.
- Las proyecciones de disponibilidad de agua superficial de los bofedales permiten estimar el riesgo de sequías en la ciudad de Huancavelica para los próximos 5 años.

2.5. Variables

2.5.1. Variable Dependiente

Riesgo de sequias en la ciudad de Huancavelica.

2.5.2. Variable Independiente.

Disponibilidad de agua superficial en los bofedales de la cuenca del rio Ichu.

2.6. Operacionalización de variables

Tabla 11

Cuadro de operacionalización de variables

Variable	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensiones	Escala	Indicadores	Unidad	Instrumento	Técnica
Disponibilidad de agua superficial en los bofedales (Variable independiente).	Es la cantidad de agua en su capacidad superficial que mantienen los bofedales durante el año, son influenciadas por factores ambientales y climáticos	Se evaluó por medio de imágenes satelitales para determinar los cuerpos de agua y sus cambios en la humedad del suelo, también monitoreos en campo.	Extensión del área con agua superficial. Variación temporal del recurso hídrico.	-1 a +1 m ³ ha	Índice Diferencial de Agua Normalizado (NDWI). Índice de Humedad de Diferencia Normalizada (NDMI).	Índice (NDWI, NDMI). Metros cúbicos de agua superficial. Hectáreas de cobertura hídrica.	Imágenes satelitales (LANSAD, SENTINEL). Sistemas de Información Geográfica (SIG). Datos hidro-meteorológicos.	Análisis de imágenes satelitales. Procesamiento SIG. Análisis estadístico de datos hidrológicos.

	(Anthelme et al., 2014).				Volumen de agua en bofedales.		Datos de monitoreo en campo.	
Riesgo de sequías (Variable dependiente)	Es la probabilidad de ocurrencia de sequías en una cuenca, se evalúa a partiendo de datos de precipitación acumuladas en diferentes escalas de tiempo (Cieza & Mejía, 2019).	Se analizó los valores del Índice Estandarizado de Precipitación (SPI), para identificar los periodos de sequía y su intensidad propuesta por la metodología de (Mckee et al., 1993).	Intensidad de la sequía.	-2 a +2	Valores del SPI en escalas de 1, 3, 6 meses.	Índice SPI (valores negativos indican sequía).	Datos meteorológicos del SENAMHI y NOAA.	Análisis de series temporales de precipitación.
			Frecuencia de la sequía.	mm	Promedio de la precipitación en la cuenca.	Milímetros de precipitación.	Cálculo del SPI a partir de series de precipitación.	Cálculo del SPI.

CAPITULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Ámbito temporal y espacial

3.1.1. Ámbito temporal

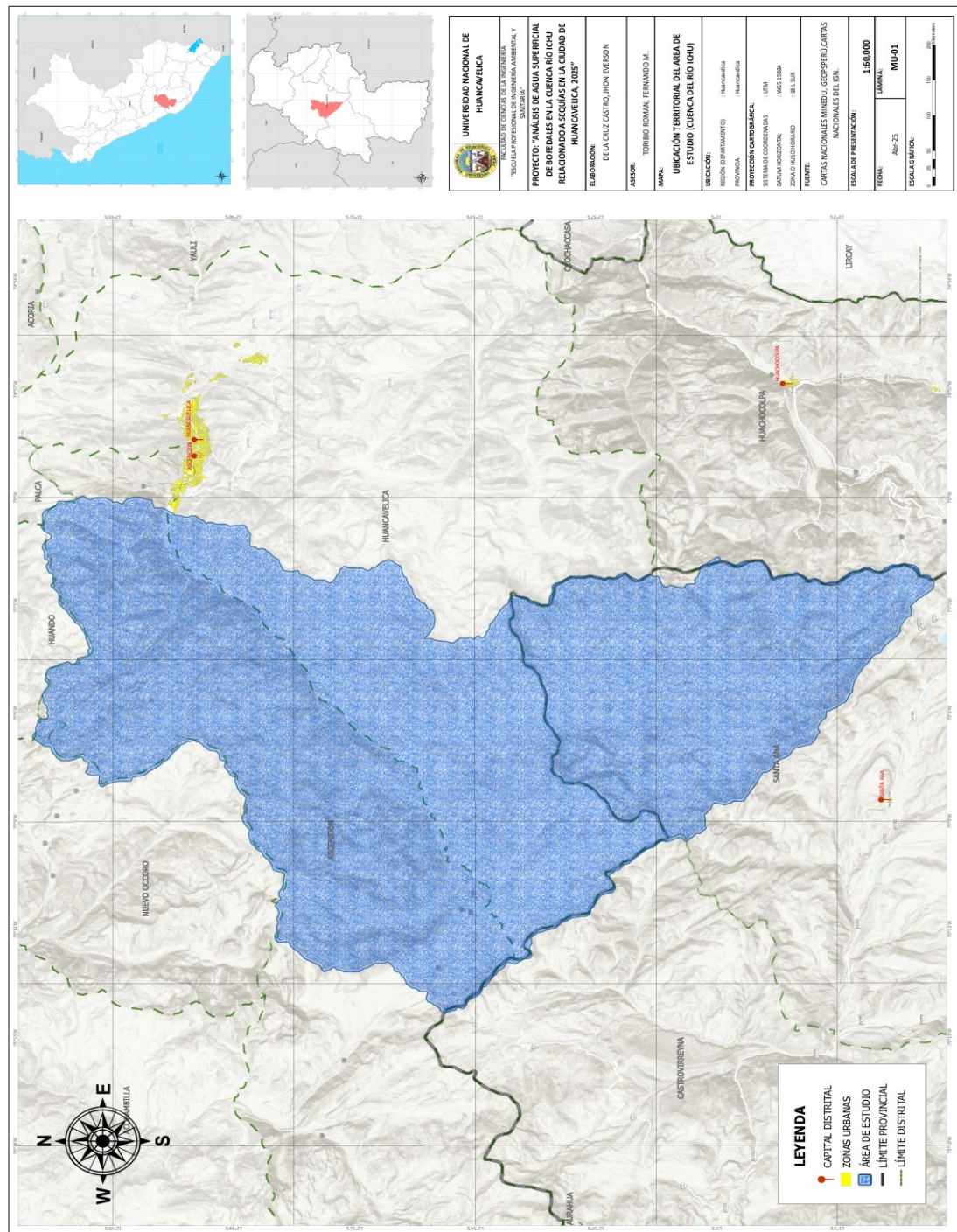
El trabajo de investigación se realizó en el periodo 2025, considerando su evaluación en las diferentes temporadas del año, también se consideró datos históricos para contrastar tendencias.

3.1.2. Ámbito espacial

Está comprendido por la cuenca del río Ichu, enfocándose en la identificación de los bofedales que inciden directamente para el curso de río Ichu hacia la ciudad de Huancavelica. El área de estudio se sitió en los distritos de Ascensión y Huancavelica de la provincia de Huancavelica y el distrito Santa Ana de la provincia de Castrovirreyna que a su vez conforma la microcuenca del río Ichu perteneciente a la macrocuenca del río Mantaro, cuya red hidrográfica pertenece a la vertiente del Amazonas.

Figura 6

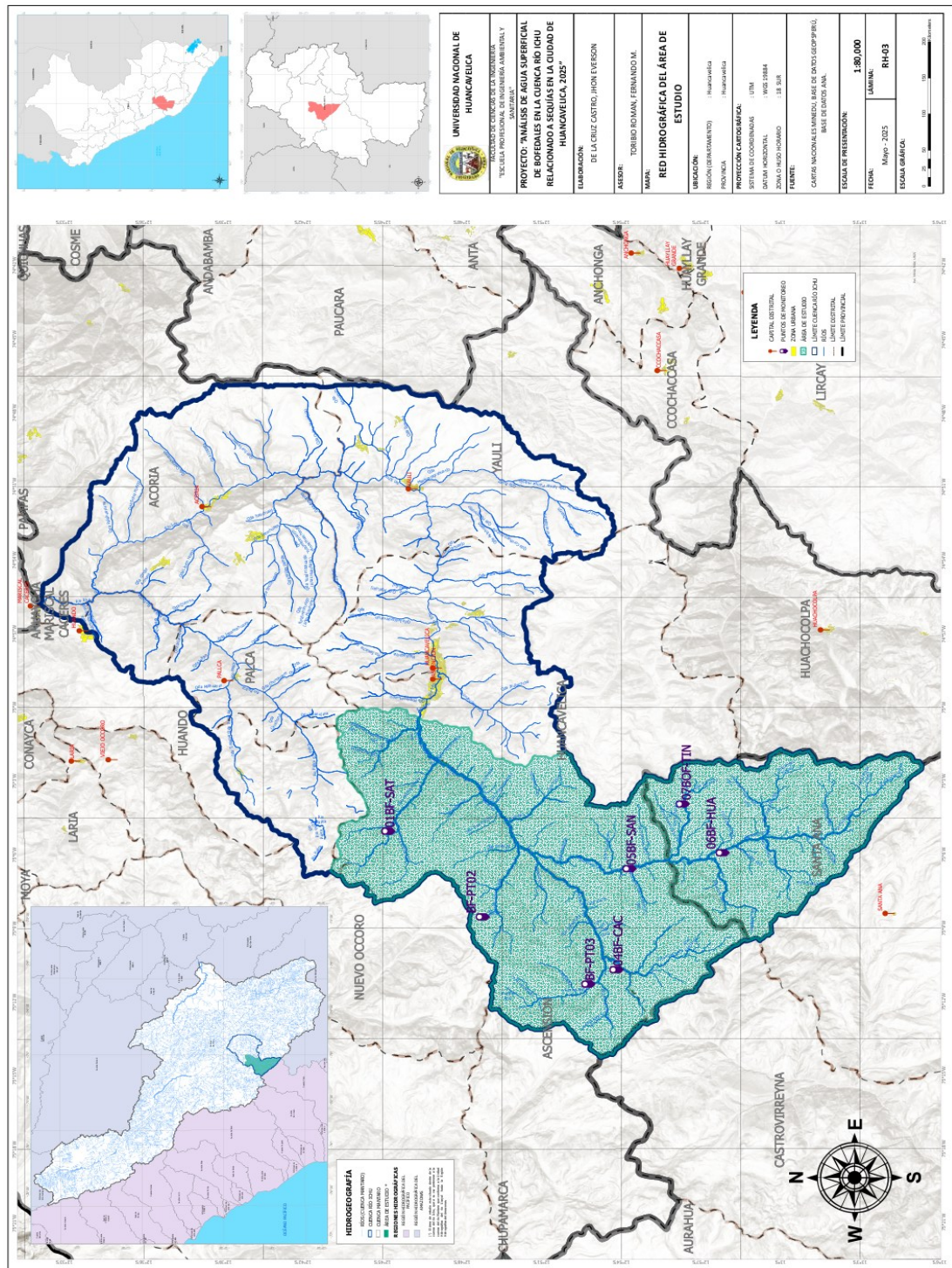
Ubicación geográfica del área de estudio (Subcuenca media preurbana del río Ichu)



Nota: Para determinar el área de estudio, se colocó como punto de aforo en aguas arribas del río Ichu inmediatas a su ingreso a la ciudad de Huancavelica, es decir tiene el mismo límite de su cuenca, pero delimitada por el punto de aforo.

Figura 7

Hidrografía del área de estudio (Subcuenca media preurbana del río Ichu)



Nota: Es importante conocer la red de ríos que conforma la microcuenca del río Ichu y su influencia como recurso en el país.

3.2. Tipo de investigación

La investigación fue aplicada, ya que su finalidad fue generar datos que permitan comprender la disponibilidad de agua superficial en los bofedales de la cuenca del río Ichu y su relación con el riesgo de sequías, implicando la gestión de los recursos hídricos para la región, Hernández et al. (2014), destaca que la investigación aplicada encuentra soluciones a problemas específicos utilizando el conocimiento científico en escenarios reales, quiere decir que el estudio no solo describe el fenómeno, también proporciona información necesaria para la planificación, en este caso para la conservación del agua bajo un régimen de variación climática.

3.3. Nivel de investigación

El nivel de investigación fue correlacional, pues se buscó el análisis entre la disponibilidad de agua superficial en los bofedales de la cuenca del río Ichu relacionado al riesgo de sequías, que fue medido por medio del índice SPI. Según Hernández et al. (2014), la investigación correlacional tiene como finalidad determinar el grado de asociación entre dos o más variables sin establecer causalidad directa.

3.4. Métodos de investigación

3.4.1. Método general

El método general que guio esta investigación fue el método científico, pues proporciono un enfoque sistemático y estricto para la recopilación, análisis e interpretación de datos hacia el objetivo de comprender la relación entre la disponibilidad de agua en los bofedales de la cuenca del río Ichu y el riesgo de sequías. Este método es elemental para estudios ambientales, lo que conlleva a generar conocimiento basado en evidencia empírica y verificable (Hernández et al., 2014).

3.4.2. Método específico

La investigación se sostuvo en el método cuantitativo, dado que se basó en la recolección y análisis de datos numéricos adquiridos por fuentes hidrometeorológicas y satelitales, dando posibilidad de medir la disponibilidad de agua superficial y su variación en el año. También, se aplicó el método correlacional, ya el propósito fue asociar y determinar el grado de la variabilidad hídrica hacia el riesgo de sequías, medido a través del índice SPI (Vásquez Ramírez et al., 2023). Además, se aplicó el método geoespacial, pues esta investigación utilizó herramientas SIG y técnicas de teledetección, que fue esencial para analizar los cambios espacios – temporales en los bofedales (Bozzano et al., 2014). Se añadió también el método analítico, ya que permitió que una variable relacionada al tiempo, como es la disponibilidad de agua y su variación en el año, se integró a la interpretación global, así facilitó la comprensión del problema en su impacto del recurso hídrico en la ciudad de Huancavelica (Fuenzalida et al., 2015).

3.5. Diseño de investigación

Esta investigación presentó el diseño no experimental, de tipo correlacional y longitudinal.

Diseño no experimental porque no se manipuló la variable independiente, pues se observó y analizó el ambiente natural (Hernández et al., 2014), ello permitió evaluar la relación entre la disponibilidad de agua en los bofedales de la cuenca del río Ichu y el riesgo de sequías en Huancavelica.

Diseño correlacional, porque estableció la agrupación entre la variabilidad hídrica y el índice de sequías SPI y no intervino en las condiciones naturales de los bofedales, lo cual fue ideal cuando el objetivo fue medir el grado de relación entre variables sin necesidad de contribuir a la causalidad (Bernal, 2010).

Diseño longitudinal, porque se analizaron datos actuales sobre la disponibilidad de agua e información histórica de los índices de sequía durante el

periodo de estudio en el año 2025, este análisis permitió identificar las tendencias que influyeron en el riesgo de sequías. Para el desarrollo de esta investigación, se ejecutó el esquema que se detalla a continuación.

$$M \rightarrow D (A, \text{SPI})$$

Donde:

M: Muestra de bofedales en la cuenca del río Ichu.

D (A, SPI): Disponibilidad de agua superficial y su relación con el índice SPI.

A: Disponibilidad de agua superficial.

SPI: Índice de Precipitación Estandarizado (riesgo de sequía)

3.6. Población, muestra y muestreo

3.6.1. Población de investigación

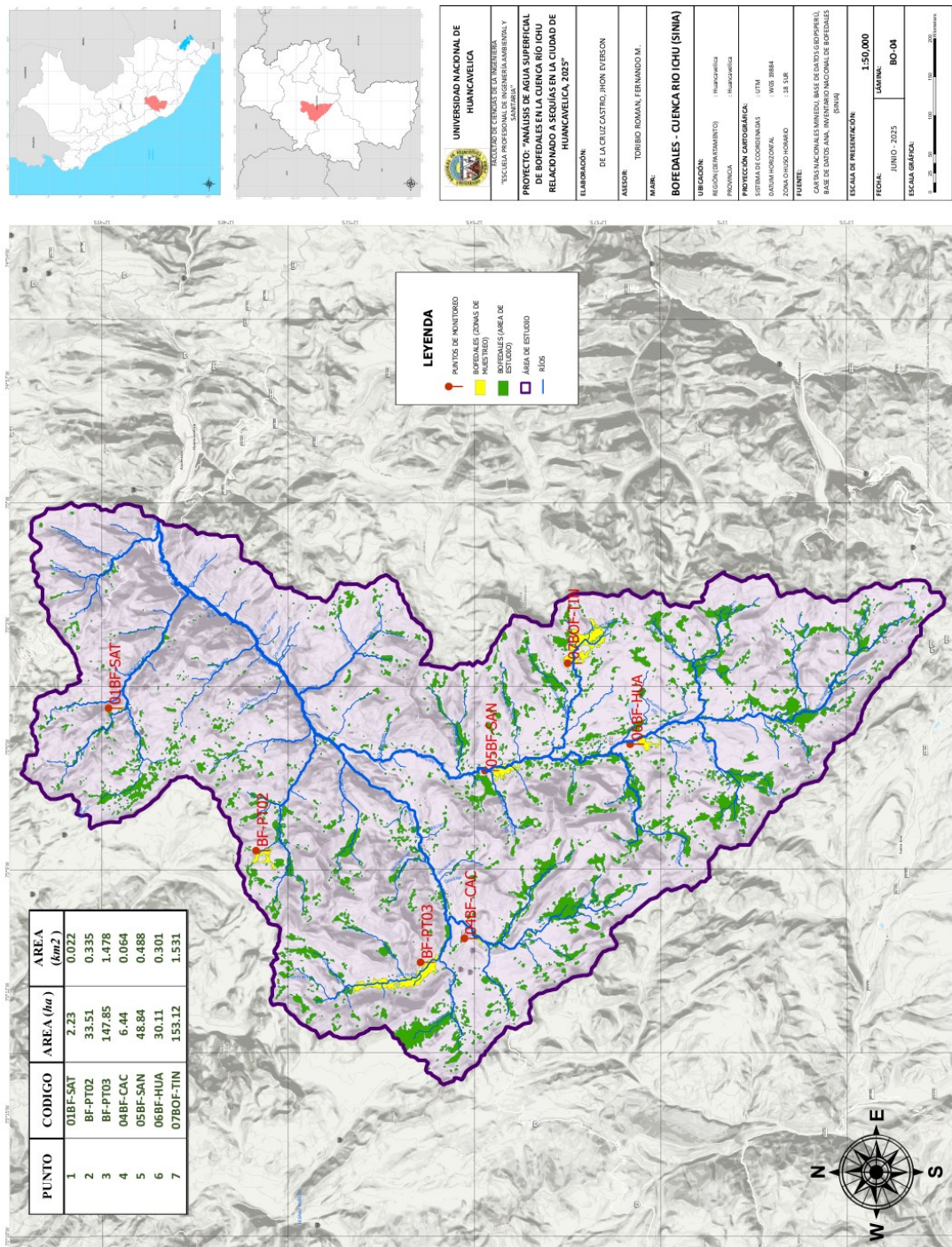
La población de estudio estuvo conformada por los bofedales en la cuenca del río Ichu que pertenecen al área de estudio, que influyen directamente al cauce del río que atraviesa la ciudad de Huancavelica. Esta población comprendió una superficie total de 5124 ha. de humedales situados en zonas altoandinas, identificados como fuentes principales de recarga y origen al río Ichu.

3.6.2. Muestra de investigación

La muestra se estableció por 7 puntos de monitoreo, que en conjunto abarcaron la superficie total de 422.10 ha. de bofedales dentro del área de estudio, estratégicamente seleccionadas en áreas representativas de bofedales dentro del área de estudio, el criterio se basó en la accesibilidad, representatividad y geografía, que permitió registrar variaciones de la disponibilidad hídrica durante el periodo longitudinal que culminó en el año 2025.

Figura 8

Selección de bofedales para su estudio (Subcuenca media preurbana del río Ichu) en el periodo 2025



Nota: La información sobre los datos geoespaciales se obtuvo del inventario del Sistema Nacional de Información Ambiental SINIA (2023).

3.6.3. Muestreo de la investigación

Se empleó un muestreo no probabilístico por criterio, ya que la selección de los bofedales dependió de la ubicación en altitud, la cual influye directamente al flujo del río atraviesa a la ciudad de Huancavelica, o de su relevancia hidrológica, también se consideraron los datos históricos disponibles y la susceptibilidad de las bofedales a las estaciones del año, este método se consideró adecuado, dado que se trabajó con análisis espectrales y series temporales para estudios temporales (Turne et al., 2007).

3.7. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

3.7.1. Técnica de recolección de datos

Como técnica principal se empleó la observación remota o teledetección para analizar la disponibilidad de agua superficial en los bofedales mediante el procesamiento de imágenes satelitales. Estas imágenes captadas por sensores ópticos y de radar, permiten registrar información del espectro electromagnético en diversas bandas, facilitando la identificación de cuerpos de agua y el seguimiento de su variación temporal a escala anual y estacional (Velásquez-Franco et al., 2024).

Para complementar la validación y análisis de información obtenida por la teledetección se emplearon las siguientes técnicas:

- **Monitoreo en campo:** se seleccionaron siete puntos estratégicos de muestreo donde se realizaron mediciones periódicas de indicadores de disponibilidad de agua superficial para validar la información derivada de las imágenes satelitales.
- **Recopilación de datos históricos y análisis documental:** se utilizó registros históricos de precipitación provenientes de la plataforma Climate Hazard Group InfraRed Precipitation with Station Data (CHIRPS), y contrastados con información nacional del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI).

- Aplicación del Índice de Precipitación Estandarizado (SPI): este índice se emplea para evaluar la frecuencia e intensidad de sequías en el área de estudio. El cálculo del SPI se basa en el ajuste probabilístico de la serie histórica de precipitación a una distribución gamma, el cual posteriormente transforma a una distribución normal estándar. El SPI se expresa matemáticamente como:

$$\text{SPI} = (X - \mu) / \sigma$$

Donde:

X : precipitación acumulada respecto a periodo de análisis.

μ : media histórica de precipitación.

σ : desviación estándar de la precipitación.

Se selecciona la escala temporal (3, 6, 12 a más meses), se ajusta la serie de precipitación a una distribución gamma, posterior se transforma la probabilidad acumulada a la distribución normal estándar y así se obtiene el valor de SPI como desviación tipificada, valores negativos indican condiciones secas y valores positivos indican condiciones húmedas (Mckee et al., 1993).

3.7.2. Instrumento de recolección de datos

Para la teledetección y observación remota:

- Imágenes satelitales Sentinel-2.
Alta resolución espacial (10 m.), periodicidad y revisita sistemática, procesamiento en Copernicus Browser. Validez de datos satelitales mediante calibración radiométrica absoluta, corrección ortorrectificada y corrección atmosférica.
- Software de análisis geoespacial: ArcGIS PRO.
Trazabilidad de flujos de trabajo, procedimiento de análisis espacial y control de errores. Validez analítica sustentada con el uso de algoritmos de procesamiento raster, análisis multitemporal y georreferenciación espacial.

Para el monitoreo en campo:

- Sensores portátiles de humedad y caudalímetros.
Mediciones repetidas, tramo de aforo controlado, promedio de velocidades. Validez fundamentada por la estimación directa del caudal por la relación física entre área hidráulica y flujo superficial.
- Cuaderno de campo.
Registro estructurado y sistemático de observaciones. Validez por la documentación directa y trazabilidad de datos.
- GPS.
Consistencia espacial de mediciones y precisión métrica. Validez mediante posicionamiento satelital GNSS dentro del sistema geodésico.

Para la datos históricos y registro documentario.

- Datos globales CHIRPS.
Continuidad temporal de la serie, control automatizado y validación cruzada con estaciones meteorológicas. Validez fundamentada en la estimación cuantitativa mediante integración satelital infrarroja y registros pluviométricos calibrados regionalmente.

Para el índice SPI:

- Modelo del Índice de Precipitación Estandarizado.
Aplicación de algoritmos estandarizados, Validez estadístico basado en transformación probabilística a distribución estándar.

3.8. Técnica de procesamiento y análisis de datos

3.8.1. Técnicas de procesamiento

La primera etapa consistió en organizar y estructurar y estandarizar los datos hidrometeorológicos, los registros fueron sistematizados en el programa Microsoft

Excel y posteriormente procesados en el entorno estadístico RStudio para su análisis cuantitativo. La información geoespacial de imágenes satelitales fue procesada en ArcGIS PRO mediante métodos de análisis multiespectral y análisis espacial raster, obteniéndose mapas temáticos de acuerdo a los trabajos exigidos.

En la segunda etapa, se aplicaron procedimientos de control de calidad mediante la prueba de Boxplot para la detección de valores atípicos y la prueba de Grubbs para su corroboración estadística. Conllevado esta validación, se emplearon métodos no paramétricos para el cumplimiento de los objetivos: la correlación de Spearman para el análisis de asociación y la prueba de Kruskal-Wallis para la comparación de grupos. Estos análisis se ejecutaron mediante algoritmos en RStudio, permitiendo finalmente validar los datos de campo a través de una comparación temporal con registros históricos de precipitación.

Para el análisis de series temporales, se examinan tendencias en los ciclos de precipitación mediante pruebas estadísticas como Mann-Kendall, por último, para los índices del NDWI y NDMI, se calcularán los índices espectrales para evaluar la disponibilidad de agua superficial en los bofedales

En el análisis de disponibilidad de agua y el riesgo de sequias, se calcularon los índices espectrales en cada punto de monitoreo, también se aplicó la prueba estadística de Mann-Kendall a las variables SPI, NDWI y el caudal mediante para ver su comportamiento en el área de estudio. Para el SPI, se empleó datos de precipitación histórica, determinando su frecuencia, intensidad de sequias en escalas temporales de 3, 6 y 12 meses. generando indicadores hidrometeorológicos. Los resultados fueron representados mediante gráficos y tablas.

Finalmente, se aplicaron métodos estadísticos para evaluar la relación entre la disponibilidad de agua superficial y el SPI. Se empleo el análisis no paramétrico mediante el coeficiente de correlación de Spearman, considerando un nivel de significancia $\alpha = 0.05$, para determinar la asociación dichas variables; asimismo, se utilizó el modelo de regresión lineal múltiple para identificar las variables predictoras en la reducción de agua, evaluando la significancia de sus coeficientes; por último, se

aplicó la prueba de Kruskal-Wallis como alternativa no paramétrica al análisis de varianza, con el fin de comparar las diferencias significativas en la disponibilidad hídrica a nivel estacional y bajo distintos escenarios de sequía.

3.8.2. Análisis de datos

Se calcularon estadísticos básicos para caracterizar la disponibilidad de agua y los valores del SPI, se elaboraron tablas, gráficos y mapas temáticos para visualizar la evolución de variables en el tiempo y el espacio. Se aplicó el coeficiente de correlación de Spearman para evaluar la relación entre la disponibilidad de agua superficial y el SPI en diferentes escalas. Se generaron mapas o cambios en la cobertura de agua en los bofedales utilizando imágenes Sentinel – 2 y se aplicaron técnicas de clasificación para delimitar las áreas de los bofedales con reducción hídrica.

Respecto a la medición de la correlación, se utilizó el coeficiente de correlación de Spearman, técnica adecuada cuando ambas variables no presentan distribución normal. Los valores del volumen de agua superficial y del SPI fueron cuantitativas continuas, y solo algunas variables cumplieron el supuesto de normalidad por ello se aplicó el coeficiente de correlación de Spearman (ρ) considerando asimetrías o presencia de valores atípicos. También se elaboraron diagramas de Dispersión para visualizar gráficamente la relación entre variables.

Finalmente, se desarrolló el análisis espacial mediante SIG para estudiar la relación espacial entre bofedales y la distribución del SPI. Se implementaron modelos de evaluación de escenarios del SPI en función de las tendencias observadas en las últimas décadas y se analizó la variabilidad estacional de la disponibilidad de agua mediante las variables relacionadas, también se empleó el análisis de tendencias de Mann Kendall para detectar cambios significativos en las series de datos considerando un nivel de significancia de $\alpha = 0.05$.

CAPITULO IV

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1. Análisis de información

4.1.1. Procesamiento de datos satelitales

Se delimitó el área geográfica donde se situaron los puntos de monitoreo, dicha área se incluye en la cuenca hidrográfica del río Ichu. Luego se obtuvo las imágenes satelitales por medio de la teledetección con el sensor óptico multiespectral SENTINEL – 2, que proporciona la misión “Copernicus” de la Agencia Espacial Europea (ESA). Seguidamente se clasificó y determinó las bandas espectrales en cada imagen satelital para calcular los siguientes índices espectrales: Índice Normalizado de Agua (NDWI), Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) y el Índice de Humedad de Diferencia Normalizada (NDMI); estos índices ayudaron a visualizar cuerpos de agua, contenido de humedad, densidad de vegetación, cobertura vegetal y el contenido de agua en la vegetación en periodos mensuales para finalmente cuantificarlos en valores situados de cada punto de monitoreo.

4.1.1.1. Selección de áreas y asignación de puntos de monitoreo

Tabla 12

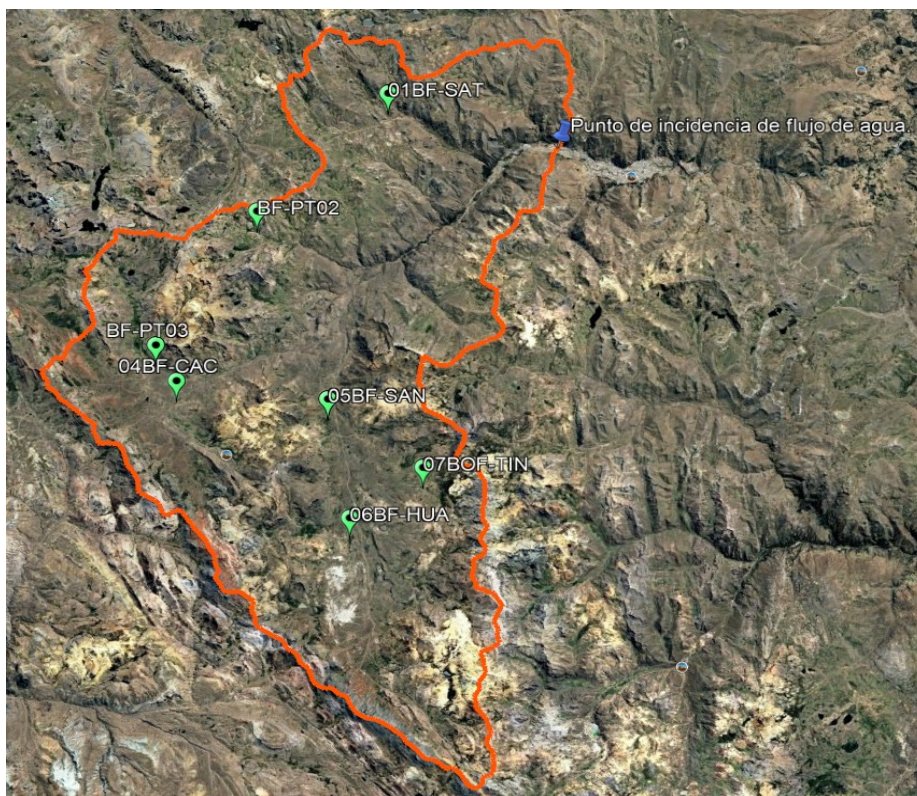
Coordenadas UTM de puntos monitoreados en la Subcuenca media del río Ichu

Punto	Código	Longitud (E)	Latitud (N)	Altitud (m.s.n.m.)	Referencia geográfica
1	01BF-SAT	490883	8589566	4417	Satco
2	BF-PT02	484563	8582997	4654	Sacsalla
3	BF-PT03	479608	8575663	4443	Cachimayo
4	04BF-CAC	480670	8573713	4480	Cachimayo
5	05BF-SAN	488115	8572798	4451	San Pedro de Lachoc
6	06BF-HUA	489288	8566326	4544	Huacctawasi
7	07BOF-TIN	492882	8569111	4665	Tinquerccocho

Nota. Elaboración propia.

Figura 9

Delimitación del área de estudio (Subcuenca media preurbana del río Ichu)



Nota. Los iconos verdes indican la posición de los puntos de monitoreo.

Considerando los criterios para la delimitación de una cuenca hidrográfica, el punto de incidencias (icono azul en la figura 9) situado en el río Ichu, es el punto de aforo para la delimitación del área de estudio, dicho punto es estratégico por su ubicación aguas arriba de la ciudad de Huancavelica e ingreso del río Ichu a la ciudad, concluyendo que el área de estudio comprendería la misma cuenca hidrográfica, pero teniendo como límite al punto de incidencias.

4.1.1.2. Descarga de imágenes satelitales.

Para la obtención de imágenes satelitales, se accedió a la plataforma “Copernicus Browser” de la ESA que posee algunos satélites o sensores remotos con funcionalidad hasta la actualidad, pero para el cálculo preciso de índices espectrales se utilizó el satélite SENTINEL - 2, cuyas atribuciones son las siguientes:

Tabla 13

Generalidades del uso del sensor remoto Sentinel - 2

Generalidad	Descripción técnica
Alta resolución espacial	Resolución de imágenes de 10 m., 20m. y 60 m. según la banda espectral.
Alta resolución temporal	Los satélites de la misión SENTINEL, revisita o recolecta imágenes en periodos de 5 a 15 días.
Cobertura espectral amplia	Tiene sensores MSI, que captan 13 bandas espectrales.
Acceso libre y gratuito	Las plataformas para Sentinel – 2, son de acceso gratuito Copernicus Open Access Hub.
Corrección atmosférica estandarizada	Para análisis espectrales los productos de Sentinel – 2, están en nivel 2A, que incluyen corrección atmosférica y radiométrica.

Fuente: SENTINEL-2 User Handbook (2021).

El satélite Sentinel – 2 mantiene la capacidad de extraer información multispectral en alta resolución espacial, al poseer banda de 10 m. o 20 m. contribuyen a distinguir variaciones de la disponibilidad de agua superficial en los bofedales, la reflectancia de estas bandas mejora los pixeles de acuerdo a la variabilidad en estaciones de la cobertura vegetal, suelo y humedad, lo cual infiera al

momento de monitorear bofedales ya que mantienen áreas pequeñas y heterogéneas. A continuación, se muestran las bandas espectrales que atribuye el satélite. El satélite Sentinel – 2, orbita al planeta a una altitud de 736 km. y pasa por el mismo punto o lugar en periodos de 5 a 15 días manteniendo una obrita heliosincrónica, quiere decir que pasa por el lugar a la misma hora, una ventaja para descargar la data de las imágenes en periodos de 10 días, 15 días o 20 días.

Tabla 14

Lista de bandas espectrales del satélite Sentinel – 2

Banda	Región espectral	Ancho banda (nm)	Resolución (m)	Aplicaciones principales
B1	Aerosol costero / azul profundo	20	60	Corrección atmosférica, detección de aerosoles y cuerpos de agua someros.
B2	Azul	65	10	Análisis de cuerpos de agua, vegetación y zonas húmedas.
B3	Verde	35	10	Cálculo de NDWI, estimación de clorofila y vigor vegetal.
B4	Rojo	30	10	Cálculo NDVI discriminación de cobertura vegetal.
B5	Red Edge 1	15	20	Evaluación de estrés vegetal y contenido de clorofila.
B6	Red Edge 2	15	20	Detección de variaciones fisiológicas en vegetación húmeda.
B7	Red Edge 3	20	20	Delimitación de comunidades vegetales higrófilas.
B8	Infrarrojo cercano (NIR)	115	10	Cálculo de NDVI, NDWI; detección de humedad y biomasa.
B8A	NIR estrecha	20	20	Monitoreo de vegetación densa y análisis hídrico superficial.
B9	Infrarrojo de vapor de agua	20	60	Corrección atmosférica y estimación de contenido de vapor de agua.
B10	Infrarrojo de onda corta (SWIR – Cirros)	30	60	Identificación de nubes delgadas y cirros.

B11	SWIR 1	90	20	Cálculo de MNDWI, detección de humedad del suelo y agua superficial.
B12	SWIR 2	180	20	Análisis de cobertura hídrica, suelos secos y clasificación de humedales.

Fuente: SENTINEL-2 User Handbook (2021).


Para el cálculo de índices espectrales (NDWI, NDVI, NDMI), se utilizaron las bandas B3 (Verde), B4 (Rojo), B8 (Infrarrojo cercano - NIR) y B11 (Infrarrojo de Onda Corta 1 - SWIR), para la composición de color verdadero de cada imagen satelital se usaron las bandas B4 (Rojo), B3 (Verde) y B2 (Azul), A continuación, se muestran las fórmulas para la obtención de cada índice y el color verdadero:

- $NDWI = \frac{B03 - B08}{B03 + B08}$
- $NDVI = \frac{B08 - B04}{B08 + B04}$
- $NDMI = \frac{B08 - B11}{B08 + B11}$
- $RGB = B04 + B03 + B02$

Para los índices espectrales (NDWI, NDVI, NDMI), se establecen rangos o intervalos de definición en los siguientes cuadros:


Tabla 15

Intervalos de valores y clasificación para el NDWI

Índice Normalizado de Agua (NDWI)		
Valores	Clasificación	Atribución
1 - 0.2	Superficie del agua.	
0.2 - 0.0	Inundación, humedad.	
0.0 - -0.3	Vegetación, suelo (mezcla).	
-0.3 - -1	Sequía, superficie sin agua.	


Fuente: Teledetección y Procesamiento de Imágenes Satelitales (2020).

Tabla 16*Intervalos de valores y clasificación para el NDVI*

Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI)		
Valores	Clasificación	Atribución
> 0.4	Vegetación alta.	
0.4 - 0.25	Vegetación mediana.	
0.25 - 0.15	Vegetación ligera.	
0.15 - -0.1	Suelo sin vegetación.	
< -0.1	Nubes y agua.	

Fuente: Teledetección y Procesamiento de Imágenes Satelitales (2020).

Tabla 17*Intervalos de valores y clasificación para el NDMI*

Índice de Humedad de Diferencia Normalizada (NDMI)		
Valores	Clasificación	Atribución
-1 - -0.8	Suelo desnudo.	
-0.8 - -0.6	Cobertura del dosel casi inexistente.	
-0.6 - -0.4	Cobertura del dosel muy bajo.	
-0.4 - -0.2	Cobertura del dosel baja y seca o muy baja y húmeda.	
-0.2 - 0	Cobertura del dosel media baja y estrés hídrico alto, baja y estrés hídrico bajo.	
0 - 0.2	Cobertura media del dosel y alto estrés hídrico o cobertura media baja del dosel y bajo estrés hídrico.	
0.2 - 0.4	Cobertura de dosel media alta y estrés hídrico alto o cobertura media y estrés hídrico bajo.	
0.4 - 0.6	Cobertura del dosel alta, sin estrés hídrico.	
0.6 - 0.8	Cobertura de dosel muy alta, sin estrés hídrico.	
0.8 - 1	Cobertura total del dosel, sin estrés hídrico/anegamiento.	

Fuente: Teledetección y Procesamiento de Imágenes Satelitales (2020).

Tabla 18

Valores de NDWI, NDVI, NDMI de los puntos de monitoreo obtenidos por geoprocesamiento (Subcuenca media preurbana del río Ichu)

Código	01BF-SAT			BF-PT02			BF-PT03			04BF-CAC			05BF-SAN			06BF-HUA			07BOF-TIN		
Fecha	NDWI	NDVI	NDMI	NDWI	NDVI	NDMI	NDWI	NDVI	NDMI	NDWI	NDVI	NDMI	NDWI	NDVI	NDMI	NDWI	NDVI	NDMI	NDWI	NDVI	NDMI
14/05/2025	-0.3	0.59	0.27	-0.3	0.57	0.24	-0.4	0.6	0.22	-0.3	0.5	0.21	-0.3	0.5	0.27	-0.3	0.6	0.33	-0.3	0.52	0.25
29/05/2025	-0.2	0.35	0.13	-0.3	0.56	0.24	-0.4	0.5	0.16	-0.3	0.5	0.19	-0.3	0.5	0.27	-0.3	0.6	0.28	-0.3	0.49	0.22
13/06/2025	-0.3	0.54	0.2	-0.3	0.54	0.21	-0.4	0.5	0.18	-0.3	0.5	0.18	-0.3	0.5	0.26	-0.3	0.6	0.26	-0.3	0.48	0.21
23/06/2025	-0.4	0.53	0.21	-0.4	0.52	0.19	-0.4	0.5	0.16	-0.3	0.5	0.16	-0.3	0.5	0.25	-0.3	0.5	0.25	-0.3	0.48	0.2
10/07/2025	-0.3	0.47	0.16	-0.4	0.52	0.17	-0.4	0.5	0.1	-0.3	0.4	0.11	-0.3	0.5	0.2	-0.4	0.5	0.16	-0.3	0.45	0.12
23/07/2025	-0.3	0.45	0.15	-0.4	0.5	0.17	-0.4	0.5	0.09	-0.3	0.4	0.1	-0.3	0.5	0.2	-0.4	0.4	0.12	-0.3	0.41	0.11
7/08/2025	-0.4	0.46	0.12	-0.4	0.49	0.14	-0.4	0.4	0.04	-0.4	0.4	0.06	-0.3	0.5	0.16	-0.4	0.4	0.1	-0.4	0.4	0.07
19/08/2025	-0.4	0.47	0.12	-0.4	0.5	0.13	-0.4	0.4	0.03	-0.4	0.4	0.03	-0.4	0.5	0.13	-0.4	0.4	0.1	-0.4	0.41	0.07
8/09/2025	-0.3	0.47	0.18	-0.3	0.51	0.18	-0.4	0.4	0.03	-0.4	0.4	0.04	-0.3	0.5	0.15	-0.4	0.4	0.1	-0.4	0.4	0.08
21/09/2025	-0.3	0.49	0.17	-0.3	0.48	0.15	-0.4	0.4	0.04	-0.3	0.4	0.05	-0.3	0.4	0.15	-0.3	0.3	0.08	-0.3	0.38	0.07
31/10/2025	-0.4	0.56	0.2	-0.3	0.54	0.21	-0.3	0.5	0.13	-0.3	0.4	0.15	-0.3	0.4	0.18	-0.3	0.5	0.16	-0.3	0.45	0.11
20/11/2025	-0.3	0.58	0.24	-0.3	0.55	0.23	-0.4	0.5	0.14	-0.3	0.4	0.15	-0.3	0.4	0.15	-0.3	0.5	0.15	-0.3	0.46	0.1
5/12/2025	-0.4	0.58	0.23	-0.3	0.56	0.25	-0.4	0.5	0.13	-0.3	0.5	0.18	-0.3	0.5	0.18	-0.4	0.5	0.15	-0.3	0.46	0.12
20/12/2025	-0.3	0.58	0.24	-0.3	0.58	0.25	-0.4	0.5	0.13	-0.3	0.5	0.17	-0.3	0.5	0.17	-0.4	0.5	0.15	-0.4	0.47	0.11

Nota: Datos obtenidos en el software ArcGIS Pro.

La tabla 18 no presentó los datos de los meses de enero, febrero, marzo y abril debido a imágenes que presentaron nubosidad en casi el 60% del área de estudio, ello implicó que la obtención de valores de índices espectrales no fuese calculada además de observar el cambio de cobertura vegetal en los bofedales, no afectó el estudio realizado, más solo se limitó a obtener imágenes satelitales desde el mes de mayo, lo cual se dio de manera paralela con el monitoreo de campo.

4.1.2. Procesamiento de datos meteorológicos

Para el cálculo del Índice Estandarizado de Precipitación (SPI) y la estimación de precipitaciones en el área de estudio, se seleccionó datos de precipitación establecidas al área de estudio, se obtuvieron datos históricos desde el año 1990 al 2025, mediante el acceso a la plataforma de Climate Hazard Group InfraRed Precipitation with Stations (CHIRPS), cuyo significado denomina a la Precipitación por Infrarrojo y Estaciones del Grupo de Riesgos Climáticos. Asociado y desarrollado por Climate Hazards Center (CHC) de la Universidad de California, Santa Barbara (UCSB) y a la U.S. Geological Survey (USGS) que a la actualidad disponen de datos muy confiables al sustento de la evaluación en series temporales de precipitación a nivel global. Se detalla las características funcionales de esta plataforma.

Tabla 19

Descripción de funciones de la plataforma CHIRPS

Cualidad	Funcionalidad – descripción	Argumentación
Nombre.	CHIRPS (Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Stations).	UCSB, USGS.
Asociaciones de desarrollo.	Climate Hazards Center (CHC) – University of California, Santa Barbara (UCSB), en colaboración con U.S. Geological Survey (USGS), FEWS NET y NASA.	Validación internacional.
Datos.	Precipitación (mm)	Análisis de sequías, distribución hidrometeorológica.
Método de obtención.	Fusión estadística, combina observación satelital de radiación infrarroja y estaciones meteorológicas.	Precisión en regiones con estaciones carecidas.

Cobertura temporal.	De 1981 a la actualidad.	Acumula series prolongadas y continuas.
Resolución espacial.	0.05° × 0.05° equivalente a 5.3 km a nivel del ecuador)	Resolución espacial adecuada a cuencas hidrográficas.
Resolución temporal.	Diario, mensual.	Análisis variables, largo o corto plazo.
Formato de datos.	GeoTIFF, NetCDF, y ASCII.	Para desarrolladores en SIG y lenguaje de programación.
Fuentes de calibración.	Estaciones meteorológicas (GHCN, FAO, NOAA, estaciones nacionales).	Obtención de datos precisos.

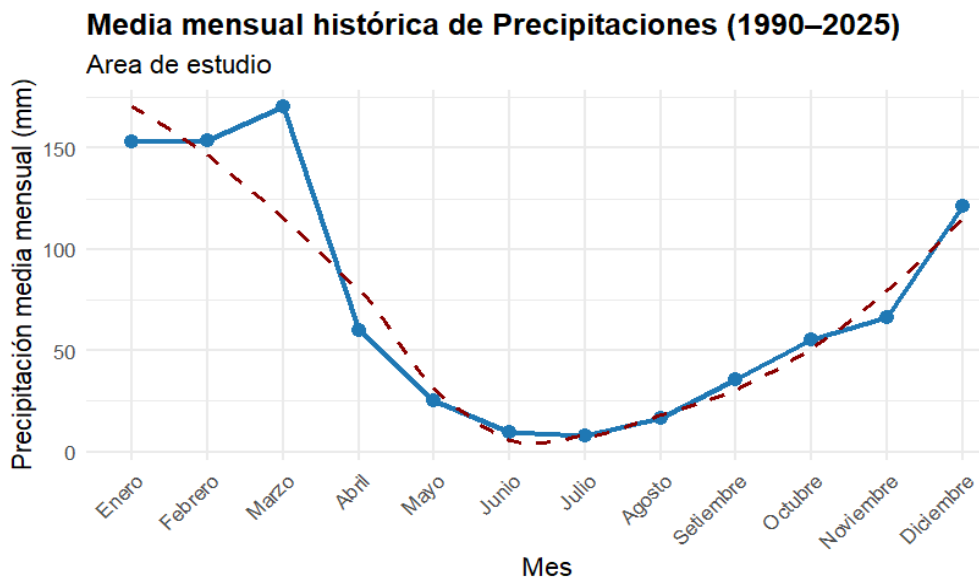
Fuente: Comisión Nacional de Actividades Espaciales (CONAE) (2023).

La extracción de datos se hizo mediante algoritmos de programación en el software RStudio, se obtuvo datos mensuales desde el año 1990 al 2025. La figura 10 muestra el comportamiento de la media histórica mensual de precipitaciones y la tabla 10 muestra los datos mensuales de precipitación en cada año. Su importancia de obtención de estos datos fue relevante para la construcción del SPI y ver el escenario de comportamiento en las precipitaciones que sucedió en el área de estudio.

Figura 10

Media mensual histórica de precipitaciones (1990-2025) para el área de estudio

(Subcuenca media preurbana del río Ichu)



Nota: Elaboración en RStudio.

Tabla 20

Datos de precipitación mensual (mm/mes) desde el año 1990 al 2025 para el área de estudio (Subcuenca media preurbana del río Ichu)

Año/Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
1990	118.2	41.0	81.7	38.7	27.6	27.4	9.4	30.4	52.7	84.9	111.8	113.5
1991	98.4	96.6	110.6	53.4	39.0	12.2	7.6	7.9	20.9	52.0	63.2	63.6
1992	71.8	81.1	88.0	37.3	11.5	13.8	12.2	22.2	20.0	70.5	41.0	70.0
1993	166.9	137.9	155.5	110.4	37.5	15.7	11.4	24.5	39.5	108.7	172.5	160.8
1994	175.2	209.5	175.2	79.0	28.3	8.5	8.2	15.8	36.6	44.1	60.4	77.7
1995	129.6	109.0	139.5	53.8	20.5	6.4	6.3	11.2	37.2	41.8	87.4	79.7
1996	163.4	185.6	139.8	69.2	18.2	6.4	6.6	23.0	30.8	46.4	50.1	125.6
1997	158.5	152.7	80.1	53.6	19.8	6.8	5.3	20.4	44.4	48.0	86.6	111.2
1998	186.6	180.2	140.9	59.4	7.9	10.0	4.3	20.9	24.1	59.9	80.8	109.5
1999	127.5	208.3	142.3	84.6	38.6	10.8	8.1	10.5	42.2	78.8	52.1	127.0
2000	161.5	182.3	177.6	51.2	20.1	10.2	9.8	17.0	27.6	91.7	41.3	126.6
2001	218.0	122.9	186.1	44.5	24.7	11.1	12.1	15.1	49.2	56.1	94.1	77.7
2002	99.2	211.8	214.3	57.8	18.3	13.1	9.7	20.1	47.8	73.4	82.5	126.5
2003	145.5	222.2	218.3	73.8	18.1	6.1	6.5	22.4	22.8	36.8	45.5	146.6
2004	74.4	170.7	122.5	36.8	12.9	18.5	12.0	19.9	42.7	52.3	65.0	152.3
2005	115.8	114.3	157.9	42.8	14.0	6.3	5.7	11.5	28.0	47.5	44.6	124.1

2006	147.0	152.3	131.0	78.9	8.5	11.8	4.4	24.0	39.1	58.3	84.1	93.4
2007	121.8	83.0	184.4	59.4	16.7	6.8	7.2	10.7	33.3	49.4	59.9	105.4
2008	174.4	141.1	105.5	38.2	12.3	10.9	5.9	14.9	24.3	61.0	43.1	85.6
2009	156.5	172.2	102.6	48.0	21.3	8.2	9.9	15.1	26.6	44.4	106.5	172.9
2010	196.5	122.9	109.1	37.4	15.1	10.0	5.3	13.2	26.0	52.4	46.1	116.2
2011	163.9	246.4	395.0	62.4	20.4	6.6	6.5	14.9	32.1	62.7	66.0	142.2
2012	164.5	221.0	206.1	108.7	14.2	10.6	6.6	13.0	47.6	40.2	73.6	132.6
2013	141.2	133.6	272.4	30.7	44.2	8.3	7.7	19.6	37.3	66.5	74.2	213.7
2014	165.3	166.0	200.1	52.7	24.2	8.3	6.4	15.2	59.1	58.3	60.2	149.8
2015	189.3	123.0	141.7	45.5	25.5	7.3	11.4	15.8	46.7	25.3	41.6	197.7
2016	130.3	177.5	194.9	55.0	18.8	8.8	5.8	13.8	35.8	42.2	36.5	112.6
2017	185.1	153.7	171.1	54.2	31.1	8.3	10.7	11.4	33.2	60.0	71.6	116.4
2018	193.6	123.6	170.2	71.1	37.9	6.9	12.1	33.3	28.5	66.6	38.1	113.9
2019	144.5	181.2	223.9	53.0	33.5	5.1	8.9	10.7	23.3	37.6	66.8	222.1
2020	130.4	115.8	187.7	35.1	33.1	9.9	5.3	11.4	38.3	26.8	31.9	104.2
2021	181.1	95.2	280.5	140.5	36.1	7.6	5.4	12.7	33.8	55.8	80.0	85.0
2022	182.3	152.0	173.9	43.5	26.8	8.9	5.2	15.2	34.8	18.5	18.9	121.9
2023	174.4	217.6	118.4	50.6	44.8	5.2	5.2	13.1	34.9	55.3	54.1	116.4
2024	165.6	165.5	221.6	51.5	44.1	6.5	5.2	10.9	30.6	50.3	97.4	129.7
2025	185.1	164.7	210.5	89.7	32.3	9.2	5.1	16.1	44.2	60.9	52.2	37.2

Nota: Precipitaciones mensuales (mm/mes), obtenidas de la plataforma CHIRPS.

El cálculo del Índice de Precipitación Estandarizado (SPI), se determinó mediante algoritmos establecidos para el programa R, para periodos de 3 meses, 6 meses, 12 meses, su categorización y valores se determina en la tabla 21, se hizo la nomenclatura recomendada en bibliografías que indican que las barras azules demuestran valores positivos y barras rojas demuestran valores negativos.

Tabla 21

Valores y clasificación del Índice de Precipitación Estandarizado (SPI)

Categoría climática	Valores (SPI)	Condición hidrometeorológica	Derivaciones
Humedad extrema.	≥ 2.00	Precipitaciones por encima de lo normal.	Periodo de exceso hídrico excepcional, anegamiento o saturación del suelo.
Humedad severa.	1.5 a 2.00	Precipitaciones consideradas altas	Episodios lluviosos intensos o prolongados; aumentos en escorrentía y recarga superficial.
Humedad moderada.	1.00 a 1.5	Precipitaciones ligeras estimadas.	Incremento moderado de lluvias, mejora temporal en la humedad del suelo y vegetación.
Normal	-1.00 a 1.00	Condición promedio.	Precipitaciones dentro del rango normal; equilibrio hídrico estable.
Sequia suave.	-1.00 a -1.5	1 en 10 años.	Estrés hídrico; reducción temporal en la humedad del suelo.
Sequia severa.	-1.5 a -2.00	1 en 20 años.	Déficit de lluvias persistente; impacto visible en caudales y acuíferos.
Sequia extrema.	≤ -2.00	1 en 50 años.	Condición crítica de déficit hídrico, reducción marcada de agua superficial.

Fuente: Organización Meteorológica Mundial (OMM) (2012).

La figura 11 que pertenece al comportamiento del SPI-3, permitió identificar desviaciones estandarizadas de la precipitación acumulada en tres meses, se mostraron

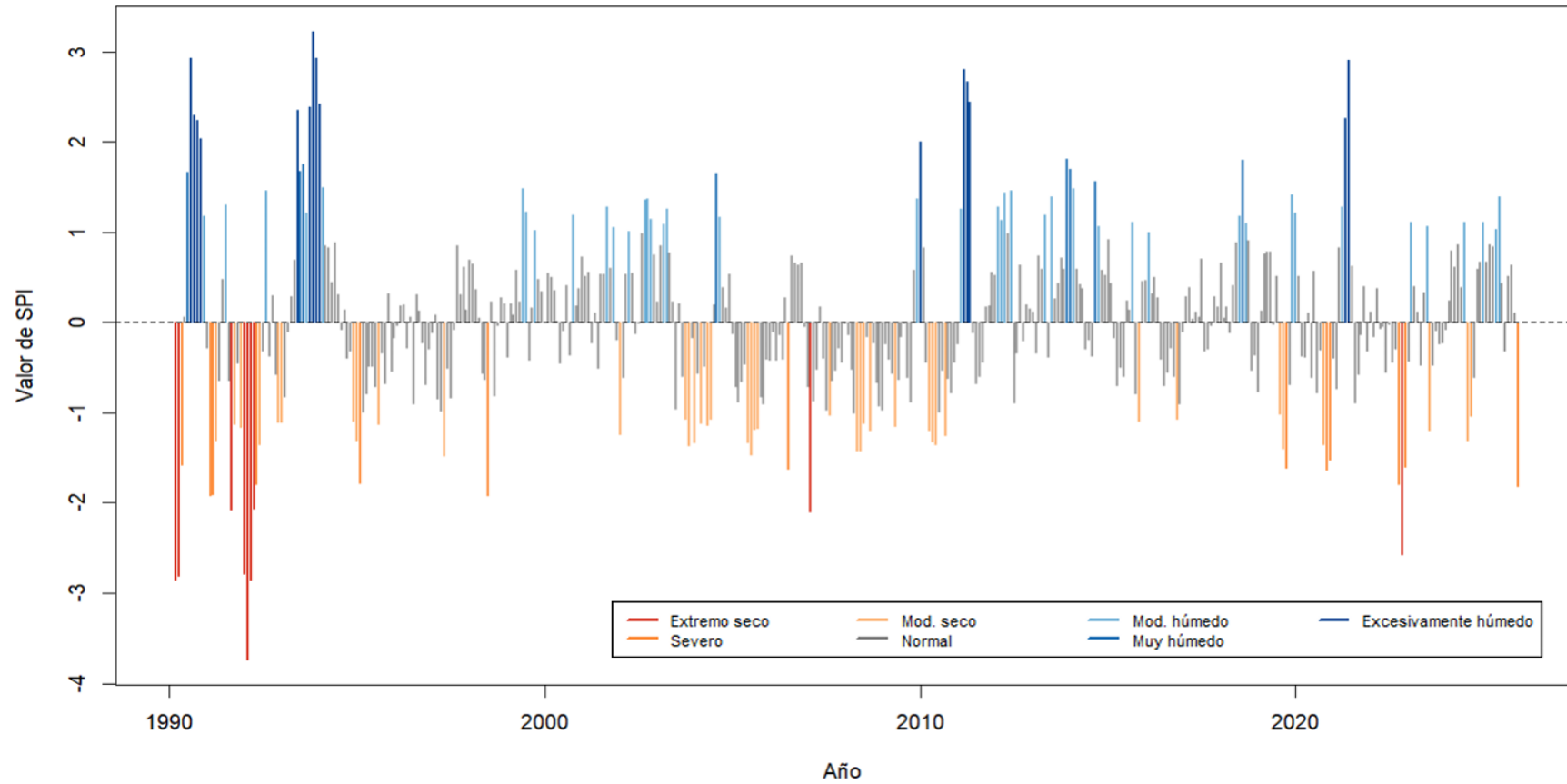
eventos de sequía con picos elevados en los años 1993, 2010 y 2021, el gráfico demuestra que las sequías a moderada intensidad están adjuntas en dos años y por su contrario también se visualizó que hay picos de años de mayor humedad de inicios en los años 1993, 2010, 2013, 2020. Se determinó que el SPI-3 muestra alternancia de periodos secos a húmedos, pero son los valores negativos que se mantienen en esta escala, la serie no muestra una tendencia exacta en sucesos de humedad o sequía lo que califica que el área de estudio posee variabilidad estacional.

La figura 12 que pertenece al comportamiento del SPI-6, permitió determinar los déficits o excesos de precipitación en escala semestral, se observó que en los años 1991-1992, 1994-1995, 2004-2006, 2016-2017, 2022-2023, presenciaron sequías severas y extremas, por el contrario, en los años 1993-1994, 2010-2012, 2013-2014, 2021 presenciaron temporadas severas a extremas de humedad. A diferencia del SPI-3, se reflejaron escenarios más persistentes, lo que indicó que el SPI-6 es un indicador de sequías de larga duración que se observó entre 1991 -1992 (extremo), 2003-2008 (seco pero muy prolongado), 2022-2023 (severa muy corta). Con este índice se evidenció que el área de estudio mantiene ciclos hidrológicos irregulares y la tendencia muestra que se superpone cada vez sequías más extensas como cortas, como esta última con recuperación corta que se visualizó con mayor intensidad desde el año 2000.

La figura 13 que pertenece al comportamiento del SPI-12, evaluó las condiciones de sequía o exceso de humedad en escala anual, se observó eventos secos en los años 1990-1993 (extremo), por el contrario, se observó episodios de humedad en los años 1993-1994 (extremo). Desde los años 1995-2004 se observó una predominancia de sequías meteorológicas con algunos episodios de interrupción a brevedad en los años 1998-2002, pero hacia el 2004-2009 hubo una intensificación de sequía suave. Se fijó una tendencia invertida en los años 2010-2014 que mostró condiciones húmedas de severidad a moderada y hacia el 2015 los valores del SPI se normalizaron, no obstante, en el año 2020 se presentó un evento seco breve pero significativo. El área de estudio evidenció serie normal en periodos secos y húmedos con una variabilidad interanual y decadal, observándose un inicio muy seco en 1993 y abruptamente cambiando a un escenario lluvioso, pero son los secos que se prolongan.

Figura 11

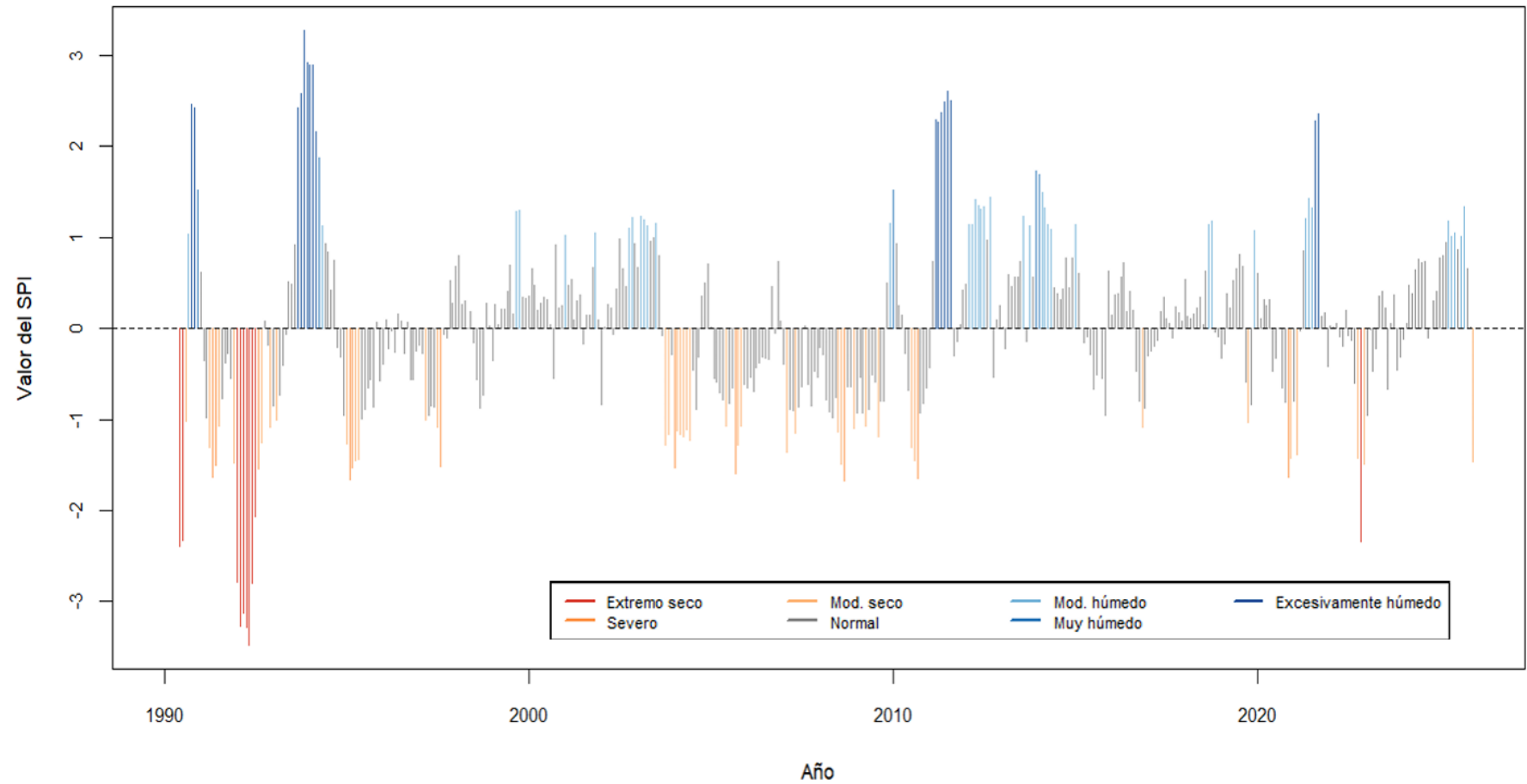
Índice de Precipitación Estandarizado a escala de 3 meses (SPI-3) (1990-2025) para la Subcuenca media preurbana del río Ichu



Nota: Grafico obtenido de RStudio.

Figura 12

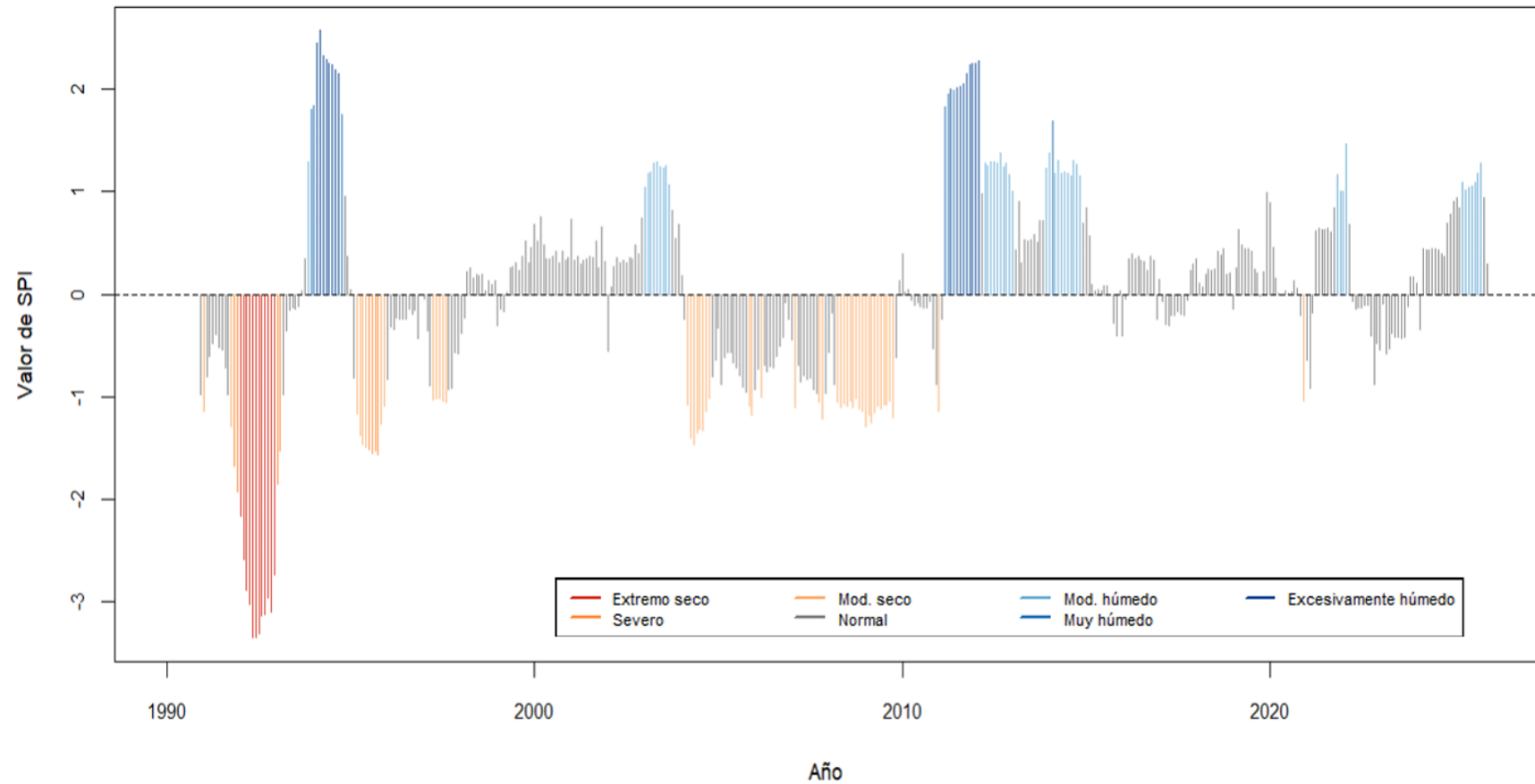
Índice de Precipitación Estandarizado a escala de 6 meses (SPI-6) (1990 – 2025) para la Subcuenca media preurbana del río Ichu



Nota: Grafico obtenido de RStudio

Figura 13

Índice de Precipitación Estandarizado a escala de 12 meses (SPI-12) (1990-2025) para la Subcuenca media preurbana del río Ichu



Nota: Grafico obtenido de RStudio.

4.1.3. Integración geoespacial y análisis multitemporal

Para la integración geoespacial se relacionó al caudal superficial hallado en los puntos de monitoreo con los valores de los índices espectrales (NDWI, NDVI, NDMI), para ello se utilizó el método de aforamiento de caudal por flotador en canal, en la tabla 22 se detalla los materiales y dimensiones utilizados.

Tabla 22

Materiales y dimensiones para el aforamiento de caudal superficial

Material	Dimensiones	Característica
Flotador de polipropileno (PP).	Peso: 25 g. Figura: esfera.	Utilizado para el cálculo de velocidad superficial en la sección.
Canal (sección cortada de tubo de 4" de PVC).	Largo: 90 cm. Diámetro interior: 10.16 cm. Altura: 7 cm.	Utilizado como canal por donde fluirá el flotador.
Cronómetro digital.	Unidad de medida: segundos.	Utilizado para controlar el tiempo de recorrido del flotador.

Nota: El canal (tubo cortado), viene a ser un canal semicircular.

Para relacionar la disponibilidad de agua superficial de los bofedales con los índices espectrales se optó por determinar los caudales en los puntos de monitoreo y determinar una relación durante el año que tiene con los índices espectrales, estos valores refleja cómo se comporta en humedad, almacén de agua y vegetación durante el año influenciado por las zonas fuentes en los puntos, por ello se instó a determinar los puntos en las zonas bajas o cercanas a los fuentes en las zonas con bofedales, cada monitoreo se desarrolló en 2 ocasiones al mes iniciando desde el mes de mayo, ya que en dicho mes las precipitaciones disminuyen y entran al periodo de estiaje. A continuación, los valores encontrados de caudales hacia el mes de setiembre se muestran en la tabla 23.

Tabla 23

Valores de los caudales (m³/s) determinados en el monitoreo de campo (Subcuenca media preurbana del río Ichu) del periodo mayo-diciembre del 2025

Código	01BF-SAT	BF-PT02	BF-PT03	04BF-CAC	05BF-SAN	06BF-HUA	07BOF-TIN
Fecha	Q (m ³ /s)	Q (m ³ /s)	Q (m ³ /s)	Q (m ³ /s)	Q (m ³ /s)	Q (m ³ /s)	Q (m ³ /s)
17/05/2025	0.02	0.022	0.017	0.016			
18/05/2025					0.01	0.022	0.016
30/05/2025	0.02	0.022	0.017	0.014			
31/05/2025					0.01	0.02	0.014
14/06/2025	0.022	0.022	0.014	0.011			
15/06/2025					0.01	0.019	0.013
28/06/2025	0.019	0.023	0.016	0.011			
29/06/2025					0.01	0.017	0.011
12/07/2025	0.018	0.021	0.011	0.009	0	0.018	0.009
20/07/2025	0.016	0.023	0.01	0.009	0	0.017	0
9/08/2025	0.019	0.021	0.01	0.009	0	0.015	0
23/08/2025	0.014	0.023	0.011	0.01	0	0.014	0.007
13/09/2025	0.015	0.022	0.011	0.01	0.01	0.016	0.008
28/09/2025	0.014	0.021	0.011	0.011	0.01	0.017	0.008
11/10/2025	0.017	0.022	0.011	0.01	0.01	0.016	0.01
25/10/2025	0.017	0.022	0.011	0.011	0.01	0.016	0.011
8/11/2025	0.018	0.022	0.011	0.011	0.01	0.017	0.011
22/11/2025	0.018	0.022	0.014	0.013	0.01	0.018	0.013
13/12/2025	0.019	0.022	0.013	0.013	0.01	0.019	0.013
27/12/2025	0.019	0.022	0.014	0.013	0.01	0.019	0.013

Nota: Los valores 0.00 / 0.000 figuran como valores mínimos por no encontrar agua superficial en la zona de monitoreo, que también presentaron humedad y escorrentía a nivel freático.

Posteriormente, estos resultados fueron comparados con los valores determinados del análisis satelital (NDWI, NDVI, NDMI), lo que permitió contrastar la información hidrológica in situ con los productos de teledetección, con base en esta comparación, se estableció una clasificación de los caudales en función de los patrones de disponibilidad hídrica identificados.

Tabla 24

Clasificación para los valores de caudales hallados

Estado del bofedal.	Rango de caudales (m³/s)	Condición hidrológica encontrado.	Interpretación.
Muy húmedo / saturado.	> 0.02	Alta descarga freática con anegamiento sobreestimado.	Bofedal activo, flujo de agua superficial visible.
Moderadamente húmedo.	0.005 – 0.02	Flujo constante y subterránea, pero sin anegamiento completo.	Bofedal funcional y estable, flujo moderado de agua.
Con vegetación, poca humedad.	< 0.005	Escasa descarga, descarga subterránea o evaporación.	Bofedal con vegetación moderada, no presenta escorrentía.

Nota: Clasificación establecida por los caudales encontrados, verificándose el valor numérico y la observación de los bofedales en las zonas de monitoreo.

Los valores promedio de Caudal registrados en los bofedales evaluados mostraron diferencias espaciales en la disponibilidad de agua superficial. Los puntos 01BF-SAT, BF-PT02 y 06BF-HUA presentaron caudales relativamente mayores y continuidad hídrica durante todo el año, mientras que los bofedales BF-PT03 y 04BF-CAC, si bien mantuvieron flujo permanente, evidenciaron condiciones de déficit hídrico. Por su parte, los bofedales 05BF-SAN y 07BF-TIN registraron interrupciones del caudal en determinados meses, lo que indica mayor vulnerabilidad a periodos secos.

El análisis de los índices espectrales permitió complementar la interpretación hidrológica. Los valores negativos de NDWI (-0.4 y -0.3), indicaron una presencia

limitada de agua superficial, con variaciones en el contenido hídrico entre los bofedales, aunque con índices de humedad residual. En contraste los valores de NDVI, cercanos a 0.5 en todos los puntos de monitoreo, evidenciaron tal presencia de cobertura vegetal persistente a lo largo del año, características de ecosistemas de bofedal.

Asimismo, los valores del NDMI, que oscilaron entre 0.1 y 0.2, reflejaron condiciones de baja humedad en la vegetación, asociadas a escasez de agua en el suelo. La consistencia de estos valores en todos los bofedales evaluados sugiere un patrón generalizado de estrés hídrico, aun en aquellos sitios donde el caudal se mantuvo vigente durante todo el año.

En conjunto la integración de los caudales medidos y los índices NDWI, NDVI, NDMI, permitió concluir que los bofedales del área de estudio presentaron condiciones de estrés hídrico durante el periodo de estudio, con distintos niveles de afectación espacial. Estos resultados evidencian que la persistencia de la cobertura vegetal no necesariamente implica una adecuada disponibilidad de agua superficial, resaltando la importancia de combinar mediciones in situ con información de teledetección para una evaluación integral del estado hídrico de los bofedales.

Asimismo, el análisis de los caudales medidos evidenció que, durante los meses de estiaje (junio a agosto), coincide con el predominio de valores negativos del SPI observados en la última década, Al contrastar estos resultados con las series temporales correspondientes a los periodos 1992–1993, 1997–1998, 2002–2003, 2015–2016 y 2019–2021, se identificó la recurrencia de eventos de sequía significativa, los cuales coincidieron con fases de acumulación de degradación hídrica en el sistema. Esta condición se reflejó en los índices espectrales obtenidos para el año de estudio, caracterizados por valores consistentemente negativos de NDWI, bajos valores de NDMI asociados a pérdida de humedad en la vegetación y caudales reducidos o nulos durante el periodo seco. En conjunto, estos resultados (tabla 25) evidenciaron que los bofedales del área de estudio han sido afectados por la persistencia y frecuencia de sequías meteorológicas e hidrológicas en los últimos diez años, lo que ha reducido su capacidad de retención y regulación hídrica.

Tabla 25

Valores promedios de índices espectrales (NDWI, NDVI, NDMI), Caudal y clasificación correspondiente al periodo mayo-diciembre del 2025 (Subcuenca media preurbana del río Ichu)

Valores promedios	01BF-SAT	BF-PT02	BF-PT03	04BF-CAC	05BF-SAN	06BF-HUA	07BF-TIN
Caudal (l/s)	17.75 vigente en todo el año	22.07 vigente en todo el año	12.58 vigente todo el año, pero presenta déficit.	11.40 vigente todo el año, pero presenta déficit.	7.75 seco en algunos meses.	17.50 vigente en todo el año.	9.90 seco en algunos meses.
NDWI	-0.3 presenta humedad.	-0.4 variación en el contenido de agua.	-0.4 variación en el contenido de agua.	-0.3 presenta humedad.	-0.3 presenta humedad.	-0.3 presenta humedad.	-0.3 presenta humedad.
NDVI	0.5 vegetación en todo el año.	0.5 vegetación en todo el año.	0.5 vegetación en todo el año.	0.4 vegetación en todo el año.	0.5 vegetación en todo el año.	0.5 vegetación en todo el año.	0.5 vegetación en todo el año.
NDMI	0.2 sufre escasez de agua.	0.2 sufre escasez de agua.	0.1 sufre escasez de agua.	0.1 sufre escasez de agua.	0.2 sufre escasez de agua.	0.2 sufre escasez de agua.	0.1 sufre escasez de agua.
Conclusión	Presenta estrés hídrico.	Presenta estrés hídrico.	Presenta estrés hídrico.	Presenta estrés hídrico.	Presenta estrés hídrico.	Presenta estrés hídrico.	Presenta estrés hídrico.

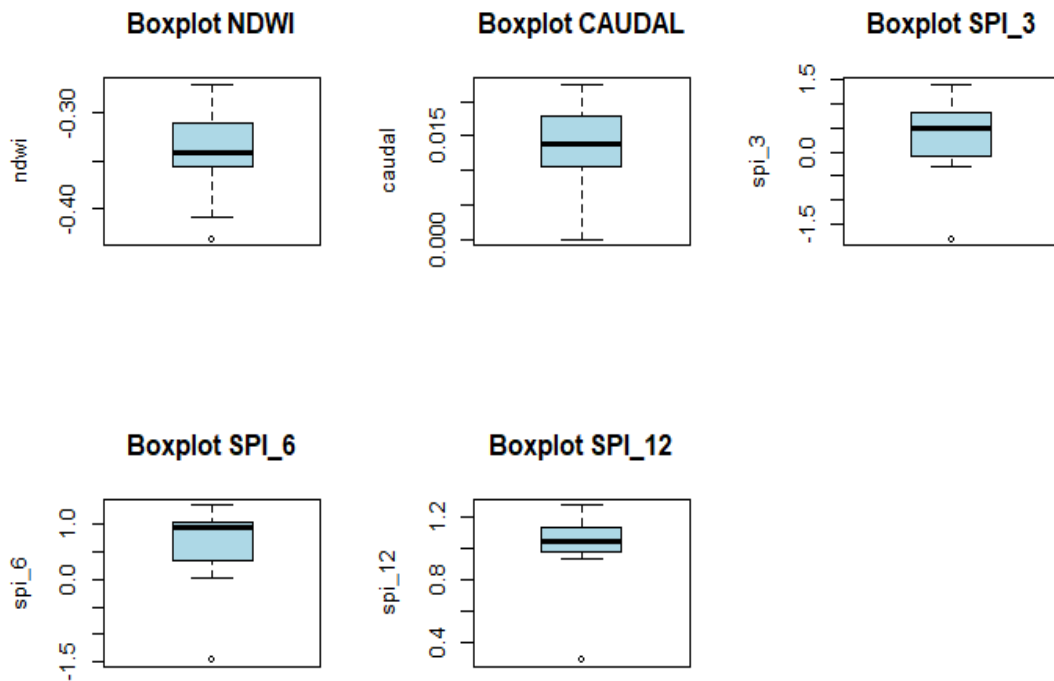
Nota: Clasificación establecida por los caudales encontrados, verificándose el valor numérico y la observación de los bofedales en las zonas de monitoreo.

4.1.4. Análisis estadístico y correlacional

La obtención de los estadísticos descriptivos se inició con la validación de datos, mediante diagramas de caja (bloxpot) en los datos mensuales de NDWI, caudal y SPI correspondieron al periodo de estudio para evaluar valores atípicos.

Figura 14

Boxplot obtenidos para el NDWI, Caudal y escalas de SPI del periodo mayo-diciembre de 2025 en la Subcuenca media preurbana del río Ichu



Nota: Gráficos obtenidos de R-Studio.

La figura 14 presenta los diagramas de caja (boxplot), correspondiente al NDWI, caudal y los índices de SPI, estos gráficos fueron empleados como parte del control de calidad y la evaluación exploratoria de la distribución estadística analizadas para las series temporales. En el caso del NDWI, se observó una distribución relativamente compacta, con una mediana claramente definida y una dispersión moderada, lo que sugirió una estabilidad general en las condiciones de humedad superficial de los bofedales durante el periodo de estudio. Se presencié valores atípicos

aislados, representados por puntos fuera de los bigotes, no evidencia comportamientos erráticos, sino que puede interpretarse como episodios puntuales de mayor déficit o exceso hídrico coherente con la variabilidad estacional propia de su ecosistema. El boxplot del caudal mostró una distribución asimétrica con mayor concentración de valores en rangos bajos, lo cual es consistente con el régimen hidrológico característico de cuencas en tamaño al área de estudio. En cuanto a los índices del SPI, el SPI-3 exhibieron una mayor dispersión relativa con presencia de valores extremos negativos, reflejando adecuadamente la variabilidad de corto plazo asociada a anomalías mensuales de precipitación, por el contrario, los SPI-6 y SPI-12 presentaron distribuciones más concentradas y estables alrededor de valores positivos cercanos a la mediana, evidenciando la agregación temporal que suaviza la variabilidad y resalta condiciones climáticas persistentes. En conjunto la estructura de los boxplot indicó que las series no presentaron anomalías severas ni inconsistencias estadísticas. Los valores atípicos detectados corresponden a fenómenos hidro climáticos reales y no errores de medición, lo que validó la calidad de datos y respaldó su idoneidad para etapas posteriores de correlación, tendencias y evaluación de riesgos de sequías.

De manera complementaria se aplicó un análisis de detección de outliers utilizando el test de Grubss, los resultados obtenidos indican que para todas las variables evaluadas los valores del estadístico de Grubss - G oscilaron entre 2.22 y 2.76 con valores p superiores al nivel de significancia adoptado ($\alpha=0.05$), evidenciaron la ausencia de valores atípicos estadísticamente significativos en las series. Cuantitativamente es coherente con la inspección visual de los boxplot. Por tanto, las series analizadas cumplieron con los criterios de calidad estadística necesarios para evaluaciones posteriores sin requerir la eliminación o corrección de observaciones.

Tabla 26

Resultados de prueba de Grubss para el NDWI, Caudal y escalas de SPI

Variable	G	p-valor	Interpretación
NDWI	2.7568419	0.12300647	Sin evidencia de outliers

Caudal	2.55836164	0.23985249	Sin evidencia de outliers
SPI-3	2.22307218	0.65698085	Sin evidencia de outliers
SPI-6	2.36753815	0.43321762	Sin evidencia de outliers
SPI-12	2.46325987	0.32398221	Sin evidencia de outliers

Nota: Valores obtenidos de R-Studio.

En ese contexto se calcularon de cada variable y de cada punto de monitoreo los estadísticos descriptivos, que permite caracterizar de manera robusta la variabilidad temporal y espacial de las condiciones hidrológicas y humedad superficial de los bofedales en el área de estudio correspondiente.

Tabla 27

Estadística descriptiva de las variables en los puntos de monitoreo

Punto	Variable	Mín.	Q1	Mediana	Q3	Máx.	Media	Desv. Estand.	Coef. Disp. (%)
	Caudal (m ³ /s)	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.00	11.6
01BF-	NDWI	-0.36	-0.35	-0.35	-0.34	-0.27	-0.34	0.03	8.8
SAT	SPI-12	0.29	1.00	1.05	1.11	1.28	0.99	0.30	30.3
	SPI-3	-1.81	0.00	0.47	0.73	1.39	0.25	0.98	396.4
	SPI-6	-1.47	0.50	0.94	1.02	1.33	0.56	0.91	162.1
	Caudal (m ³ /s)	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.00	1.5
BF-	NDWI	-0.38	-0.36	-0.34	-0.34	-0.33	-0.35	0.02	5.1
PT02	SPI-12	0.29	1.00	1.05	1.11	1.28	0.99	0.30	30.3
	SPI-3	-1.81	0.00	0.47	0.73	1.39	0.25	0.98	396.4
	SPI-6	-1.47	0.50	0.94	1.02	1.33	0.56	0.91	162.1

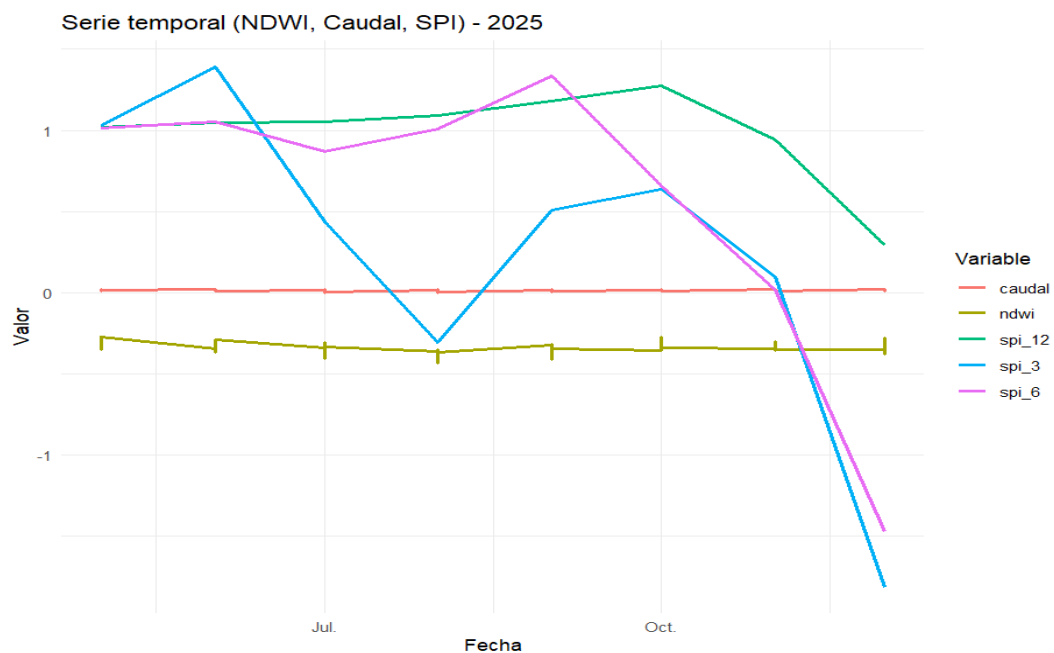
	Caudal	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.01	0.00	19.4
	(m ³ /s)								
BF-	NDWI	-0.43	-0.41	-0.37	-0.36	-0.33	-0.38	0.03	9.0
PT03	SPI-12	0.29	1.00	1.05	1.11	1.28	0.99	0.30	30.3
	SPI-3	-1.81	0.00	0.47	0.73	1.39	0.25	0.98	396.4
	SPI-6	-1.47	0.50	0.94	1.02	1.33	0.56	0.91	162.1
	Caudal	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	16.8
	(m ³ /s)								
04BF-	NDWI	-0.37	-0.34	-0.31	-0.29	-0.27	-0.32	0.03	10.7
CAC	SPI-12	0.29	1.00	1.05	1.11	1.28	0.99	0.30	30.3
	SPI-3	-1.81	0.00	0.47	0.73	1.39	0.25	0.98	396.4
	SPI-6	-1.47	0.50	0.94	1.02	1.33	0.56	0.91	162.1
	Caudal	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	65.7
	(m ³ /s)								
05BF-	NDWI	-0.35	-0.32	-0.31	-0.29	-0.28	-0.31	0.02	7.5
SAN	SPI-12	0.29	1.00	1.05	1.11	1.28	0.99	0.30	30.3
	SPI-3	-1.81	0.00	0.47	0.73	1.39	0.25	0.98	396.4
	SPI-6	-1.47	0.50	0.94	1.02	1.33	0.56	0.91	162.1
	Caudal	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.00	11.2
	(m ³ /s)								
06BF-	NDWI	-0.37	-0.36	-0.33	-0.32	-0.30	-0.34	0.02	6.9
HUA	SPI-12	0.29	1.00	1.05	1.11	1.28	0.99	0.30	30.3
	SPI-3	-1.81	0.00	0.47	0.73	1.39	0.25	0.98	396.4
	SPI-6	-1.47	0.50	0.94	1.02	1.33	0.56	0.91	162.1
	Caudal	0.00	0.01	0.01	0.01	0.02	0.01	0.00	42.7
	(m ³ /s)								
07BF-	NDWI	-0.37	-0.35	-0.34	-0.32	-0.28	-0.33	0.03	9.4
TIN	SPI-12	0.29	1.00	1.05	1.11	1.28	0.99	0.30	30.3
	SPI-3	-1.81	0.00	0.47	0.73	1.39	0.25	0.98	396.4
	SPI-6	-1.47	0.50	0.94	1.02	1.33	0.56	0.91	162.1

Nota: Valores obtenidos de R-Studio.

Consecuente a ello se obtuvo las series temporales de cada variable, para una visualización metódica y observar el comportamiento en el periodo de estudio, ello se observa en la figura 15. Se observó que el NDWI mantiene valores negativos constantes y relativamente estable en el periodo de análisis y presentó una respuesta amortiguada cuando los SPI (3, 6 y 12) cayeron fuertemente hacia finales del periodo.

Figura 15

Series temporales (NDWI, Caudal, SPI) en el 2025 para la Subcuenca media preurbana del río Ichu



Nota: Gráfico obtenido de R-Studio, elaboración propia.

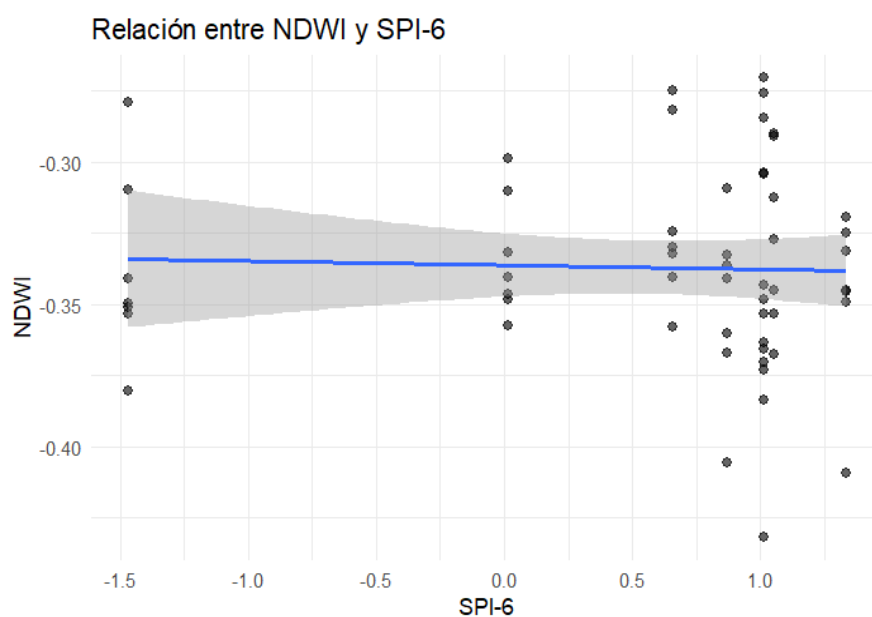
El caudal se mantuvo prácticamente constante también cercano a cero, no mostró variabilidad significativa ni respuesta inmediata a cambios inmediatos, probablemente a un régimen dominado por almacenamiento y liberación retardada y no por escorrentía directa. Paralelamente los índices SPI, comenzaron con valores positivos (condiciones húmedas) en mayo, pero experimentaron una caída drástica hacia diciembre entrando en valores negativos, el SPI-3 evidenció respuesta inmediata a eventos climáticos de corta duración, el SPI-6 mantuvo una respuesta más afirmada por ser estacional siendo más consistente con procesos hidrológicos como para

temporadas de análisis en esta investigación, el SPI-12 reflejó la memoria climática del sistema por ser más estable y generó escenarios de sequía más puntuales. Así, se confirmó entonces la existencia de desfases temporales entre la precipitación y respuesta hidrológica, propios de sistemas altoandinos y ecosistema de bofedal.

Dado que las series analizadas corresponden a variables hidro climáticas e índices espectrales con comportamiento estocástico, presencia de valores externos y tamaño muestral limitado se optó por emplear el coeficiente de correlación de Spearman, el cual no requiere el supuesto de normalidad y permite evaluar relaciones monótonas entre variables. De las series temporales, se seleccionó al SPI-6 para la vinculación con las variables hidrológicas (NDWI, caudal) debido a que este índice representa el déficit y superávit de precipitación acumulada semestral, lo cual es coherente con la capacidad de almacenamiento hídrico en los bofedales y coincide con los meses de estudio y no presentará respuestas inmediatas ni aisladas como sus índices semejantes.

Figura 16

Análisis de correlación entre el NDWI – SPI-6 (Variable independiente – variable dependiente) del periodo mayo-diciembre del 2025

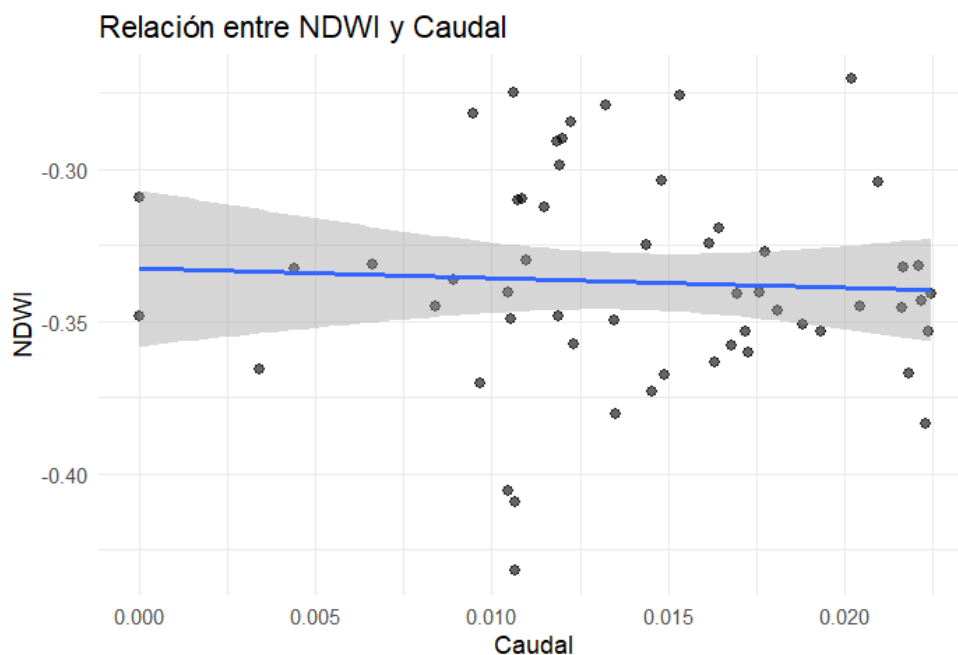


Nota: Grafico obtenido de R-Studio, elaboración propia.

La figura 16 evidenció una correlación lineal nula o insignificante entre el SPI-6 y el NDWI en la escala temporal analizada. El coeficiente de correlación de Spearman ($r = 0.021$, $p = 0.877$) confirma que no existe asociación estadísticamente significativa entre ambas variables. La línea de regresión o tendencia es prácticamente horizontal, esto sugiere que los cambios en el SPI-6 no estuvieron asociados a cambios proporcionales o predecibles en los valores del NDWI, la amplia banda de confianza sombreada y la alta dispersión de los puntos de datos alrededor de la línea demuestran una gran variabilidad y la falta de un patrón de asociación. Este comportamiento indicó que la humedad superficial de los bofedales no responde de manera directa ni monotonía a la precipitación acumulada a escala semestral; por tanto, el NDWI reflejó principalmente condiciones hidrológicas locales y procesos internos del ecosistema, mientras que el SPI-6 representó la señal climática integrada que no se traduce necesariamente en cambios inmediatos en la humedad superficial.

Figura 17

Análisis de correlación entre el NDWI – Caudal en el periodo mayo-diciembre del 2025

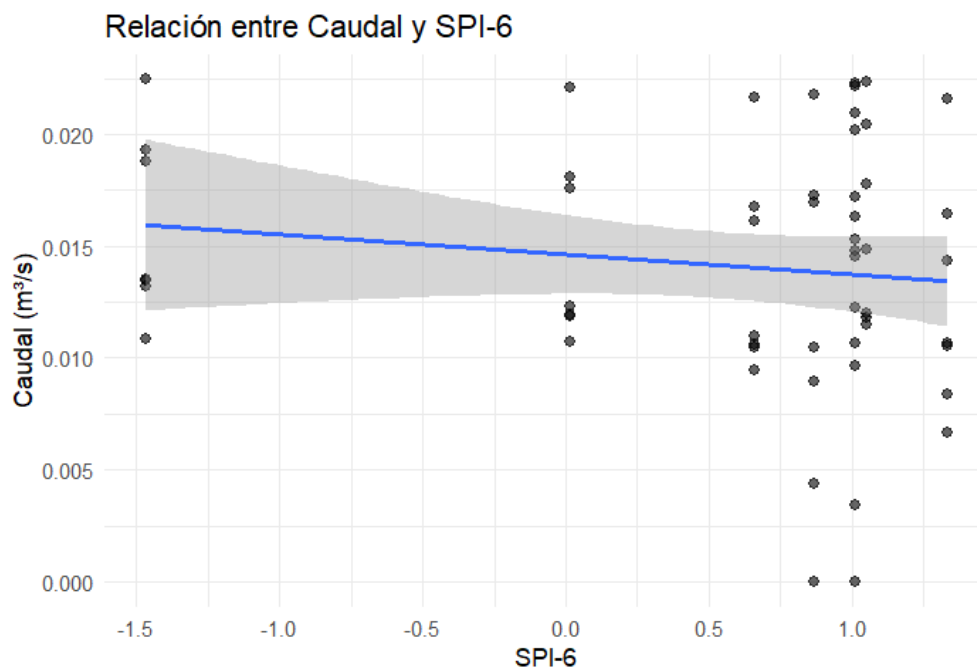


Nota: Grafico obtenido de R-Studio, elaboración propia.

La figura 17, representa la relación entre el NDWI y el caudal superficial. El coeficiente de correlación de Spearman una relación inversa muy débil y no significativa entre ambas variables ($r = -0.091$, $p = 0.503$), la línea tendencia es prácticamente horizontal, indicando que el incremento del caudal no se asocia a un patrón definido de mayor o menor humedad en la superficie del bofedal. La alta dispersión de los datos y la amplitud del intervalo de confianza, sugiere una independencia estadística en el periodo analizado. El NDWI como indicador local captó la humedad superficial del suelo y el caudal representó el flujo base del río, el cual puede presentar tener un tiempo de respuesta (rezago) a la recarga de la cuenca que no es instantáneo, en conjunto, estos resultados sugieren la existencia de procesos de regulación hídrica y amortiguamiento en el ecosistema del bofedal.

Figura 18

Análisis de correlación del Caudal y el SPI-6 (variable independiente – variable dependiente) para el periodo mayo-diciembre del 2025



Nota: Gráfico obtenido de R-Studio, elaboración propia.

La figura 18 muestra la relación entre el caudal y el SPI-6. El coeficiente de correlación de Spearman indicó una relación inversa débil y no significativa entre

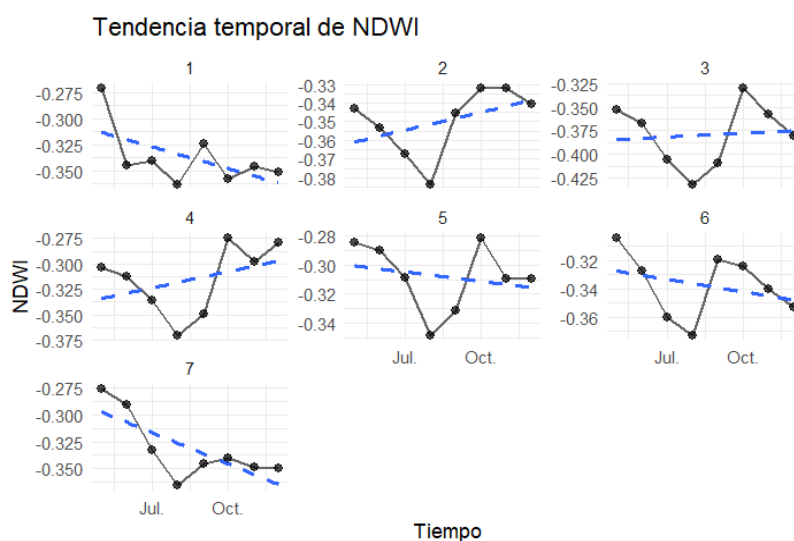
ambas variables ($r = -0.059$, $p = 0.664$). La alta dispersión de los datos y la amplitud del intervalo confirma que el SPI-6 no se traduce directamente en cambios proporcionales del caudal en la escala temporal analizada. Aunque se observa una tendencia negativa, esta no presenta significancia estadística. Estos resultados sugieren que el sistema hidrológico del área de estudio presenta un comportamiento amortiguador frente a la variabilidad climática de mediano plazo, desacoplando parcialmente la señal de precipitación de la dinámica del caudal.

4.1.5. Análisis de tendencias y evaluación de escenarios

Posteriormente, el test de Mann – Kendall y la pendiente de Sen fueron integrados en cuadros de tendencias por punto de monitoreo, permitieron clasificar la dirección y significancia del cambio temporal, asimismo, se construyeron gráficos de tendencias para cada variable con el fin de visualizar la evolución temporal de las series y facilitar la interpretación espacial – temporal de los procesos hidrológicos en el área de estudio.

Figura 19

Tendencias para el NDWI del periodo mayo-diciembre del 2025 para la Subcuenca media preurbana del río Ichu



Nota: Gráfico obtenido de R-Studio, elaboración propia.

La figura 19 ilustra la tendencia temporal del NDWI, por punto de monitoreo, revelando una marcada heterogeneidad espacial y variabilidad estacional. Los valores se mantuvieron en un rango negativo (-0.28 a -0.42), indicativo de condiciones de estrés hídrico de moderado y severo, lo cual fue coherente con la estación seca (julio – setiembre). La divergencia de las curvas de tendencia demostró que cada punto de monitoreo posee una dinámica hídrica local particular, este quiebre de tendencia coincide con el inicio de la temporada de lluvias, lo que sugiere una respuesta rápida a la humedad superficial ante la recarga hídrica inicial y subraya la importancia de monitorear múltiples puntos para capturar la complejidad hidrológica del ecosistema en el área de estudio.

Tabla 28

Resultados Test Mann – Kendall +Sen para el NDWI en el periodo mayo-diciembre del 2025

Punto	Tau	p-value	Pend. Sen	Tendencia	Significancia
01BF-SAT	-0.36	0.27	-0.0039	Decreciente	No significativa
BF-PT02	0.36	0.27	0.0022	Creciente	No significativa
BF-PT03	-0.07	0.90	-0.0012	Decreciente	No significativa
04BF-CAC	0.21	0.54	0.0045	Creciente	No significativa
05BF-SAN	-0.21	0.54	-0.0035	Decreciente	No significativa
06BF-HUA	-0.29	0.39	-0.0049	Decreciente	No significativa
07BF-TIN	-0.64	0.04	-0.0088	Decreciente	Significativa

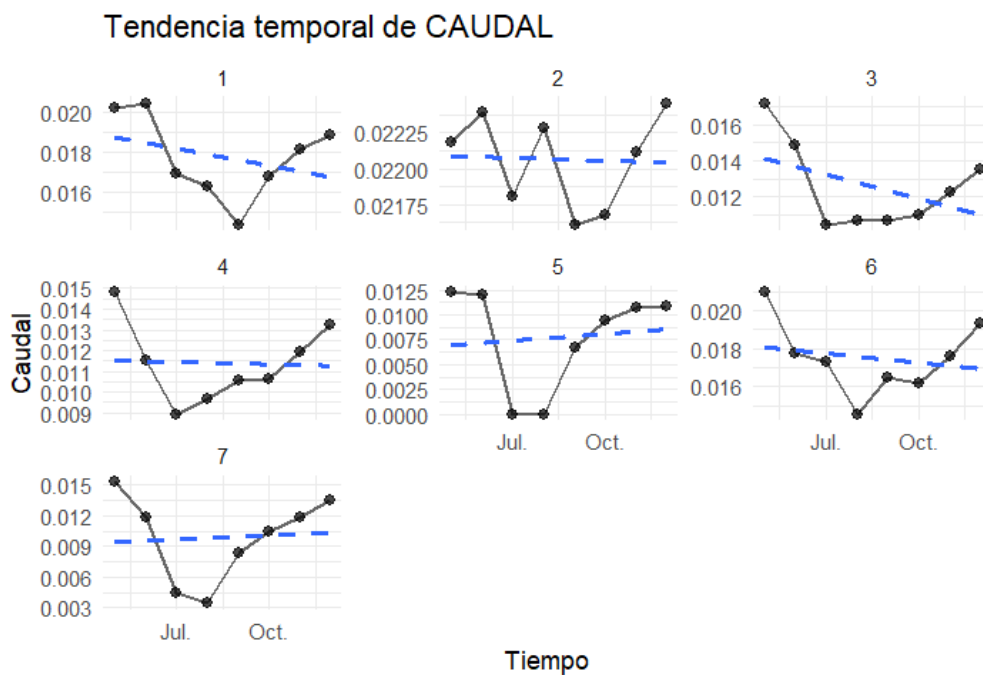
Nota: Datos obtenidos de R-Studio.

Los resultados del test de Mann-Kendall indicaron que seis de los siete puntos de monitoreo no presentaron tendencias estadísticamente significativas ($p > 0.05$), lo que sugiere que los cambios del NDWI responden principalmente a variaciones intranuales naturales del sistema y no a cambios progresivos en el tiempo. En términos

de dirección del cambio, los puntos 01BF-SAT, BF-PT03, 05BF-SAN y 06BF-HUA presentaron tendencias decrecientes débiles del NDWI, lo que indicaría una ligera reducción de la humedad superficial; sin embargo, estas tendencias no fueron estadísticamente significativas. Por otro lado, BF-PT02 y 04BF-CAC mostraron tendencias crecientes no significativas, lo que sugiere una leve mejora o mantenimiento de las condiciones de humedad superficial en dichos sectores. El único punto que evidenció un cambio significativo fue 07BF-TIN ($\tau = -0.64$; $p = 0.04$), el cual presentó una tendencia decreciente moderada con una pendiente de Sen de -0.0088 . Este resultado (tabla 28) indica una disminución anual consistente del NDWI en ese sector, lo que sugiere un proceso local de reducción de la humedad superficial que podría estar asociado a cambios hidrológicos, condiciones climáticas locales o dinámica interna del ecosistema.

Figura 20

Tendencias para el Caudal del periodo mayo-diciembre del 2025 para la Subcuenca media preurbana del río Ichu



Nota: Gráfico obtenido de R-Studio, elaboración propia.

La figura 20 presenta la tendencia temporal del caudal para los puntos de monitoreo, los resultados mostraron una alta heterogeneidad espacial en la disponibilidad de agua superficial, con diferencias significativas en los volúmenes de caudal registrados. Se observó un patrón estacional consistente con la hidrología andina, una disminución del caudal durante el pico de la estación seca (julio – setiembre), seguida de una recuperación evidente en el mes de octubre, coincidiendo con el inicio de las precipitaciones. Esta variabilidad temporal y espacial (multifacética) sugiere que los sectores del bofedal tienen distinta capacidad de almacenar y liberar agua. La tendencia general relativamente estable a pesar de la variabilidad a corto plazo indica que el ecosistema en el área de estudio mantuvo cierta resiliencia hídrica durante esta transición estacional.

Tabla 29

Resultados Test Mann – Kendall +Sen para el Caudal del periodo mayo-diciembre del 2025

Punto	Tau	p-value	Pend. Sen	Tendencia	Significancia
01BF-SAT	-0.14	0.71	-0.0002	Decreciente	No significativa
BF-PT02	0.00	1	6E-19	Sin tendencia	No significativa
BF-PT03	0.04	1	5.1E-05	Creciente	No significativa
04BF-CAC	0.21	0.54	0.0004	Creciente	No significativa
05BF-SAN	0.04	1	5.1E-05	Creciente	No significativa
06BF-HUA	-0.14	0.71	-0.0003	Decreciente	No significativa
07BF-TIN	0.14	0.71	0.0008	Creciente	No significativa

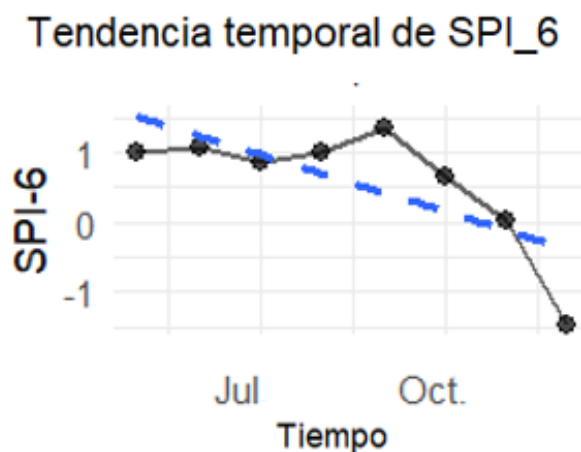
Nota: Datos obtenidos de R-Studio.

La prueba de Mann-Kendall indicó que ninguno de los puntos de monitoreo presentó tendencias estadísticamente significativas ($p > 0.05$), lo que sugiere que los cambios observados en el caudal corresponden principalmente a variaciones naturales

del sistema y no a procesos de cambio progresivo en el tiempo. En términos de dirección de cambio, los puntos 01BF-SAT y 06BF-HUA mostraron tendencias decrecientes débiles, mientras que BF-PT03, 04BF-CAC, 05BF-SAN y 07BF-TIN presentaron tendencias crecientes de baja magnitud. El punto BF-PT02 no evidenció tendencia detectable ($\tau = 0.00$), indicando estabilidad completa en la serie temporal analizada. No obstante, en todos los casos la magnitud de la pendiente de Sen fue cercana a cero, lo que confirma la baja tasa de variación temporal del caudal. Estos resultados indican que el sistema hidrológico presenta un comportamiento relativamente estable a escala temporal anual, caracterizado por variabilidad anual, pero sin evidencia de incremento o disminución sostenida del flujo superficial. La ausencia de tendencias significativas (tabla 29) sugiere un régimen de caudal controlado por mecanismos de regulación natural del sistema, tales como almacenamiento hídrico en el suelo, descarga retardada de la cuenca y procesos de amortiguamiento hidrológico propios del ecosistema del bofedal.

Figura 21

Tendencias para el SPI-6 del periodo mayo-diciembre del 2025 para la Subcuenca media preurbana del río Ichu



Nota: Gráfico obtenido de R-Studio, elaboración propia.

La uniformidad observada en los gráficos de tendencia del SPI-6 en la figura 21, se debe a que este índice fue calculado utilizando una única serie de datos de precipitación mensual en toda el área de estudio. Esta homogeneidad climática es

crucial para validar que las diferencias en la disponibilidad de agua no son un artefacto de las precipitaciones si no una característica intrínseca del funcionamiento del ecosistema del bofedal.

El análisis de tendencia temporal del SPI-6 evidenció un comportamiento decreciente a escala del área de estudio, con un valor de Tau de -0.57 y una pendiente de Sen de -0.1797. Sin embargo, la prueba de Mann-Kendall indicó que esta tendencia no alcanzó significancia estadística al nivel convencional del 95% de confianza ($p = 0.063$), por lo que se clasifica como una tendencia marginal. La dirección negativa del SPI-6 sugiere una disminución progresiva de las condiciones de humedad acumulada a escala semestral, lo que indicaría una tendencia hacia condiciones relativamente más secas durante el periodo analizado.

Tabla 30

Resultados Test Mann – Kendall +Sen para el SPI-6 del periodo mayo-diciembre del 2025

Punto	Tau	p-value	Pend. Sen	Tendencia	Significancia
En todos los puntos de monitoreo.	-0.57143	0.063487	-0.17974	Decreciente	Marginal

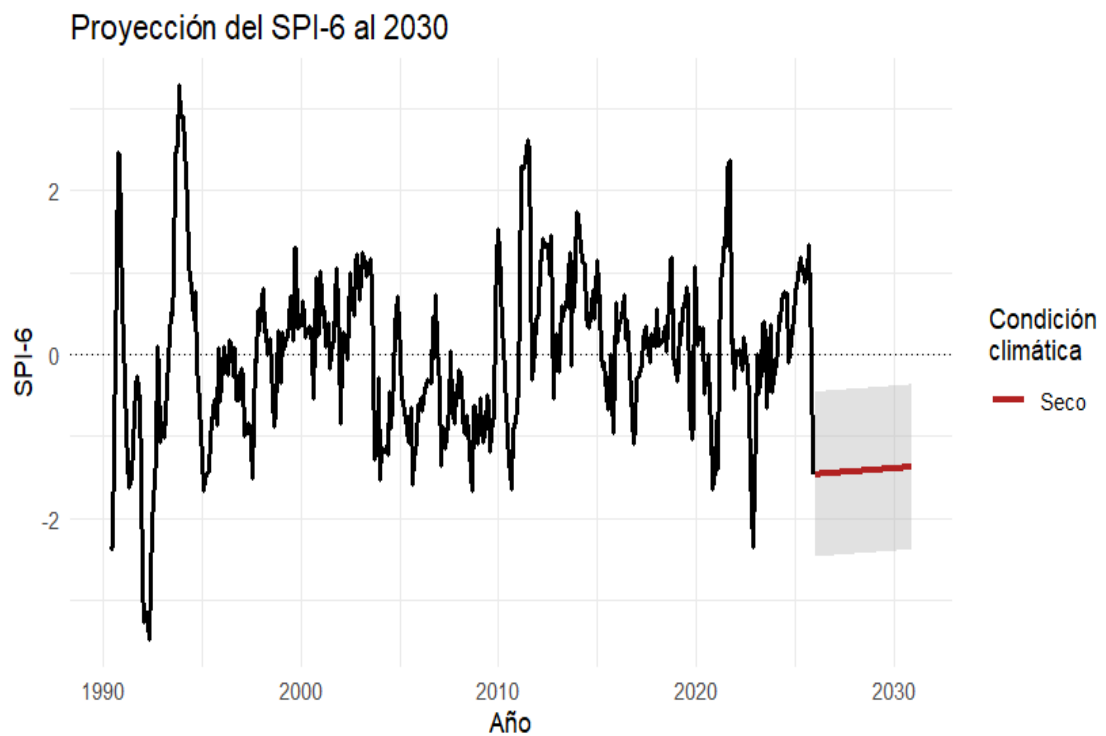
Nota: Datos obtenidos de R-Studio.

El análisis de tendencia no paramétrico aplicado a la serie histórica del SPI-6 (1990 – 2025) en la figura 22, mostró una tendencia lineal significativa en los niveles de humedad regional. La prueba de Mann – Kendall arrojó un valor p mayor a 0.05, lo que indica que la variabilidad interanual del clima domina sobre cualquier cambio direccional persistente a largo plazo y el estimador de pendiente Sen confirmó una tasa de cambio mensual cercana a cero. La proyección hacia el 2030, bajo un escenario de continuidad climática, indicó valores del SPI-6 cercanos a la normalidad con una ligera tendencia hacia condiciones deficitarias moderadas, sin alcanzar umbrales de sequía severa o extrema. Los escenarios seco y húmedo delimitan un rango plausible de variabilidad futura mostrando que, aun en condiciones desfavorables, el SPI-6 se mantiene mayoritariamente por encima de -1.5, lo cual sugiere la ausencia de un

escenario de estrés hídrico crítico persistente. Estos resultados indican que, de mantenerse las condiciones climáticas actuales, el sistema hidrológico asociado al bofedal enfrentaría presiones hídricas moderadas hacia el 2030, más relacionadas con la variabilidad climática estacional que una intensificación progresiva de la sequía.

Figura 22

Evaluación de escenarios del SPI-6 al 2030 para la Subcuenca media preurbana del río Ichu

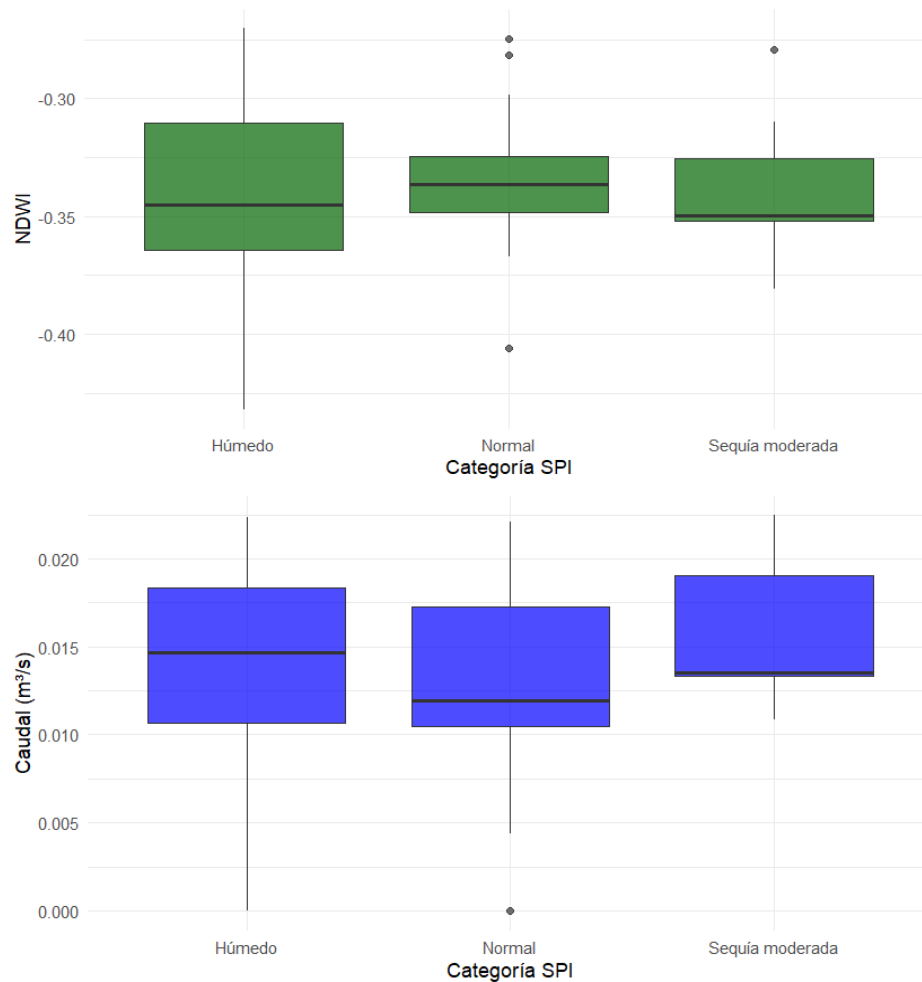


Nota: Gráfico obtenido de R-Studio, elaboración propia.

Con la obtención del escenario del SPI-6 al 2030, se analizó la respuesta hidrológica del NDWI y del Caudal superficial mediante su clasificación en categorías definidas por la OMM, integrando condiciones húmedas, normales y de sequía. Metodológicamente, esta aproximación permitió evaluar como variables biofísicas e hidrológicas responden estadísticamente a distintos estados de la disponibilidad hídrica, utilizando estadística descriptiva y pruebas no paramétricas (Kruskal – Wallis) para identificar diferencias entre categorías sin asumir normalidad de los datos.

Figura 23

Respuestas del NDWI, Caudal según categorías del SPI frente a escenarios proyectados hacia el 2030



Nota: Gráfico obtenido de R-Studio, elaboración propia.

Los resultados mostrados en la figura 23, manifestaron que tanto el NDWI y el Caudal presentan variaciones moderadas entre categoría SPI, con una tendencia general a valores más estables incluso bajo condiciones de sequía moderada, lo que sugiere una respuesta amortiguada del sistema bofedal frente a déficits pluviométricos. Esta evidencia empírica resulta coherente con la proyección del SPI-6 al 2030, la cual indica un predominio de escenarios cercanos a la normalidad climática con episodios intermitentes de sequía moderada, pero sin una persistencia de sequías severas o extremas. En este contexto, la respuesta observada del NDWI y del Caudal permitió

inferir que, bajo los escenarios proyectados al 2030, el bofedal mantendría su funcionalidad hidrológica dentro de rangos históricamente resilientes, reforzando la interpretación de que la variabilidad climática futura impactaría más en la dinámica temporal que en una degradación estructural del sistema.

4.2. Prueba de hipótesis

4.2.1. Proceso de prueba de normalidad

Las variables, así como las dimensiones de estudio atravesaron en primera instancia por la prueba de normalidad mediante el estadístico de Shapiro – Wilk, para ello se planteó la siguiente prueba estadística:

Ho: La distribución de datos es normal ($p > 0.05$).

Ha: La distribución de datos no es normal ($p < 0.05$).

Tabla 31

Prueba de normalidad para las variables de estudio

Variable	W	p_value	Interpretación
NDWI	0.9735255	0.2535990	Distribución normal
NDVI	0.9819200	0.5618057	Distribución normal
NDMI	0.9870597	0.8088288	Distribución normal
SPI-3	0.8444309	0.0000040	Distribución no normal
SPI-6	0.7153318	0.0000000	Distribución no normal
SPI-12	0.7006430	0.0000000	Distribución no normal
Caudal	0.9534764	0.0304961	Distribución no normal

Nota: Resultados obtenidos de R-Studio.

La prueba de normalidad de Shapiro – Wilk, aplicada con un nivel de significancia de $\alpha = 0.05$, evidenció un comportamiento entre las variables analizadas, los índices espectrales NDWI, NDVI, NDMI presentaron valores estadísticos W elevados y valores $p > 0.05$, por lo que no se rechazó la hipótesis nula de normalidad, en contraste los índices SPI (3, 6 y 12) y el Caudal, mostraron valores $p < 0.05$,

conduciendo al rechazo de la hipótesis nula y evidenciando distribuciones no normales. Estos resultados justifican metodológicamente la aplicación de pruebas estadísticas no paramétricas, dado que no todas las variables cumplen el supuesto de normalidad y el tamaño muestral es limitado.

4.2.1. Proceso de prueba de hipótesis

4.2.1.1. Prueba de hipótesis general

A. Planteamiento de hipótesis.

Ho: La disponibilidad de agua superficial de los bofedales de la cuenca del río Ichu no influye significativamente en el riesgo de sequías en la ciudad de Huancavelica, considerando las variaciones estacionales proyectadas para el año 2025.

Ha: La disponibilidad de agua superficial de los bofedales de la cuenca del río Ichu influye significativamente en el riesgo de sequías en la ciudad de Huancavelica, considerando las variaciones estacionales proyectadas para el año 2025.

B. Prueba estadística.

Para la contrastación de la hipótesis general se aplicaron pruebas estadísticas no paramétricas, seleccionadas en función del tipo de variables analizadas, el tamaño de la muestra y la ausencia de supuesto de normalidad. Se utilizó la correlación de Spearman con el objetivo de evaluar la relación monotónica entre la disponibilidad de agua superficial de los bofedales (NDWI) y el riesgo de sequía (SPI-6), asimismo, con la finalidad de analizar el comportamiento temporal de la disponibilidad de agua superficial, se aplicó la prueba de Mann – Kendall, adecuado para identificar tendencias en series temporales cortas e independientes de las distribución de los datos, de manera complementaria se aplicó la pendiente de Sen para estimar la magnitud y dirección del cambio temporal del NDWI. Finalmente, para evaluar la respuesta de la disponibilidad

de agua superficial bajo distintos escenarios de sequía del SPI-6, se empleó la prueba de Kruskal – Wallis para comparar múltiples grupos independientes. Este conjunto de pruebas permitió integralmente la relación, tendencia y respuesta del NDWI frente al riesgo de sequía.

Tabla 32

Prueba estadística para la hipótesis general

Prueba	Variable analizada	Estadístico	p-value
Spearman	NDWI vs SPI-6	$\rho = 0.021$	0.8767
Mann–Kendall	NDWI	$Z = -0.572$	0.567
Pendiente de Sen	NDWI	$Q = -0.000171$	0.567
Kruskal–Wallis	NDWI por escenarios SPI-6	$\chi^2 = 0.476$	0.7881

Nota: Resultados obtenidos de R-Studio.

C. Decisión estadística.

Bajo un nivel de significancia de $\alpha = 0.05$, las pruebas de correlación, tendencia y comparación de escenarios arrojaron un p-valor superiores a 0.05, esto conlleva a no rechazar la hipótesis nula (H_0). Por tanto, estadísticamente no se evidencia una influencia significativa de la disponibilidad de agua superficial de los bofedales sobre el riesgo de sequías en la ciudad de Huancavelica durante el periodo de estudio.

4.2.1.2. Prueba de hipótesis específica 1

D. Planteamiento de hipótesis.

H_0 : El estado de conservación de los bofedales en la cuenca del río Ichu no influye en su disponibilidad de agua superficial a lo largo del año 2025.

H_a : El estado de conservación de los bofedales en la cuenca del río Ichu influye en su disponibilidad de agua superficial a lo largo del año 2025.

E. Prueba estadística no paramétrica.

Se procede con la prueba estadística de correlación de Spearman, para evaluar la relación entre la conservación de los bofedales (NDVI, NDMI) y la disponibilidad de agua superficial de los bofedales (NDWI).

Tabla 33

Prueba estadística no paramétrica para hipótesis específica 1

Correlación	Método	Rho	p-value
NDWI - NDVI	Spearman	0.035	0.7967
NDWI - NDMI	Spearman	0.513	0.0001

Nota: Resultados obtenidos de R-Studio.

F. Decisión estadística.

Bajo un nivel de significancia de $\alpha = 0.05$, los resultados de la prueba de correlación de Spearman indica que no existe una relación estadísticamente significativa entre el NDWI y NDVI ($\rho = 0,035$; $p = 0,7967$), por lo que no se rechaza la hipótesis nula para esta relación. En contraste se evidencia una relación estadísticamente significativa entre el NDWI y NDMI ($\rho = 0,513$; $p = 0,0001$), motivo por el cual se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa para esta relación.

En consecuencia, la hipótesis específica 1 se acepta parcialmente, al verificarse significancia únicamente para el indicador NDMI, mientras el que NDVI no presenta evidencia estadística suficiente de asociación con la disponibilidad de agua superficial de los bofedales.

4.2.1.3. Prueba de hipótesis específica 2

G. Planteamiento de hipótesis.

Ho: No existe correlación significativa entre la disponibilidad de agua superficial de los bofedales y el Índice de Precipitación Estandarizado (SPI) en la ciudad de Huancavelica.

Ha: Existe correlación significativa entre la disponibilidad de agua superficial de los bofedales y el Índice de Precipitación Estandarizado (SPI) en la ciudad de Huancavelica.

H. Prueba estadística no paramétrica.

Se procede con la prueba estadística de correlación de Spearman, para evaluar la relación entre la disponibilidad de agua superficial (NDWI) y el Índice de Sequia Estandarizado (SPI-6).

Tabla 34

Prueba estadística no paramétrica para hipótesis específica 2

Correlación	Método	Rho	p-value
NDWI – SPI-6	Spearman	0.021	0.8767

Nota: Resultados obtenidos de R-Studio.

I. Decisión estadística.

Bajo un nivel de significancia $\alpha = 0,05$, los resultados de la prueba de correlación de Spearman evidencia que el valor p obtenido ($p = 0.8767$), es mayor que el nivel de significancia establecido. En consecuencia, no se rechaza la hipótesis nula (H_0), la cual establece que no existe correlación estadísticamente significativa entre la disponibilidad de agua superficial de los bofedales, representada por el NDWI y el Índice de Precipitación Estandarizado a escala de 6 meses (SPI-6).

4.2.1.4. Prueba de hipótesis específica 3

J. Planteamiento de hipótesis.

H_0 : Las proyecciones de disponibilidad de agua superficial de los bofedales no permiten estimar el riesgo de sequias en la ciudad de Huancavelica para los próximos 5 años.

Ha: Las proyecciones de disponibilidad de agua superficial de los bofedales permiten estimar el riesgo de sequías en la ciudad de Huancavelica para los próximos 5 años.

K. Prueba estadística no paramétrica.

Se evaluó la hipótesis específica 3 mediante la serie temporal mensual de NDWI, caudal correspondiente a los meses de estudio, emparejada con los valores del SPI-6. Dado el tamaño reducido de la muestra y la no normalidad en los datos, se aplicaron métodos estadísticos no paramétricos. La tendencia temporal de la disponibilidad de agua superficial se analizó mediante la prueba de Mann-Kendall, complementada con la pendiente de Sen para estimar la magnitud y dirección del cambio, posteriormente los valores del SPI-6 fueron clasificados en escenarios hidroclimáticos (seco, normal, húmedo), se aplicó la prueba de Kruskal – Wallis para evaluar diferencias en los valores de NDWI y caudal para dichos escenarios. Dada la ausencia de correlación, se implementó un modelo de regresión lineal múltiple para explorar el escenario de la disponibilidad de agua superficial sobre el del SPI-6.

Tabla 35

Prueba estadística no paramétrica para hipótesis específica 3

Prueba estadística	Estadístico	Valor del estadístico	p-value
Mann–Kendall	Z	−0.572	0.567
Pendiente de Sen	Q	−0.00017	0.567
Kruskal–Wallis	χ^2	0.476	0.788

Nota: Resultados obtenidos de R-Studio.

L. Decisión estadística.

Los resultados evidencian una tendencia temporal estadísticamente significativa en los valores del NDWI (Mann–Kendall, $p > 0.05$), ni una pendiente significativa asociada a su variación temporal (pendiente de Sen, $p > 0.05$), asimismo, no se identificaron diferencias significativas en la disponibilidad de agua superficial entre los escenarios de sequía definidos mediante el SPI-6 (Kruskal–Wallis, $p > 0.05$);

en consecuencia, no se rechaza la hipótesis nula y se rechaza la hipótesis alterna. Concluyendo que, para el periodo analizado, la información disponible del NDWI resulta estadísticamente insuficiente para sustentar la estimación del riesgo de sequías en la ciudad de Huancavelica.

4.3 Discusión de resultados

De acuerdo con el procesamiento de imágenes Sentinel-2, los bofedales de la cuenca del río Ichu presentan una alta vitalidad vegetal, pero con señales de estrés hídrico superficial. Los valores de NDVI en los siete puntos de monitoreo oscilan entre 0.35 y 0.60, lo que los clasifica como "Vegetación alta". Sin embargo, el NDWI muestra valores negativos constantes de -0.2 a -0.4, situándolos en la categoría de "Sequía o superficie sin agua". Esta aparente contradicción (alta vegetación con baja agua superficial) coincide con lo expuesto por Espinosa et al. (2011), quienes señalan que la estabilidad de la cobertura vegetal en humedales altoandinos depende más del agua en el suelo (turba) que de la disponibilidad hídrica superficial. La persistencia de cobertura vegetal pese a la restricción hídrica observada en el NDWI coincide con la capacidad de los bofedales para almacenar agua en turba y liberarla gradualmente, sosteniendo procesos eco hidrológicos incluso en condiciones secas (Oshun et al., 2022).

Este comportamiento también concuerda con estudios que evidencian que la estructura del suelo y el contenido de materia orgánica determinan la retención hídrica y estabilidad del ecosistema (Baldoceca et al., 2022). Por tanto, la coexistencia de vegetación activa con déficit hídrico superficial puede explicarse por mecanismos de regulación subsuperficial propios de estos humedales. similar a lo reportado por Villar Acevedo (2023), quien registró una disminución del 50% en la cobertura de bofedales en la microcuenca Yuracmayo entre 2017 y 2021. Esta diferencia se debe probablemente a que los bofedales del Ichu enfrentan una presión antrópica y climática más severa que acelera la pérdida de humedad pese a mantener el vigor vegetal.

El análisis de correlación de Spearman evidenció una débil asociación entre el SPI-6 y las variables de disponibilidad hídrica (NDWI y Caudal), mostrando una

dispersión de datos sugiriendo que el estado de los bofedales en el área de estudio no responde de manera inmediata o lineal al déficit de precipitación de mediano plazo. Esta discrepancia con los resultados de Sulca & Joaquin (2023), quienes hallaron una dependencia del 48.3 % respecto a la precipitación, también la de Gómez-Sánchez et al. (2022), quienes validaron que los valores negativos del SPI provocan una disminución del 12% en la superficie hídrica de los bofedales en el sur del Perú. Sugiriéndose que en los bofedales de las zonas de monitoreo existen otros factores predominantes. La falta de una correlación fuerte, se puede argumentar debido a la "memoria hidrológica" y la capacidad de regulación de la turba, tal como mencionan Gribbin et al. (2024), quienes explican que los bofedales mantienen el flujo incluso cuando las lluvias fallan.

Por lo tanto, mientras que autores como Otto & Gibbons (2017) establecen una relación directa ($r^2=0.82$) entre lluvia y bofedales en otras regiones, los resultados muestran que el sistema para el río Ichu tiene una dinámica más compleja, esto indica que la disponibilidad de agua superficial podría estar más influenciada por la descarga lenta de turba, contribución de flujos subterráneos o el derretimiento glaciar residual que por la lluvia reciente, coincidiendo con la tesis de Oshun et al. (2022), quienes afirman que estos ecosistemas capturan agua de áreas mucho mayores a su tamaño, amortiguando el impacto directo de la sequía meteorológica.

La aplicación de las pruebas de Mann-Kendall, indicaron tendencias decrecientes en las variables de la disponibilidad de agua, se observó que el NDWI y caudal respondió a la variabilidad natural y no a un cambio progresivo irreversible, a diferencia del escenario histórico del SPI-6 que evalúa un escenario de condición climática seca hacia el 2030, esto sugiere que, de mantenerse la variabilidad actual, la capacidad de regulación de los bofedales podría verse severamente comprometida. La tendencia es coherente con las proyecciones de Pérez-Cutillas et al. (2020), quienes estimaron reducciones de hasta el 30% en el caudal de cuencas de alta montaña debido al calentamiento global considerando la evaluación histórica de variables, a diferencia del estudio de Belay et al. (2024), donde la teledetección mostró escenarios de recarga

estables en regiones de Etiopía, estos resultados sugieren un incremento del riesgo de sequía hidrológica.

Esta diferencia radica en la vulnerabilidad específica del área de estudio, la degradación por sobrepastoreo y drenaje artificial, factores también identificados por Maldonado (2018) en Ayacucho y Huancavelica, reducen la resiliencia del ecosistema, por lo tanto, el escenario al 2030 proyecta una mayor estacionalidad del río Ichu, validando la advertencia de Otto & Gibbons (2017) sobre la pérdida de capacidad de almacenamiento hídrico en bofedales altoandinos ante la reducción proyectada de lluvias, observación difirió de lo hallado por Villar Acevedo (2023), quien registró una reducción drástica de más del 50 % en la cobertura de bofedales en la microcuenca Yuracmayo entre 2017 y 2021. Este panorama fue consistente con las advertencias de Ayala Bizarro (2020) (p. 12), quien señaló que la disminución progresiva del agua superficial en la región está ligada tanto a la variabilidad climática como a la presión antropogénica, factores que deben ser monitoreados para evitar escenarios de escasez severa al año 2030.

CONCLUSIONES

- La evaluación integrada de los índices espectrales y de las mediciones de caudal evidenció que los bofedales del área de estudio, presentaron disponibilidad limitada de agua superficial durante el periodo de estudio, caracterizada por déficit hídrico superficial persistente y heterogeneidad funcional entre unidades eco hidrológicas, lo que confirma un estado de conservación hidrológica variable dentro del sistema.
- El estado de conservación de los bofedales condiciona su capacidad de regulación hídrica anual, evidenciándose que la disminución de su capacidad de almacenamiento y liberación de agua contribuye a la reducción progresiva del recurso hídrico superficial en el área de estudio.
- El análisis estadístico no evidenció correlación significativa entre el Índice de Precipitación Estandarizado (SPI-6) y los indicadores de disponibilidad de agua superficial, lo que demuestra un desacoplamiento parcial entre la variabilidad climática de mediano plazo y la respuesta hidrológica superficial de los bofedales, atribuible a mecanismos de regulación y almacenamiento hídrico propios del ecosistema.
- El análisis de tendencias y la evaluación de escenarios hidrológicos indicaron ausencia de recuperación hídrica sostenida y persistencia de condiciones de déficit superficial bajo escenarios secos, lo que evidencia limitada resiliencia hidrológica del sistema frente a la recurrencia de sequías meteorológicas y tendencia a la estabilidad deficitaria de la disponibilidad de agua superficial.
- La disponibilidad de agua superficial de los bofedales de la cuenca del río Ichu está controlada por un sistema eco hidrológico regulador que amortigua la señal climática; sin embargo, la persistencia de condiciones de estrés hídrico, la limitada recuperación funcional y la

tendencia a la estabilidad deficitaria evidencian un incremento potencial del riesgo de sequías hidrológicas para la ciudad de Huancavelica al comprometer la función reguladora de estos ecosistemas altoandinos.

RECOMENDACIONES

- Priorizar la conservación y restauración ecológica de zonas de bofedales que presentaron caudales intermitentes o déficit hídrico estructural, mediante control de drenajes, manejo de carga ganadera y protección de zonas de turba, con verificación anual de recuperación del caudal base.
- Integrar la función reguladora de los bofedales en la planificación hídrica local, utilizando indicadores hidrológicos como variables de alerta temprana para la gestión preventiva del riesgo de sequías.
- Ampliar el horizonte temporal de observación a series interanuales continuas que permitan evaluar resiliencia y recuperación hidrológica de largo plazo.
- Utilizar los resultados y el enfoque metodológico desarrollado en la presente investigación como base de referencia para estudios eco hidrológicos futuros en bofedales altoandinos, promoviendo su ampliación temporal, espacial y multivariable, con el fin de fortalecer la comprensión de los mecanismos de regulación hídrica y su relación con la variabilidad climática en sistemas de montaña.

REFERENCIAS BIBLOGRAFICAS

- Alberto Castillo, M. E., & Joseli Matos, C. L. (2019). *Evaluación del estado ambiental del bofedal altoandino “Yanacancha” comunidad campesina de Miraflores - Yauyos 2019*. Universidad César Vallejo.
- Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., & Smith, M. (1998). *Crop Evapotranspiration (guidelines for computing crop water requirements)*.
- Alonso Losa, L. (2022). *Aplicación del análisis de series temporales a variables atmosféricas*. Universidad de Valladolid.
- Ambenje, P., Bojariu, R., Easterling, D., Klein Tank, A., Parker, D., Rahimzadeh, F., Renwick, J. A., Rusticucci, M., Soden, B., & Zhai, P. (1994). *Observations: Surface and Atmospheric Climate Change Coordinating Lead Authors: Lead Authors: Review Editors: This chapter should be cited as*.
- Anderson, M. J. (2001). A new method for non-parametric multivariate analysis of variance. *Austral Ecology*.
- Ángeles Clemente, V. A., Arana Ruedas, D. P. R., Camargo Hinostroza, S. D., & Oketta, O. (2024). Comparison between Standardized Precipitation Index (SPI) and Standardized Evapotranspiration Index (SPEI) for agricultural drought over Mantaro Valley, Peru. *Manglar*, 21(3), 337–345. <https://doi.org/10.57188/manglar.2024.037>
- Anthelme, Fabien, ed, Meneses, Dangles, & Olivier. (2014). *Métodos para estudiar el efecto del cambio climático sobre los bofedales y sus servicios ambientales inherentes*.
- Araque Arellano, M. (2022). El agua en la naturaleza. In *Diseño hidráulico de plantas de tratamiento de agua potable* (pp. 15–24). Editorial Abya-Yala. <https://doi.org/10.7476/9789978108208.0002>

- Araque, M., Vásconez, M., Mancheno, A., Álvarez, C., Prehn, C., Cevallos, C., & Ortiz, L. (2019). *Cuencas Hidrográficas*.
- Arrhenius, S. (1896). On the Influence of Carbonic Acid in the Air upon the Temperature of the Ground. In *Philosophical Magazine and Journal of Science Series* (Vol. 5). <http://www.globalwarmingart.com/>
- Autoridad Nacional del Agua. (2010). *Evaluación de recursos hídricos superficiales en la cuenca del río Pampas*.
- Autoridad Nacional del Servicio Civil. (2021). *Gestión Sostenible del Agua*. www.servir.gob.pe
- Ayala Bizarro, I. A. (2020). *Estudio hidrológico de la sub cuenca del río Ichu*.
- Baldoceda, Á., Maldonado, M., & Alcántara, F. (2022). Análisis del porcentaje de humedad, materia orgánica y porosidad del suelo de dos tipos de bofedales. *Ciencia & Desarrollo*, 20(2), 17–28. <https://doi.org/10.33326/26176033.2021.2.1204>
- Bateman, A. (2007). *Hidrología Básica y Aplicada*. www.gits.ws
- Belay, A. S., Yenehun, A., Nigate, F., Tilahun, S. A., Dessie, M., Moges, M. M., Chen, M., Fentie, D., Adgo, E., Nyssen, J., & Walraevens, K. (2024). Estimation of spatially distributed groundwater recharge in data-scarce regions. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 56. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2024.102072>
- Bernal, C. A. (2010). *Metodología de la investigación administración, economía, humanidades y ciencias sociales*. PEARSON EDUCACIÓN.
- Botter, G., Bertuzzo, E., & Rinaldo, A. (2011). Catchment residence and travel time distributions: The master equation. *Geophysical Research Letters*, 38(11). <https://doi.org/10.1029/2011GL047666>
- Bozzano, H., Frediani, J., Cirio, G., & Barrionuevo, C. (2014). *Metodología de la investigación en Geografía*.

- Breña Puyol, A. F., & Jacobo Villa, M. A. (2006). *Principios y Fundamentos de la Hidrología Superficial*.
- Budyko, M. I. (1974). *Climate and Life* (Academic Press, p. iii). [https://doi.org/10.1016/s0074-6142\(09\)60001-2](https://doi.org/10.1016/s0074-6142(09)60001-2)
- Bustos Castelblanco, D. E. (2021). *Análisis de la disponibilidad hídrica superficial en la cuenca alta y media del río La Vieja bajo escenarios de cambio climático*. Universidad de Quindío.
- Céleri, R., & Feyen, J. (2009). The hydrology of tropical andean ecosystems: Importance, knowledge status, and perspectives. *Mountain Research and Development*, 29(4), 350–355. <https://doi.org/10.1659/mrd.00007>
- Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas. (2013). *Caracterización Hidrológica de Sequías*.
- Centro Nacional de Planeamiento Estratégico. (2023). *Estudio prospectivo sobre el estrés hídrico y la inseguridad alimentaria en el Perú*.
- Chandrasekhar, S. (1960). *Radiative Transfer*.
- Chavarría -Vidal, A. E., Morales-Sánchez, M., & Soto-Bravo, F. (2022). *Evapotranspiración de referencia, evapotranspiración real y el coeficiente de cultivo para el cultivo de cebolla (Allium cepa) c.v. Álvara promedio en invernadero*.
- Chávez, R. O., Meseguer-Ruiz, O., Olea, M., Calderón-Seguel, M., Yager, K., Isela Meneses, R., Lastra, J. A., Núñez-Hidalgo, I., Sarricolea, P., Serrano-Notivoli, R., & Prieto, M. (2023). Andean peatlands at risk? Spatiotemporal patterns of extreme NDVI anomalies, water extraction and drought severity in a large-scale mining area of Atacama, northern Chile. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 116. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2022.103138>

- Choubin, B., Malekian, A., & Golshan, M. (2016). Application of several data-driven techniques to predict a standardized precipitation index. *Atmosfera*, 29(2), 121–128. <https://doi.org/10.20937/ATM.2016.29.02.02>
- Cieza, L. G., & Mejía, J. A. (2019). *Comparison of three methods in the analysis of hydrometeorological droughts in the Llave River basin Puno – Perú / Comparación de tres métodos en el análisis de sequías hidrometeorológicas en la cuenca del Río Llave Puno – Perú.*
- Córdova Rodríguez, J. R., & Rodríguez Iturbe, I. (2010). *El ciclo hidrológico y su significación ecológica.*
- Crispin Cunya, M., & Jimenez Diaz, L. A. (2019). Valoración económica ambiental de los bofedales del distrito de Pilpichaca, Huancavelica, Perú. *Natura@economía*, 4(1), 1. <https://doi.org/10.21704/ne.v4i1.1299>
- Cuadros, J., Maldonado, M., Carillo, C., & Mejía, A. (2022). *Diseño de Metodología para la Evaluación de la Calidad de Bofedales por Teledetección.* <https://cymperusac.com/>
- Darcy, H. (1856). *Les fontaines publiques de la ville de Dijon: exposition et application des principes à suivre et des formules à employer dans les questions de distribution d'eau.*
- Diana, A. (2020). *Bayesian nonparametric methods for modelling ecological data and stochastic processes for modelling species interactions.* University of Kent.
- Espinosa, M., Orellana, L., Alegría, D., & Ortiz, G. (2011). *Análisis multitemporal de cambios ocurridos en humedales utilizando imágenes satelitales (Periodo 1984 - 2011).*
- Florín Beltrán, M. (2010). *El ciclo del agua: de los montes a las áreas bajas, calidad, usos y cambio climático* Máximo Florín Beltrán.

- Fuenzalida, M., Buzai, G. D., Moreno Jiménez, A., & García de León, A. (2015). *Geografía, Geotecnología y Análisis Espacial. Tendencias, métodos y aplicaciones* (Editorial Triangulo, Ed.). Universidad Alberto Hurtado. <http://editorialtriangulo.org>
- García, E., & Otto, M. (2015). CARACTERIZACIÓN ECOHIDROLÓGICA DE HUMEDALES ALTO ANDINOS USANDO IMÁGENES DE SATÉLITE MULTITEMPORALES EN LA CABECERA DE CUENCA DEL RÍO SANTA, ANCASH, PERÚ ECOHYDROLOGICAL CHARACTERIZATION OF HIGH ANDEAN WETLANDS BASED ON MULTI-TEMPORAL REMOTE SENSING IMAGES IN THE CASE OF UPPER SANTA RIVER, ANCASH, PERU. *Ecología Aplicada*, 14(2), 2015.
- Gilvear, D. J., & Bradley, C. (2009). Hydrological Dynamics II: Groundwater and Hydrological Connectivity. In *The Wetlands Handbook* (pp. 169–193). Wiley-Blackwell. <https://doi.org/10.1002/9781444315813.ch7>
- Gómez-Sánchez, R., Cuba, D., & Aponte, H. (2022). SOBRE LA NECESIDAD DE DESCENTRALIZACIÓN Y DIVERSIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN EN HUMEDALES COSTEROS PERUANOS. *The Biologist*, 20(1), 121–150. <https://doi.org/10.24039/rtb20222011311>
- Gonnet, J., & Damian, A. (2021). *Evaluación rápida del servicio ecosistémico de provisión de agua de los humedales altoandinos en la Cuenca del Rímac a la ciudad de Lima*.
- Gribbin, T., Mackay, J. D., MacDonald, A., Hannah, D. M., Buytaert, W., Baiker, J. R., Montoya, N., Perry, L. B., Seimon, A., Rado, M., Arias, S., & Vargas, M. (2024). Bofedal wetland and glacial melt contributions to dry season streamflow in a high-Andean headwater watershed. *Hydrological Processes*, 38(8). <https://doi.org/10.1002/hyp.15237>
- Gu, Y., Brown, J. F., Verdin, J. P., & Wardlow, B. (2007). A five-year analysis of MODIS NDVI and NDWI for grassland drought assessment over the central

Great Plains of the United States. *Geophysical Research Letters*, 34(6).
<https://doi.org/10.1029/2006GL029127>

Guide to Instruments and Methods of Observation Volume I-Measurement of Meteorological Variables. (n.d.).

Gunnar, M., Highwood, E. J. S. K. P., & Stordal, F. (1998). New estimates of radiative forcing due to well mixed greenhouse gases. *Geophysical Research Letters*, 25, 2715–2718.

Helsel, D. R., Hirsch, R. M., Ryberg, K. R., Archfield, S. A., & Gilroy, E. J. (2020). *Statistical Methods in Water Resources*.

Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, M. del P. (2014). *Metodología de la Investigación* (McGRAW-HILL Educación, Ed.).

Hirsch, R. M., Slack, J. R., & Smith, R. A. (1982). Techniques of Trend Analysis for Monthly Water Quality Data. In *WATER RESOURCES RESEARCH* (Vol. 18).

Houshang Ehsani, A., & Shakeryari, M. (2020). Monitoring of wetland changes affected by drought using four Landsat satellite data and Fuzzy ARTMAP classification method (case study Hamoun wetland, Iran). *Arabian Journal of Geosciences*. <https://doi.org/10.1007/s12517-020-06320-8>/Published

Huss, M., & Hock, R. (2018). Global-scale hydrological response to future glacier mass loss. *Nature Climate Change*, 8(2), 135–140.
<https://doi.org/10.1038/s41558-017-0049-x>

Instituto Geofísico del Perú. (2010). *Cambio Climático en la cuenca del Mantaro (Balance de 7 años de estudio)*.

Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña. (2023). *Memoria Descriptiva Inventario Nacional de Bofedales*.

Instituto Nacional de Investigación y Ecosistemas de Montaña. (2023). *Memoria Descriptiva Inventario Nacional de Bofedales 2023*.

- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2023). Technical Summary. In *Climate Change 2021 – The Physical Science Basis* (pp. 35–144). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781009157896.002>
- Jafarzadeh, H., Mahdianpari, M., Gill, E. W., Brisco, B., & Mohammadimanesh, F. (2022). Remote Sensing and Machine Learning Tools to Support Wetland Monitoring: A Meta-Analysis of Three Decades of Research. In *Remote Sensing* (Vol. 14, Number 23). MDPI. <https://doi.org/10.3390/rs14236104>
- Kawamura, S., & Brady, C. (2022). *Resiliencia al Cambio Climático en el entorno construido - Principios de adaptación al cambio climático*.
- Keyantash, J., & Dracup, J. A. (2002). The Quantification of Drought: An Evaluation of Drought Indices. *AMERICAN METEOROLOGICAL SOCIETY*.
- Khalid, H. W., Khalil, R. M. Z., & Qureshi, M. A. (2021). Evaluating spectral indices for water bodies extraction in western Tibetan Plateau. *Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 24(3), 619–634. <https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2021.09.003>
- Koutsoyiannis, D. (2020). Revisiting the global hydrological cycle: Is it intensifying? *Hydrology and Earth System Sciences*, 24(8), 3899–3932. <https://doi.org/10.5194/hess-24-3899-2020>
- Laqui, W., Zubieta, R., Laqui-Vilca, Y., Alfaro, R., Laqui-Vilca, C., & Aragón, L. (2024). Evaluación de la respuesta hidrológica a cambios de precipitación y temperatura en el altiplano peruano. *Tecnología y Ciencias Del Agua*, 15(1), 1–53. <https://doi.org/10.24850/j-tyca-15-01-01>
- Li, L. (2023). *Escasez de agua, crisis climática y seguridad alimentaria mundial: un llamamiento a la acción colaborativa | Naciones Unidas*. <https://www.un.org/es/cr%C3%B3nica-onu/escasez-de-agua-crisis-clim%C3%A1tica-y-seguridad-alimentaria-mundial-un-llamamiento-la>

- Llosa, J., Pajares, E., & Toro, O. (2009). Cambio climático, crisis del agua y adaptación en las montañas andinas. *Red Ambiental Peruana*.
- López Rodríguez, E. (2024). *La Teledetección como herramienta de prevención y gestión de riesgos y emergencias*. <https://geoinnova.org/blog-territorio/la-teledeteccion-como-herramienta-de-prevencion-y-gestion-de-riesgos-y-emergencias/>
- López-Gómez, A. M., & Williams-Linera, G. (2006). EVALUACIÓN DE MÉTODOS NO PARAMÉTRICOS PARA LA ESTIMACIÓN DE RIQUEZA DE ESPECIES DE PLANTAS LEÑOSAS EN CAFETALES. *Ecología y Evolución*.
- Maldonado, M. S. (2018). *Dinámica espacio temporal de la flora de bofedales en Ayacucho y Huancavelica 2010 - 2012*. Universidad Nacional Agraria La Molina.
- Maldonado-Fonkén, M., Chuquillanqui, H., Vildoso, B., & Linares-Palomino, R. (2024). Plant communities of high-Andean bofedal wetlands across a trans-Andean transect in southern Peru. *Vegetation Classification and Survey*, 5, 203–218. <https://doi.org/10.3897/VCS.115726>
- Marcos Valiente, Ó. (2001). SEQUÍA: DEFINICIONES, TIPOLOGÍAS Y MÉTODOS DE CUANTIFICACIÓN. In *Investigaciones Geográficas*, nº (Vol. 26).
- Margat, J., Frenken, K., & Faurès, J.-M. (2005). *KEY WATER RESOURCES STATISTICS IN AQUASTAT*.
- Martínez de Icaya-Gómez, E., Martínez-Izquierdo, E., Hernández-Viñas, M., & Naranjo-Hernández, J. E. (2025). Reduced dimensionality space of features using spectral indices for detecting changes in multitemporal Landsat-8 images. *Ecological Informatics*, 87. <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2025.103090>
- Masafu, C., & Williams, R. (2024). Satellite Video Remote Sensing for Flood Model Validation. *Water Resources Research*, 60(1). <https://doi.org/10.1029/2023WR034545>

- McEvoy, D. J., Huntington, J. L., Hobbins, M. T., Wood, A., Morton, C., Anderson, M., & Hain, C. (2016). The evaporative demand drought index. Part II: CONUS-wide assessment against common drought indicators. *Journal of Hydrometeorology*, 17(6), 1763–1779. <https://doi.org/10.1175/JHM-D-15-0122.1>
- McFeeters, S. K. (1996). The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features. *International Journal of Remote Sensing*, 17(7), 1425–1432. <https://doi.org/10.1080/01431169608948714>
- Mckee, T. B., Doesken, N. J., & Kleist, J. (1993). THE RELATIONSHIP OF DROUGHT FREQUENCY AND DURATION TO TIME SCALES. *Eighth Conference on Applied Climatology*, 17–22.
- Ministerio del Ambiente. (2019). *Guía de evaluación del ecosistema de bofedal*.
- Morales Saravia, R. (2019). *HUMEDALES Y CAMBIO CLIMÁTICO*. www.minam.gob.pe
- Morejón Miranda, Y. M., Vega Carreño, M. B., Escarré Esteve, A., Peralta Vital, J. L., Quintero Silverio, A., & Gonzáles Piedra, J. I. (2013). *Análisis de balance hídrico en cuencas hidrográficas de la Sierra de los Órganos*. XXXVI.
- Mukherjee, K. (2020). Wetland habitat stability assessment in hydro-geomorphological (HGM) and surface water availability (SWA) conditions in a lower Gangetic floodplain region of Eastern India. *Ecological Indicators*, 119. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106842>
- Mustafa, M. T., Hassoon, K. I., Hussain, H. M., & Abd, M. H. (2017). USING WATER INDICES (NDWI, MNDWI, NDMI, WRI AND AWEI) TO DETECT PHYSICAL AND CHEMICAL PARAMETERS BY APPLY REMOTE SENSING AND GIS TECHNIQUES. *International Journal of Research - GRANTHAALAYAH*, 5(10), 117–128. <https://doi.org/10.29121/granthaalayah.v5.i10.2017.2289>

- Ñahui Martínez, E. (2021a). *Comportamiento y estrategias de conservación del recurso hídrico de bofedales en Callqui Chico, Huancavelica - 2021*. Universidad Nacional de Huancavelica.
- Ñahui Martínez, E. (2021b). *Comportamiento y Estrategias de Conservación del Recurso Hídrico de Bofedales en Callqui Chico, Huancavelica – 2021*. Universidad Nacional de Huancavelica.
- Intergovernmental Panel on Climate Change. (2021). *Cambio climático 2021 Bases físicas Resumen para responsables de políticas*.
- Oki, T., Entekhabi, D., & Ives Harrold, T. (2004). *The Global Water Cycle*.
- Olaya, V. (2014). *Sistemas de Información Geográfica*.
- Ordoñez Gálvez, J. J. (2011). *Ciclo Hidrológico*.
- Organización Meteorológica Mundial. (2012). *Índice normalizado de precipitación - Guía del usuario*.
- Oshun, J., Wunderlich, W., Keating, K., Lang, M., & Bandera, W. (2022). *Seasonal water storage in peat-forming bofedales sustains baseflow in the Andes*. <https://doi.org/10.31223/X54H16>
- Otto, M., & Gibbons, R. E. (2017). Potential Effects of Projected Decrease in Annual Rainfall on Spatial Distribution of High Andean Wetlands in Southern Peru. *Wetlands*, 37(4), 647–659. <https://doi.org/10.1007/s13157-017-0896-2>
- Pabón Caicedo, J. D., & Montealegre Bocanegra, J. E. (2017). *Los fenómenos de El Niño y de la Niña, su efecto climático e impactos socioeconómicos*. Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales.
- Paredes, F. J., & Guevara, E. (2013). A probabilistic model for the prediction of meteorological droughts in Venezuela. In *Atmósfera* (Vol. 26, Number 3).

- Paredes Gomez, J. J. (2023). *Característica fisicoquímica de las aguas superficiales del bofedal alto andino Guitarrachayocc, Distrito de Paras. Cangallo – Ayacucho. 2018 - 2019.*
- Pauca-Tanco, A., Ramos-Mamani, C., Luque-Fernández, C. R., Talavera-Delgado, C., Villasante-Benavides, J. F., Quispe-Turpo, J. P., & Villegas-Paredes, L. (2020). Spatio temporal and climatic analysis of the high andean wetland of chalhuanca (Peru) during the period 1986-2016. *Revista de Teledeteccion*, 2020(55), 105–118. <https://doi.org/10.4995/raet.2020.13325>
- Penman, H. L., Ryle, M., & Vonberg, D. D. (1948). Natural Evaporation from Open Water, Bare Soil and Grass. In *J. Franklin Inst* (Vol. 193, Number 1032).
- Pérez, C. F., Alonso Vicario, S., van Cauwenbergh, N., Garcia, M., & Werner, M. (2024). Disentangling the socio-natural dynamics of drought and water scarcity in Colombia's Tropical Andes. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 56, 102068. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2024.102068>
- Pérez-Cutillas, P., Pérez-Morales, A., & Gil-Guirado, S. (2020). Repercusiones de las condiciones ambientales altitudinales en la variabilidad de la disponibilidad hídrica en la cuenca del río Ródano en escenarios de cambio climático. *Anales de Geografía de La Universidad Complutense*, 40(1), 159–182. <https://doi.org/10.5209/AGUC.69337>
- Priestley, C. H. B. (1972). *On the Assessment of Surface Heat Flux and Evaporation Using Large-Scale Parameters.*
- Ramaswamy, V., Haigh, J., Hauglustaine, D., Haywood, J., Myhre, G., Nakajima, T., Shi, G., Solomon Betts, S. R., Charlson, R., Chuang, C., Daniel, J., Del Genio, A., van Dorland, R., Feichter, J., Fuglestedt, J., de Forster, P. F., Ghan, S., Jones, A., Kiehl, J., ... Srinivasan, J. (2001). *Radiative Forcing of Climate Change.*
- Rascón, J., Gosgot Angeles, W., Quiñones Huatangari, L., Oliva, M., & Barrera Gurbillón, M. Á. (2021). Dry and Wet Events in Andean Populations of Northern

- Peru: A Case Study of Chachapoyas, Peru. *Frontiers in Environmental Science*, 9. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2021.614438>
- Rodríguez-Barrios, J. (2017). *ANÁLISIS DE DATOS ECOLÓGICOS Y AMBIENTALES*.
- Romero Calle, A. A., & Vera Chávez, A. V. (2023). Evaluación del agua subterránea de bofedales para la provisión de agua comunidad Micaya. *Revista Científica EMINENTE*, 7, 13–36. www.emi.edu.bo
- Ross, A. C., Mendoza, M. M., Drenkhan, F., Montoya, N., Baiker, J. R., Mackay, J. D., Hannah, D. M., & Buytaert, W. (2023). Seasonal water storage and release dynamics of bofedal wetlands in the Central Andes. *Hydrological Processes*, 37(8). <https://doi.org/10.1002/hyp.14940>
- Ruiz-Ochoa, M. A., Torres-Corredor, J. S., Vargas-Corredor, Y. A., & Orduz-Amaya, L. P. (2023). Variabilidad climática (precipitación, temperatura y humedad relativa) para la gestión hídrica del departamento del Casanare, Colombia. *Información Tecnológica*, 34(5), 47–60. <https://doi.org/10.4067/s0718-07642023000500047>
- Sanit, G. (1999). *Utilización de métodos no paramétricos para el control de variables de confusión no observadas en estudios ecológicos de series temporales*.
- Santa Cruz, J. F., Burneo, M. L., & Quiñones, P. (2022). *Cambio Climático y los impactos diferenciados que tiene en las mujeres en dos microcuencas de la región Junín*.
- Secretaría de la Plataforma Internacional de Recuperación. (2015). *Cambio Climático*.
- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología. (2009). *Escenarios Climáticos en el Perú para el año 2030*.
- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología. (2016). *Análisis del Riesgo de Sequías en el sur del Perú*.

- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú. (2020). *Guía Técnica para Aplicativo Web Tendencias Históricas - TENDHIS*.
- Sherwood, S. ;, Webb, M. J. ;, Annan, J. D. ;, Armour, K. ;, Forster, P. M. ;, Hargreaves, J. C. ;, Hegerl, G. ;, Klein, S. A. ;, Marvel, K. D. ;, Rohling, E. J. ;, Watanabe, M. ;, Andrews, T. ;, Braconnot, P. ;, Bretherton, C. S. ;, Foster, G. L. ;, Hausfather, Z. ;, Von Der Heydt, A. S. ;, Knutti, R. ;, Mauritsen, T. ;, ... Zelinka, M. D. (2020). *An assessment of Earth's climate sensitivity using multiple lines of evidence*. <https://doi.org/10.3929/ethz-b-000439837>
- Shi, S., Chang, Y., Li, Y., Hu, Y., Liu, M., Ma, J., Xiong, Z., Wen, D., Li, B., & Zhang, T. (2021). Using time series optical and SAR data to assess the impact of historical wetland change on current wetland in Zhenlai county, Jilin province, China. *Remote Sensing*, 13(22). <https://doi.org/10.3390/rs13224514>
- Silva-Hidalgo, H., Aldama, Á. A., Consultor, •, Martín-Domínguez, I. R., María, •, & Alarcón-Herrera, T. (2013). *Metodología para la determinación de disponibilidad y déficit de agua superficial en cuencas hidrológicas: aplicación al caso de la normativa mexicana: IV* (Number 1).
- Snyder, R. L., & de Melo-Abreu, J. P. (2005). Frost protection: fundamentals, practice, and economics. *Food and Agriculture Organization of the United Nations*, 1. <http://www.fao.org>
- Sulca, L. G. B., & Joaquin, H. J. T. (2023). Influence of Climate Variability on the Spatio-temporal Dynamics of the High Andean Wetlands of the Chichlarazo Microbasin. Period 1988-2022. *Proceedings of the LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education and Technology, 2023-July*. <https://doi.org/10.18687/laccei2023.1.1.618>
- Talaverano, N. S. Z., Lora, J. W. G., Escriba, B. P. G., Arboleda, Y. Y. N., Ramos, V. H. G., Zorogastúa, K. del C. C., & León, R. G. (2024). Variación temporal de bofedales andinos utilizando tecnología de información geográfica en el distrito

de Uranmarca, Apurímac - Perú. *Brazilian Journal of Animal and Environmental Research*, 7(3), e71557. <https://doi.org/10.34188/bjaerv7n3-031>

Taylor, F. W. (2005). *Elementary Climate Physics*.

Te Chow, V., Maidment, D., & Mays, L. (1988). *Hidrología Aplicada*.

Turne, B. L., Lambin, E. F., & Reenberg, A. (2007). *The emergence of land change science for global environmental change and sustainability*. www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.0704119104

United Nations World Water Development. (2020). *WATER AND CLIMATE CHANGE*. www.unwater.org.

Van Loon, A. F. (2015). Hydrological drought explained. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Water*, 2(4), 359–392. <https://doi.org/10.1002/WAT2.1085>

Vásquez Ramírez, A. A., Guanuchi Orellana, L. M., Cahuana Tapia, R., Vera Teves, R., & Holgado Tisoc, J. (2023). Métodos de investigación científica. In *Métodos de investigación científica*. Instituto Universitario de Innovación Ciencia y Tecnología Inudi Perú. <https://doi.org/10.35622/inudi.b.094>

Velasco, I., Ochoa, L., & Gutiérrez, C. (2005). Sequía, un problema de perspectiva y gestión. *Región y Sociedad*, XVII.

Velásquez-Franco, P. A., Franco-Gaviria, J. F., & Pérez-González, M. E. (2024). Spatiotemporal dynamics of surface water in tropical wetlands systems using Sentinel-1 radar data. *Biota Colombiana*, 25. <https://doi.org/10.21068/2539200X.1235>

Vera, C., & Camilloni, I. (2015). *EL CICLO DEL AGUA*.

Villalobos, R. (2008). Cambio climático y recursos hídricos. *Revista de Ciencias Ambientales*, 35(1), 20. <https://doi.org/10.15359/rca.35-1.5>

- Villar Acevedo, F. J. (2023). *Desarrollo de un sistema de monitoreo para la evaluación de bofedales por medio de la observación terrestre*. Universidad de Ingeniería y Tecnología.
- Wheeler, C., Callister, F., Gosling, L., Nath, P., Keegan, A., Farr, J., Newton-Lewis, V., Kempster, S., Steele, R., Summeerton, L., & James, S. (2018). *El déficit hídrico - Estado mundial del agua 2018*.
- Wickel, B., Fernandez, J., Escobar, M., & Cecilia Escalera, A. (2021). *Monitoreo hidro-ecológico y modelación de bofedales de altura en la cuenca Katari*.
- Wild, M., Folini, D., Schär, C., Loeb, N., Dutton, E. G., & König-Langlo, G. (2013). The global energy balance from a surface perspective. *Climate Dynamics*, 40(11–12), 3107–3134. <https://doi.org/10.1007/s00382-012-1569-8>
- Wilhite, D. A., & Glantz, M. H. (1985). Understanding the Drought Phenomenon: The Role of Definitions. *Water International*, 10, N° 03, 111–120.
- Wunderlich, W., Lang, M., Keating, K., Perez, W. B., & Oshun, J. (2023). The role of peat-forming bofedales in sustaining baseflow in the humid puna. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 47. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2023.101394>
- Yager, K., Valdivia, C., Slayback, D., Jimenez, E., Meneses, R. I., Palabral, A., Bracho, M., Romero, D., Hubbard, A., Pacheco, P., Calle, A., Alberto, H., Yana, O., Ulloa, D., Zeballos, G., & Romero, A. (2019). Socio-ecological dimensions of Andean pastoral landscape change: bridging traditional ecological knowledge and satellite image analysis in Sajama National Park, Bolivia. *Regional Environmental Change*, 19(5), 1353–1369. <https://doi.org/10.1007/s10113-019-01466-y>
- Yıldız, M. B., Di Nunno, F., Đurin, B., Pham, Q. B., de Marinis, G., & Granata, F. (2024). A Combined Seasonal Mann–Kendall and Innovative Approach for the Trend Analysis of Streamflow Rate in Two Croatian Rivers. *Water (Switzerland)*, 16(10). <https://doi.org/10.3390/w16101422>

Yue, S., & Pilon, P. (2004). A comparison of the power of the t test, Mann-Kendall and bootstrap tests for trend detection. In *Hydrological Sciences-Journal-des Sciences Hydrologiques* (Number 1).

Zhou, K., Wang, Y., & Chang, J. (2024). Attribution mechanism of drought propagation time with changes in climate and underlying surface. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 56. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2024.102041>

ANEXOS

ANEXO 1

(Matriz de consistencia)

Matriz de Consistencia

"Análisis de la disponibilidad de agua superficial de los bofedales de la cuenca del río Ichu y su relación con el riesgo de sequías en la ciudad de Huancavelica, para el año 2025."

PROBLEMA	OBJETIVO	HIPOTESIS	VARIABLE	MÉTODO
<p>Problema general</p> <p>¿Cómo influye la disponibilidad de agua superficial de los bofedales de la cuenca del río Ichu en el riesgo de sequías que enfrenta la ciudad de Huancavelica, considerando las variaciones estacionales proyectado en el año 2025?</p>	<p>Objetivo general</p> <p>Analizar la disponibilidad de agua superficial de los bofedales de la cuenca del río Ichu y su influencia en el riesgo de sequías para la ciudad de Huancavelica, considerando las variaciones estacionales proyectado en el año 2025.</p>	<p>Hipótesis general</p> <p>La disponibilidad de agua superficial de los bofedales de la cuenca del río Ichu influye significativamente en el riesgo de sequías en la ciudad de Huancavelica, considerando las variaciones estacionales proyectadas para el año 2025.</p>	<p>Variable dependiente</p> <p>Riesgo de sequias en la ciudad de Huancavelica.</p> <p style="text-align: center;">- Dimensiones</p> <p>SPI</p> <p>Frecuencia de sequía.</p> <p>Duración de la sequía.</p>	<p>Tipo: Aplicada.</p> <p>Nivel: Correlacional.</p> <p>Método: Cuantitativo, correlacional.</p> <p>Diseño: no experimental, de tipo correlacional y longitudinal.</p> <p>M → D(A, SPI)</p>
<p>Problemas específicos</p>	<p>Objetivos específicos</p>	<p>Hipótesis específicas</p> <p>El estado de conservación de los bofedales en la cuenca del río</p>	<p>Impacto en los ecosistemas</p>	<p>M: Muestra de bofedales en la cuenca del río Ichu.</p>

<p>¿Cuál es el estado actual de conservación de los bofedales en la cuenca del río Ichu y cómo se manifiesta su disponibilidad de agua superficial durante el año?</p>	<p>Evaluar la conservación actual de los bofedales en la cuenca del río Ichu y determinar su disponibilidad de agua superficial durante el periodo 2025.</p>	<p>Ichu influye en su disponibilidad de agua superficial a lo largo del año 2025.</p>	<p>Variable independiente</p>	<p>D(A,SPI): Disponibilidad de agua superficial y su relación con el índice SPI.</p>
<p>¿Existe una correlación significativa entre la disponibilidad de agua superficial de los bofedales y el Índice de Sequía Estandarizado (SPI) para la ciudad de Huancavelica?</p>	<p>Determinar la magnitud de la correlación entre la disponibilidad de agua superficial de los bofedales y el Índice de Sequía Estandarizado para la ciudad de Huancavelica.</p>	<p>Existe una correlación significativa entre la disponibilidad de agua superficial de los bofedales y el Índice de Sequía Estandarizado (SPI) en la ciudad de Huancavelica.</p>	<p>Disponibilidad de agua superficial en los bofedales de la cuenca del río Ichu.</p>	<p>A: Disponibilidad de agua superficial.</p>
<p>¿Cuáles son las proyecciones de disponibilidad de agua de los bofedales y el del riesgo de sequias en la ciudad de Huancavelica para los próximos 5 años?</p>	<p>Estimar proyecciones y proponer escenarios futuros de disponibilidad de agua superficial de los bofedales y el riesgo de sequias en la ciudad de Huancavelica para los próximos 5 años.</p>	<p>Las proyecciones de disponibilidad de agua superficial de los bofedales permiten estimar el riesgo de sequías en la ciudad de Huancavelica para los próximos 5 años.</p>	<p>- Dimensiones</p> <p>Extensión y conservación de los bofedales.</p> <p>Cantidad de agua almacenada.</p> <p>Variabilidad estacional.</p> <p>Tendencias históricas.</p>	<p>SPI: Índice de Precipitación Estandarizado (riesgo de sequía)</p> <p>Población: Bofedales de la cuenca del río Ichu</p> <p>Muestra: Conjunto representativo de bofedales.</p> <p>Muestreo: No probabilístico por criterio.</p>

ANEXO 2

(Panel fotográfico)

Figura 24

Mapa de ubicación y accesibilidad a los puntos de monitoreo

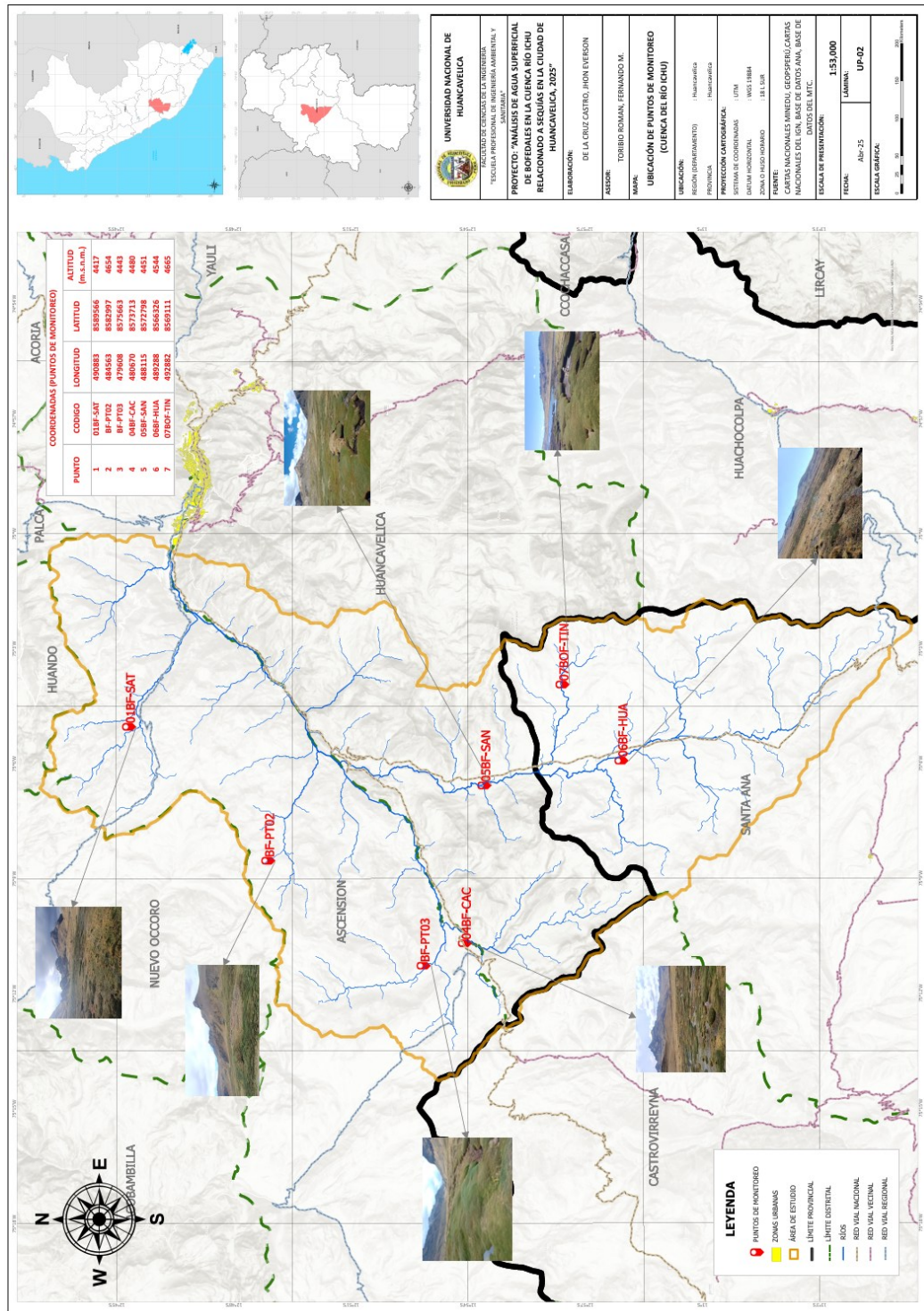


Figura 25

Cálculo de NDWI, NDVI y NDMI realizado el 14/05/2025 (Subcuenca media preurbana del río Ichu)

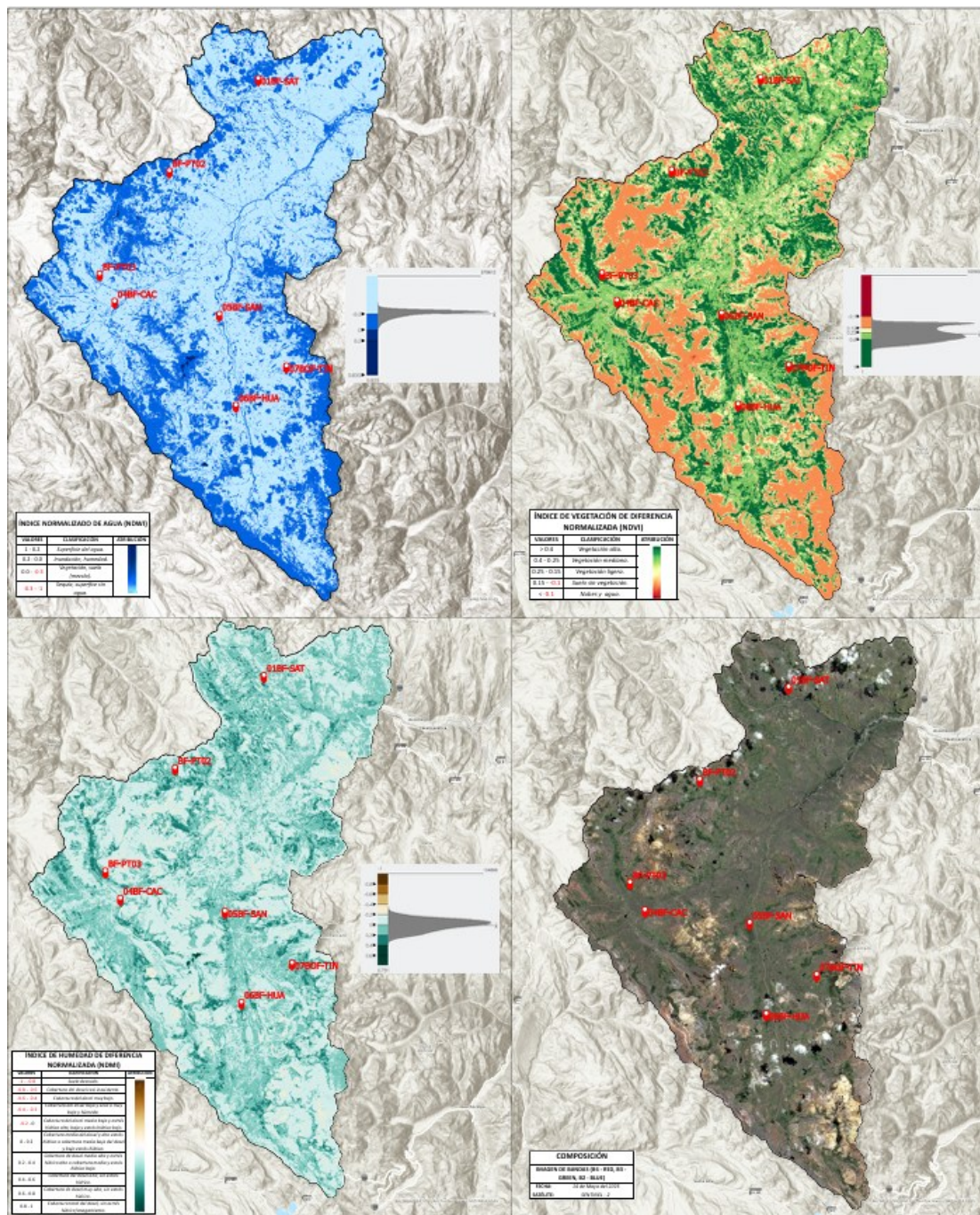


Figura 27

Cálculo de NDWI, NDVI y NDMI realizado el 13/06/2025 (Subcuenca media preurbana del río Ichu)

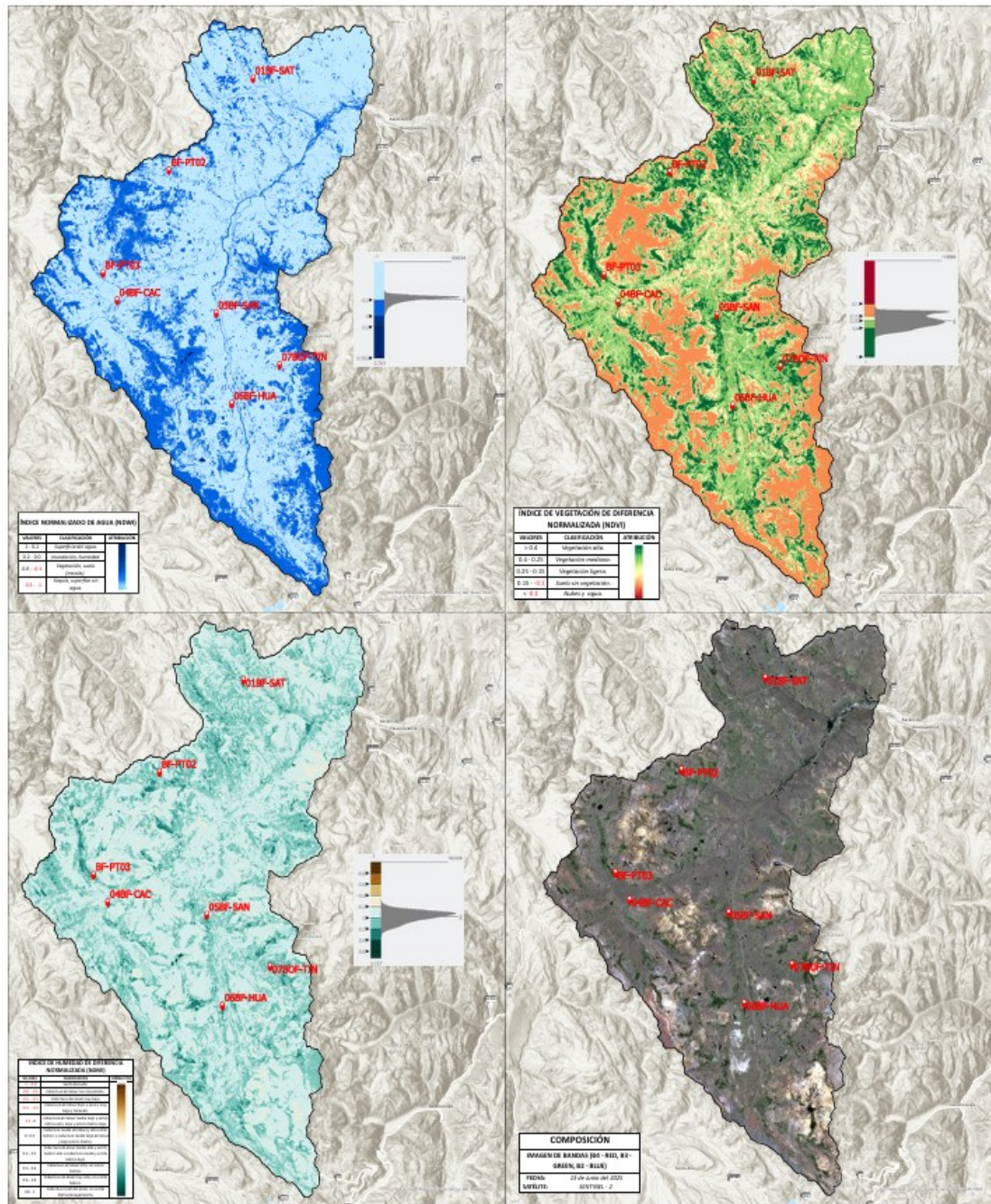


Figura 28

Cálculo de NDWI, NDVI y NDMI realizado el 23/06/2025 (Subcuenca media preurbana del río Ichu)

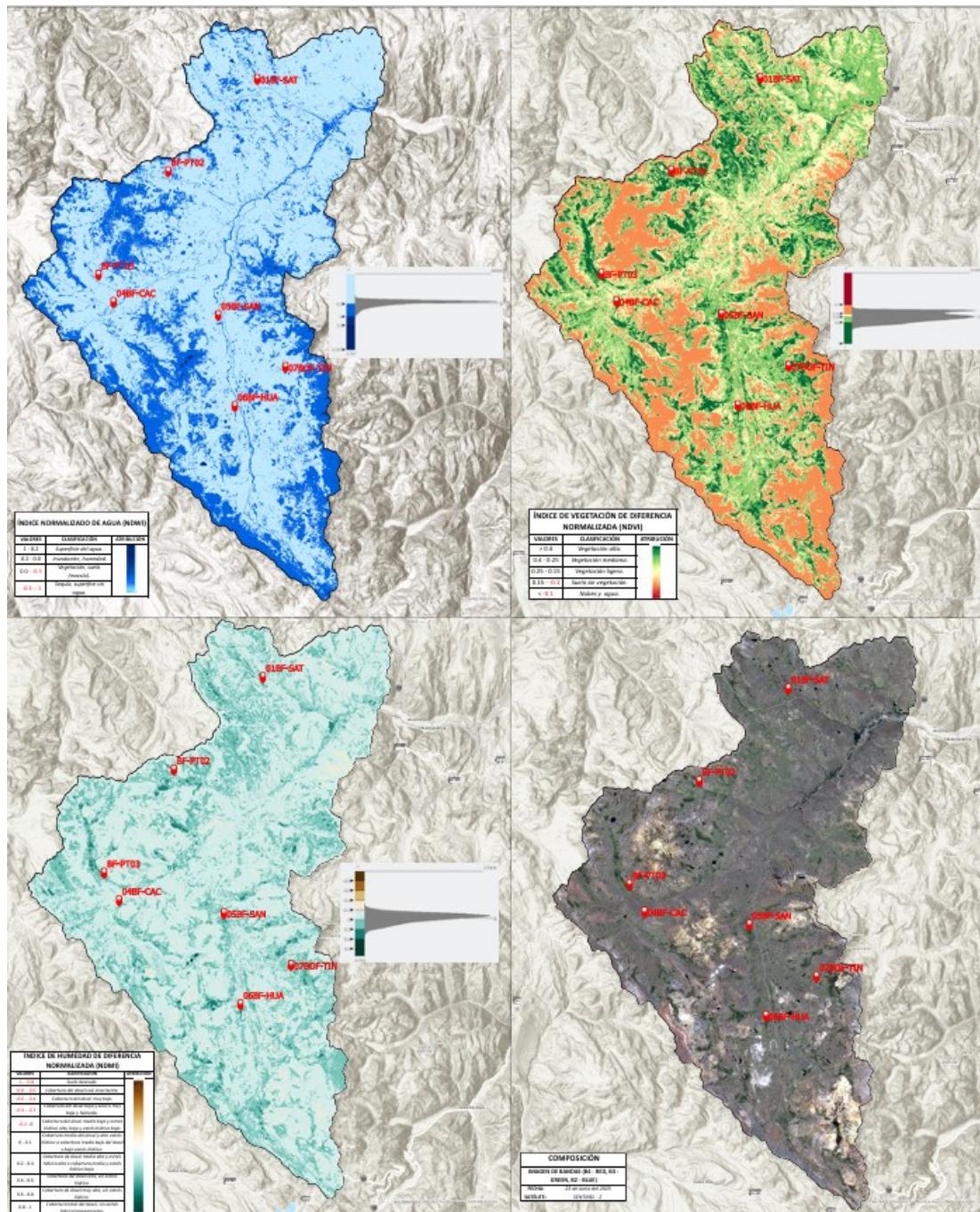


Figura 29

Cálculo de NDWI, NDVI y NDMI realizado el 10/07/2025 (Subcuenca media preurbana del río Ichu)

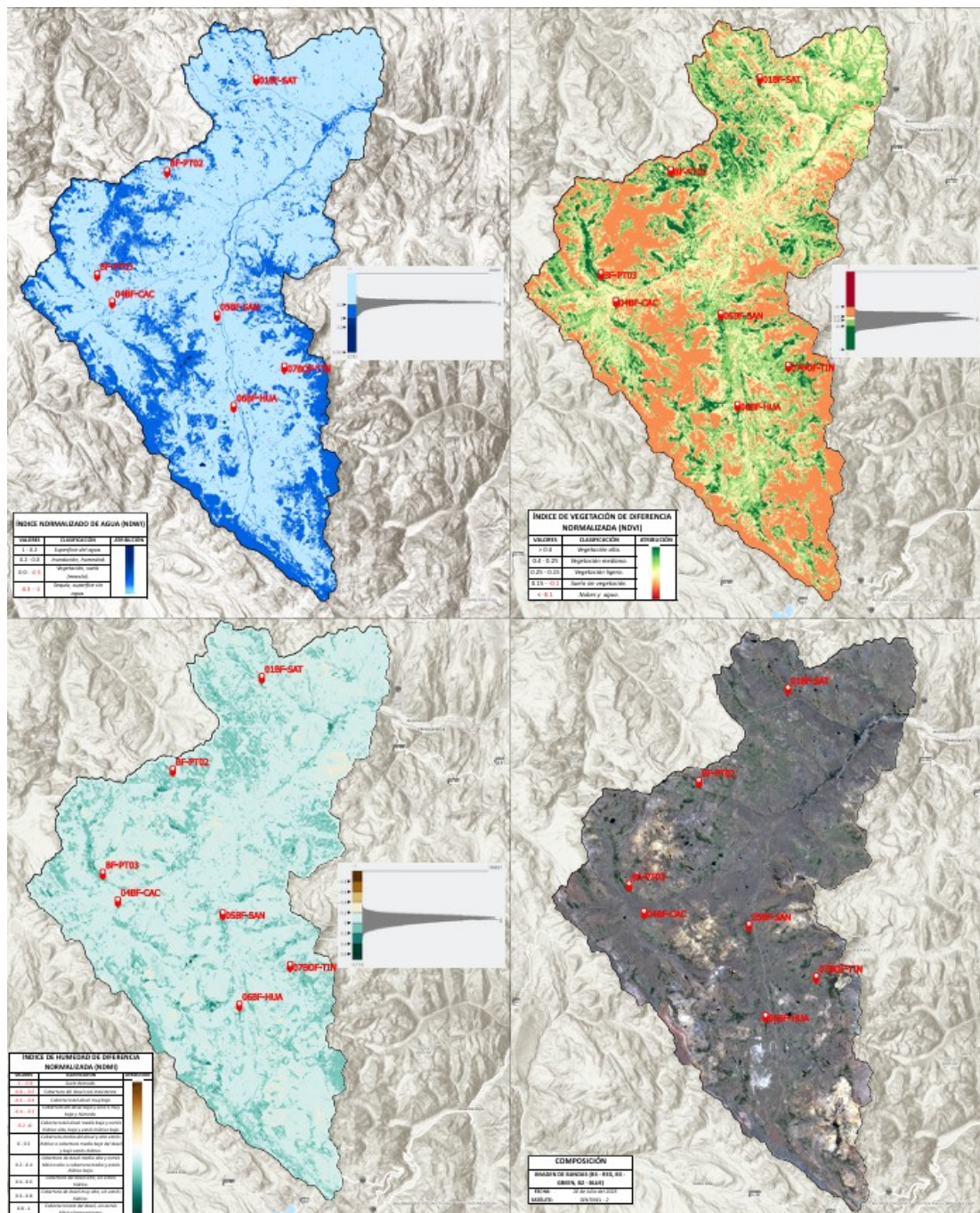


Figura 30

Cálculo de NDWI, NDVI y NDMI realizado el 23/07/2025 (Subcuenca media preurbana del río Ichu)

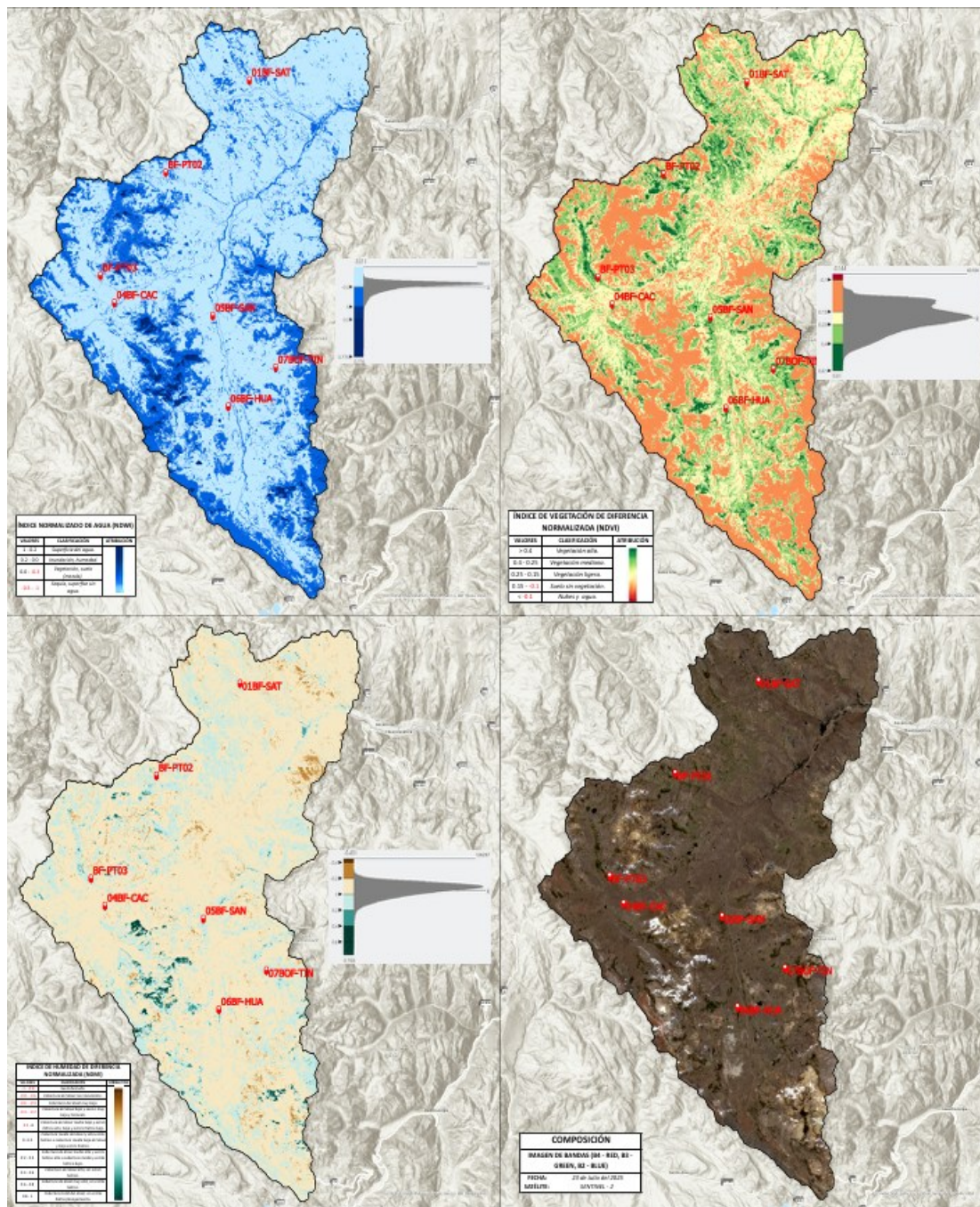


Figura 31

Cálculo de NDWI, NDVI y NDMI realizado el 07/08/2025(Subcuenca media preurbana del río Ichu)

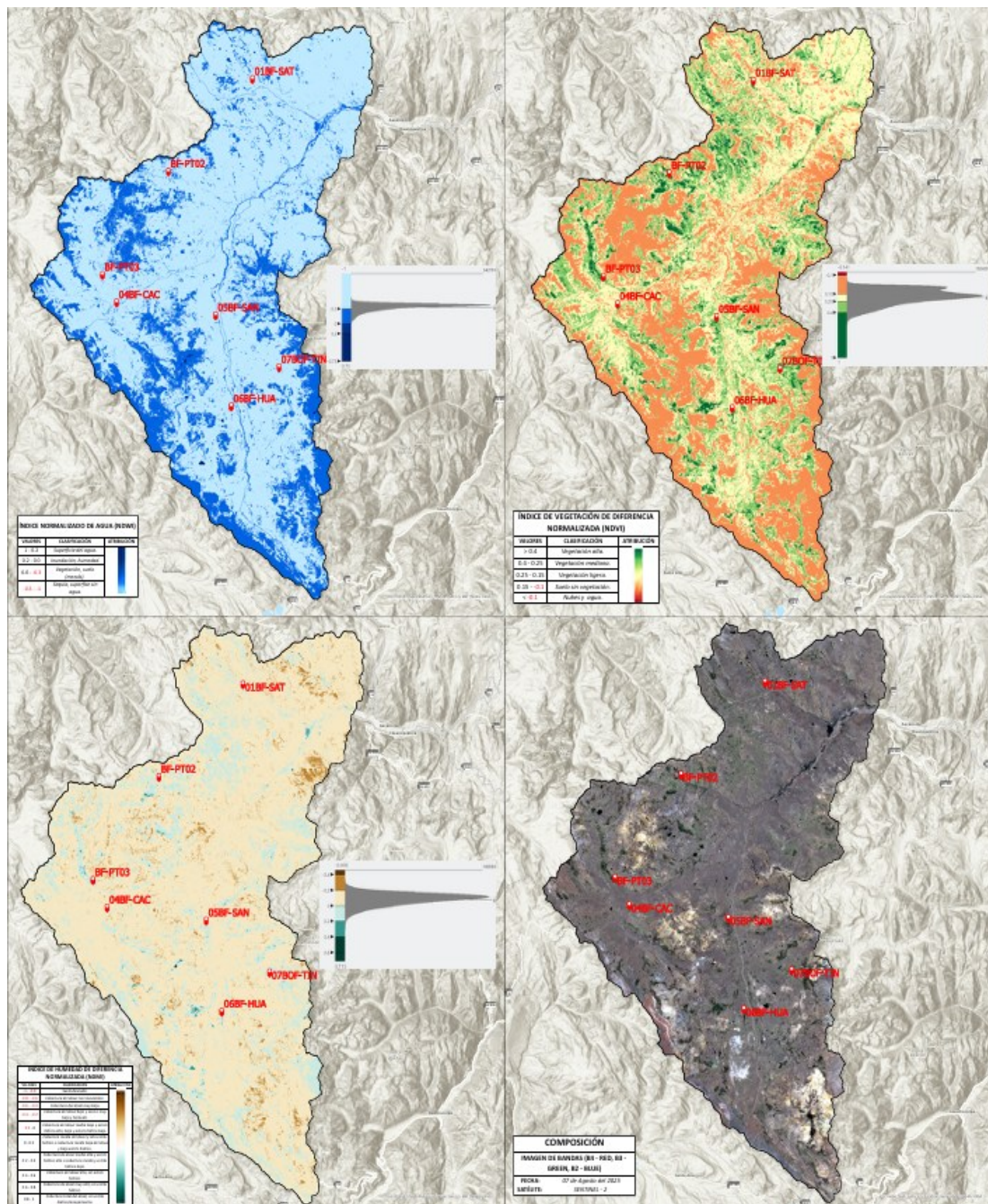


Figura 32

Cálculo de NDWI, NDVI y NDMI realizado el 19/08/2025 (Subcuenca media preurbana del río Ichu)

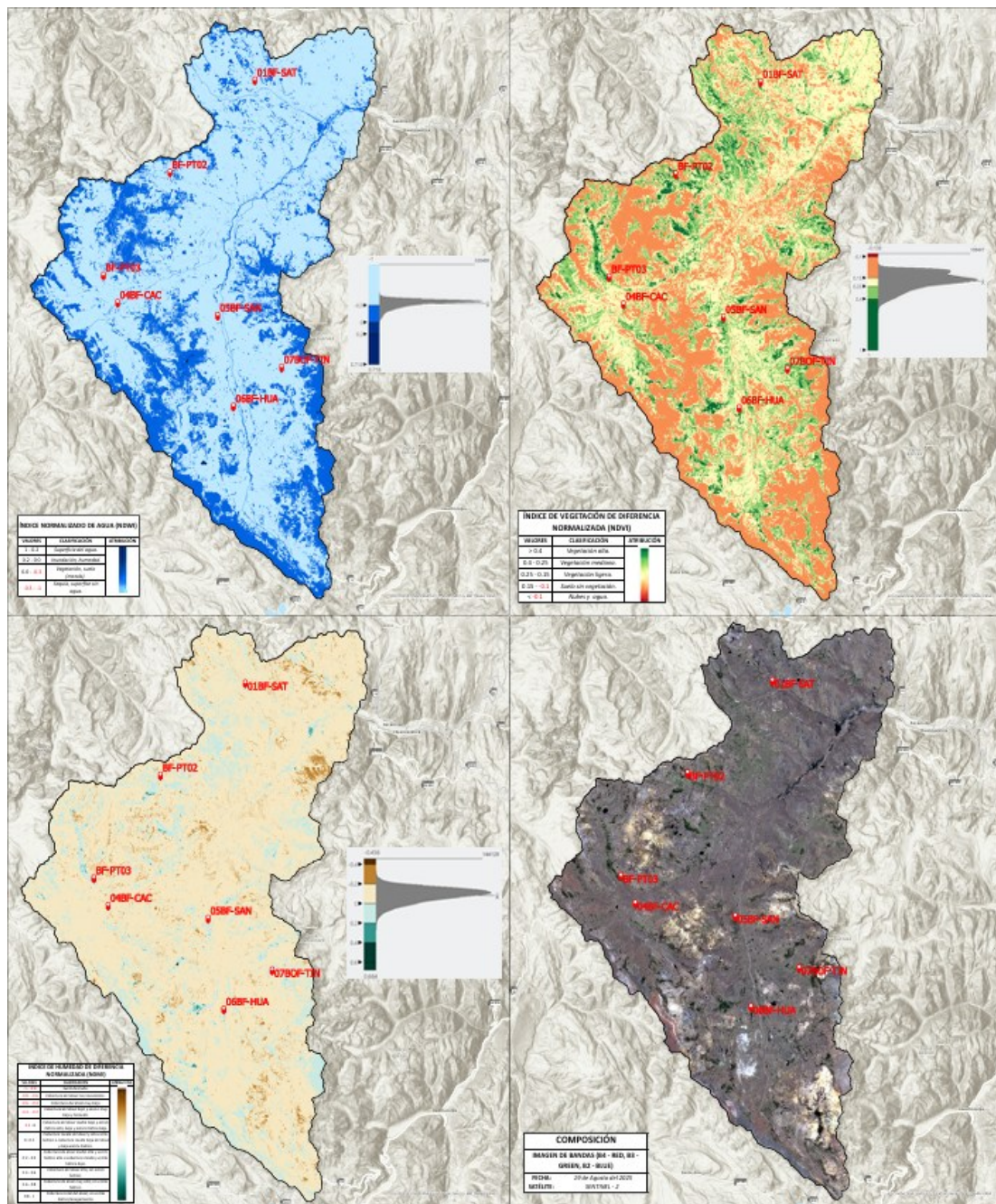


Figura 33

Cálculo de NDWI, NDVI y NDMI realizado el 08/09/2025 (Subcuenca media preurbana del río Ichu)

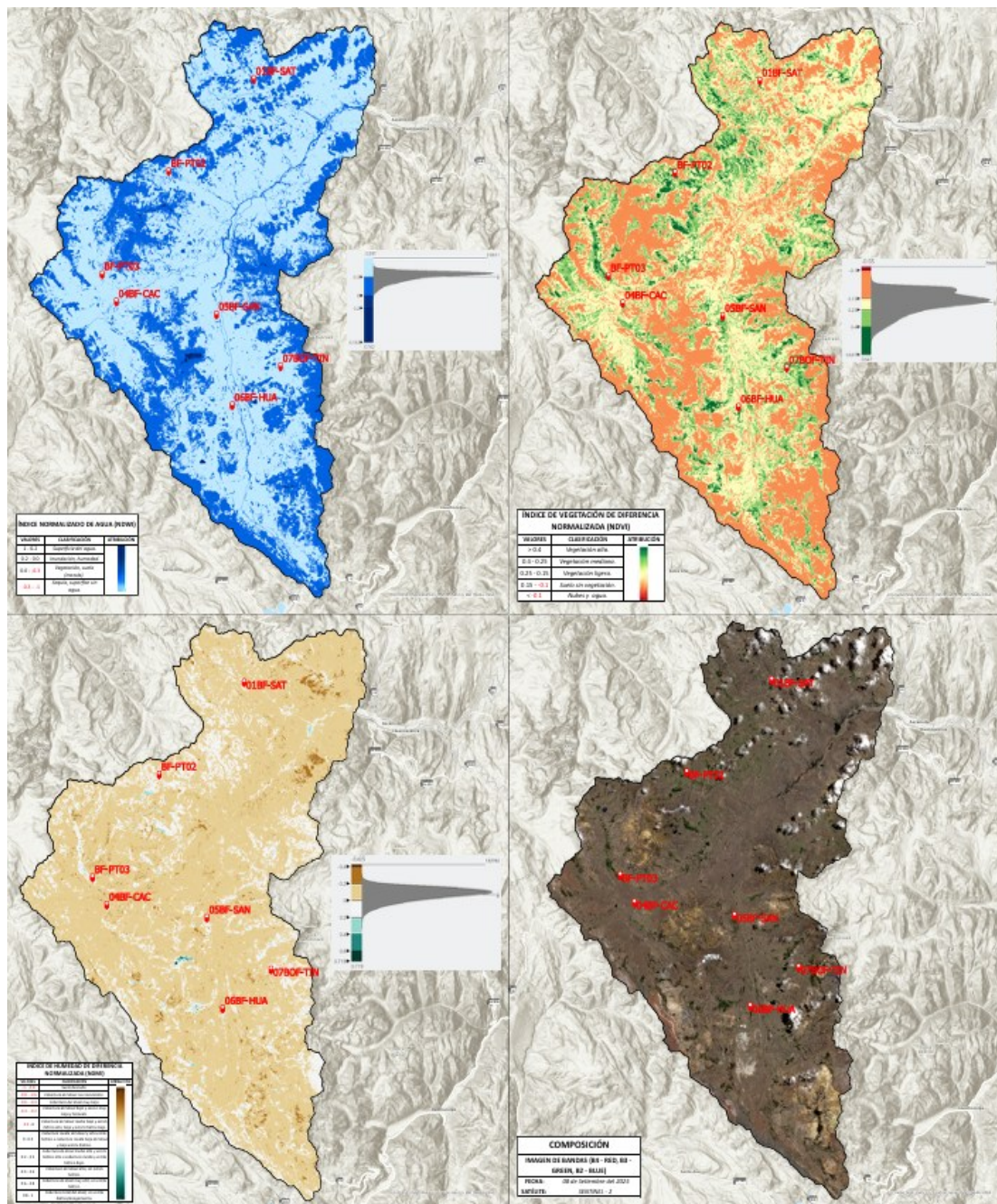


Figura 34

Cálculo de NDWI, NDVI y NDMI realizado el 21/09/2025 (Subcuenca media preurbana del río Ichu)

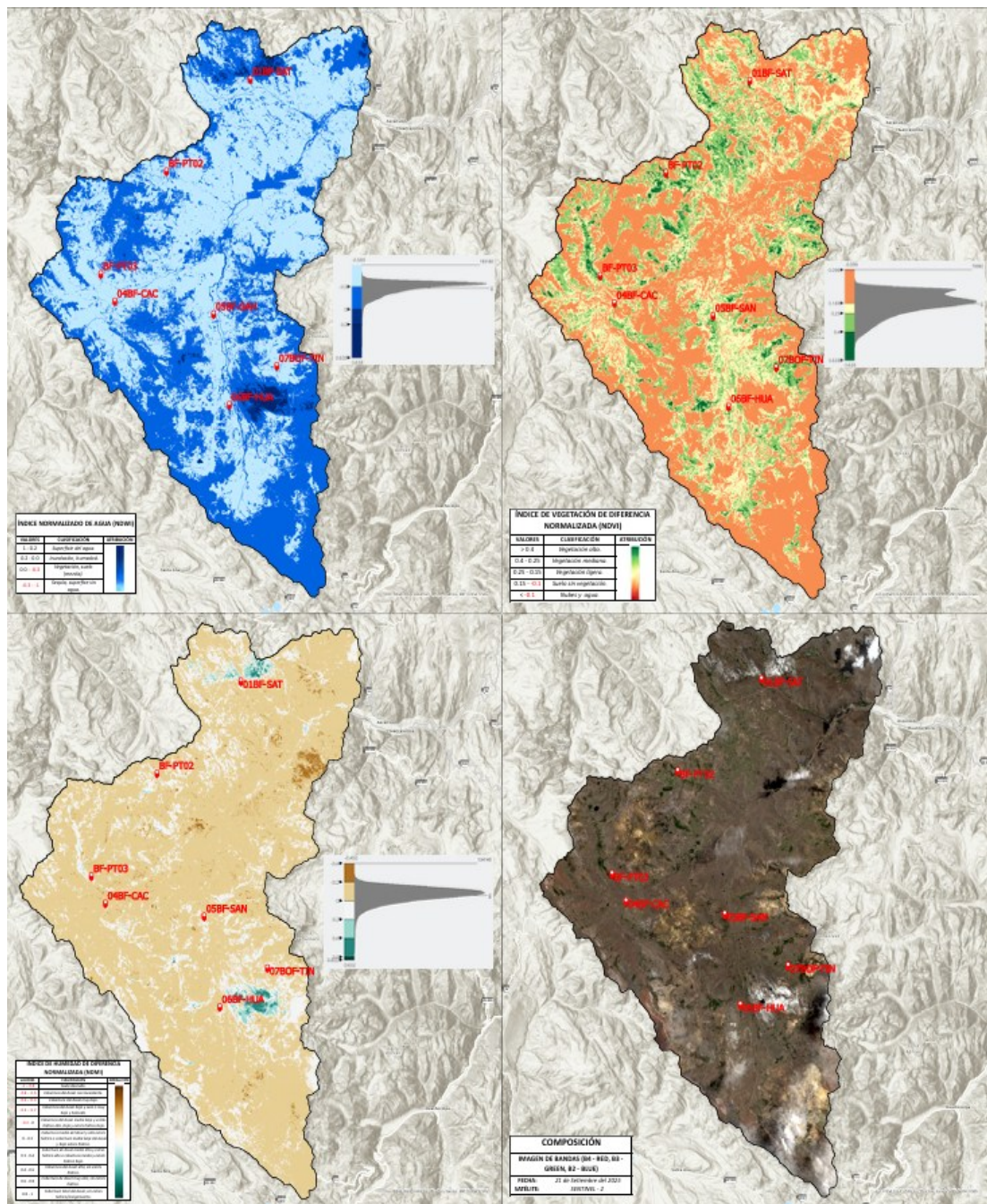


Figura 35

Cálculo de NDWI, NDVI y NDMI realizado el 31/10/2025 (Subcuenca media preurbana del río Ichu)

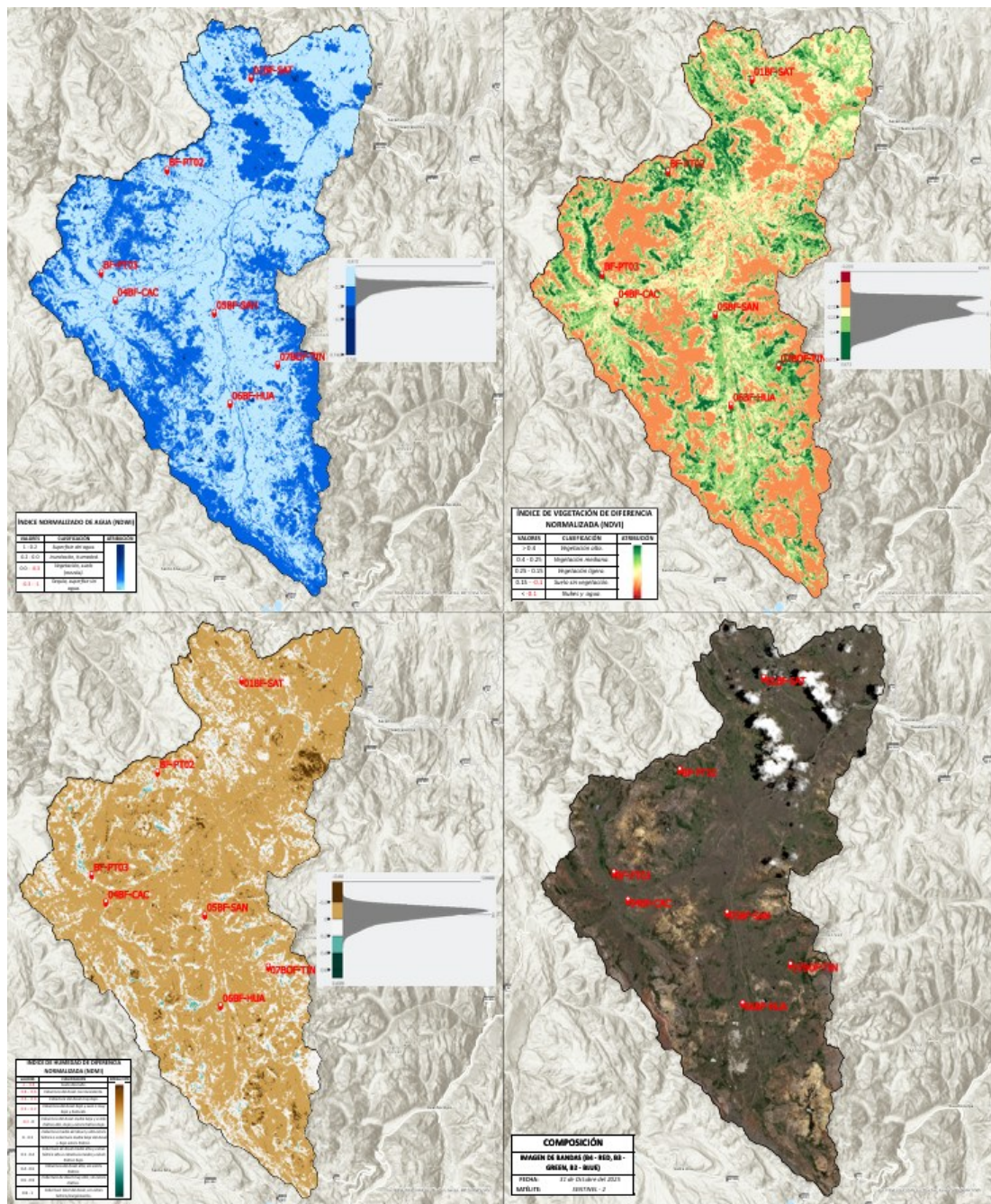


Figura 36

Cálculo de NDWI, NDVI y NDMI realizado el 20/11/2025 (Subcuenca media preurbana del río Ichu)

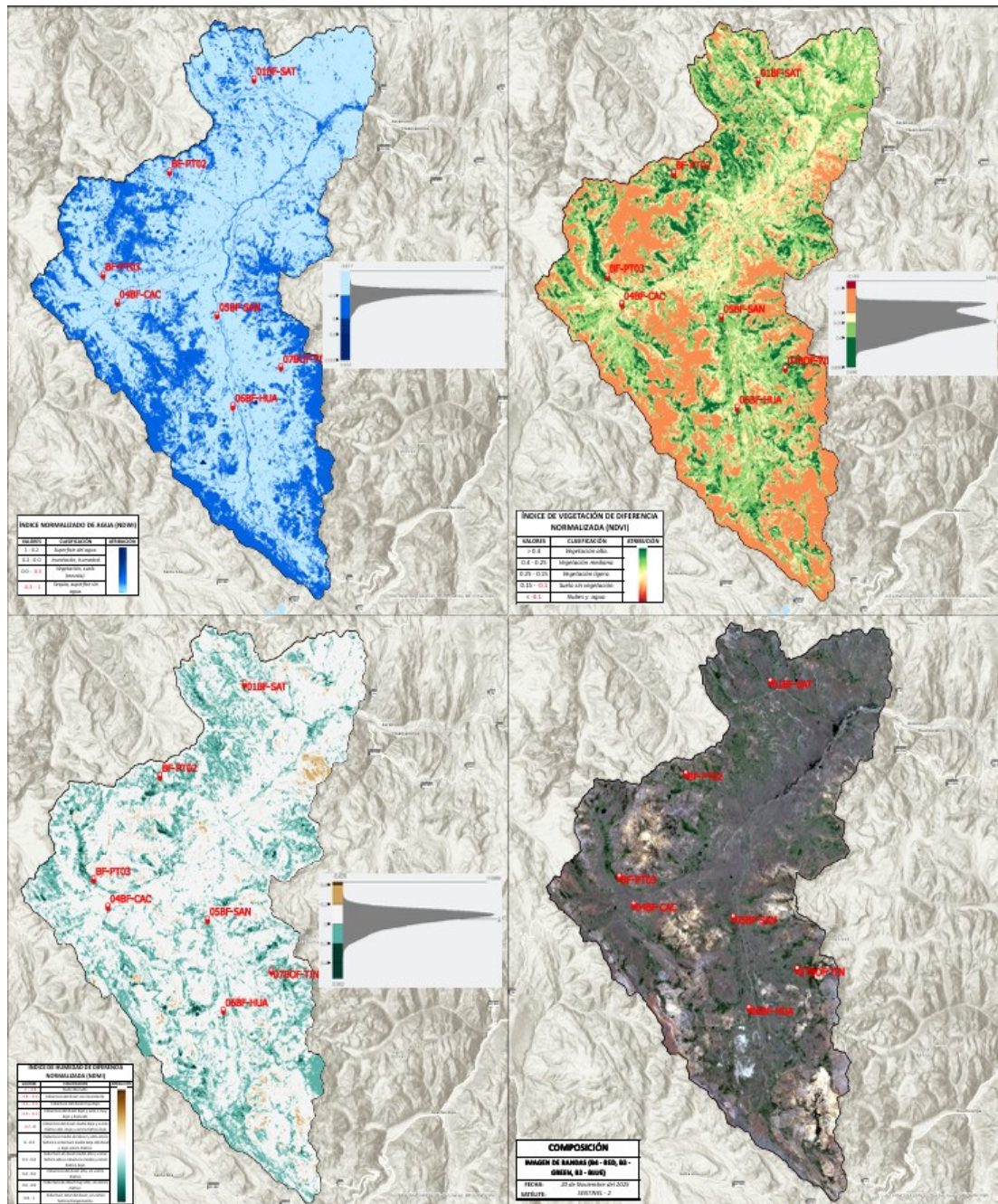


Figura 37

Cálculo de NDWI, NDVI y NDMI realizado el 05/12/2025 (Subcuenca media preurbana del río Ichu)

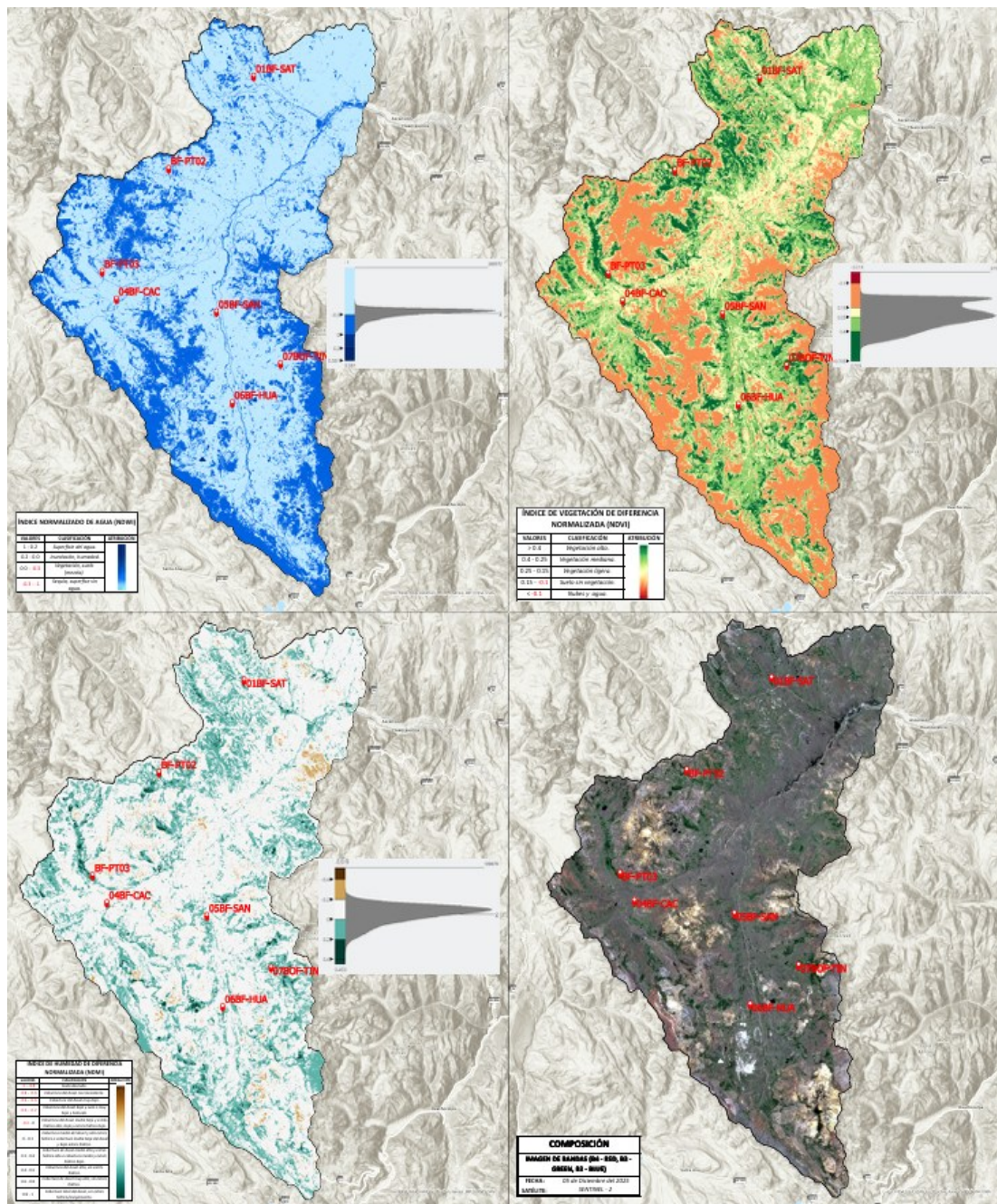


Figura 38

Cálculo de NDWI, NDVI y NDMI realizado el 20/12/2025 (Subcuenca media preurbana del río Ichu)

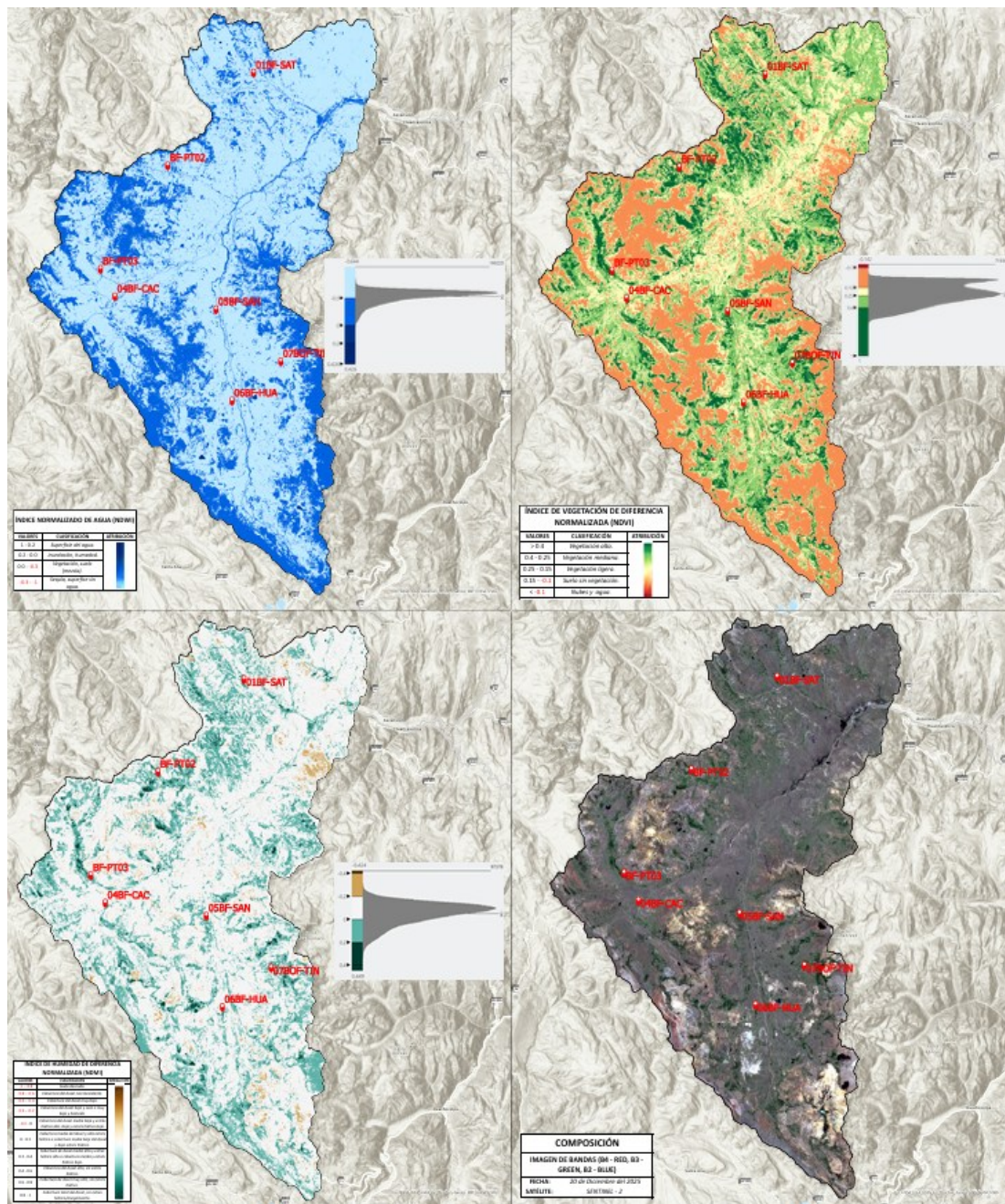


Figura 39

Medición de caudal (Subcuenca media preurbana del río Ichu)



Figura 40

Cálculo matemático de caudal

MEDICIÓN DE CAUDAL - "MÉTODO ÁREA - VELOCIDAD"				MATERIAL	DIMENSIONES	CARACTERÍSTICAS
DATOS:				Flotador de polipropileno (PP).	Peso: 2 g. Figura: esfera.	Utilizado para el cálculo de velocidad superficial en la sección.
LUGAR GEOGRÁFICO:						
SECCIÓN:				Canal (sección cortada de tubo de 4" de PVC).	Largo: 90 cm. Diámetro interior: 10.16 cm. Altura: 7 cm.	Utilizado como canal por donde fluirá el flotador.
FLOTADOR (CARACTERÍSTICAS):						
PESO:		MATERIAL:	POLIPROPILENO (PP)			
DIMENSIONES (CANAL):				Cronómetro digital.	Unidad de medida: segundos.	Utilizado para controlar el tiempo de recorrido del flotador.
LARGO:	90 cm.	MATERIAL:	PVC			
DIÁMETRO INTERIOR:	10.16 cm.	CARACTERÍSTICAS:	Tubo cortado a la mitad, conforma dos secciones semicirculares.			
FÓRMULAS:				Diámetro interior: 10.16 Altura: 7 cm.		
VELOCIDAD SUPERFICIAL:						
$V_s = L/t$		L: distancia medida del flujo en "m". t: tiempo de recorrido por el flotador. Vs: en unidades de "m/s"				
VELOCIDAD MEDIA DEL CORTE (FACTOR DE CORRECCIÓN):						
$V_m = K \cdot V_s$		K: coeficiente de corrección (adimensional) que toma valores desde 0.6 - 0.9, frecuentemente (0.8 - 0.85) para canales limpios y sin fuerte rozamiento; si hay mucha vegetación o flujo muy somero (0.5 - 0.7). Fuente: ISO 748 GUÍAS DIN EN ISO 748-1.				
ÁREA DE SECCIÓN (SEMICÍRCULO APROXIMADO, TUBO CORTADO):						
DIÁMETRO:		RADIO:				
ÁREA DEL CÍRCULO:	$A = \pi r^2$		SI EN CASO EL FLUJO DE AGUA ALCANZA EL ÁREA.			
ÁREA DEL SEMICÍRCULO:	$A = 1/2 \cdot \pi r^2$					
ÁREA DEL SEGMENTO CIRCULAR (SECCIÓN PARCIALMENTE LLENA):						
CONSIDERANDO "r":						
ÁREA DEL SEGMENTO CIRCULAR OCUPADO POR EL AGUA (ÁREA HÚMEDA):	$A = \frac{r^2}{2} (\theta - \sin \theta)$		SI EN CASO EL FLUJO NO ALCANZA LA SECCIÓN.			
θ : ángulo en radianes, se obtiene mediante la fórmula:						
$\theta = 2 \sin^{-1} \left(\frac{r-h}{r} \right)$						

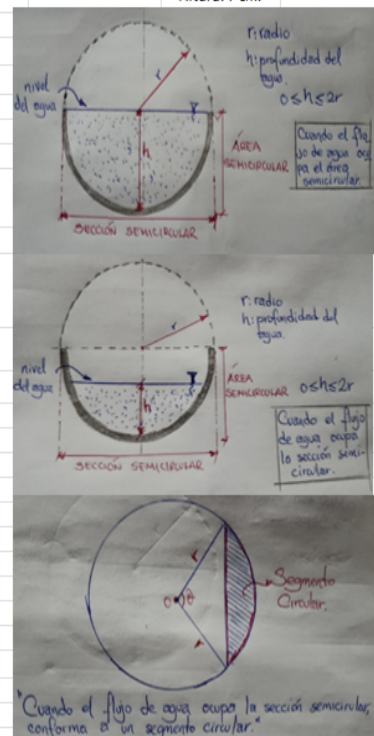


Figura 41

Obtención de datos de precipitación (1990 – 2025) en RStudio para la (Subcuenca media preurbana del río Ichu)

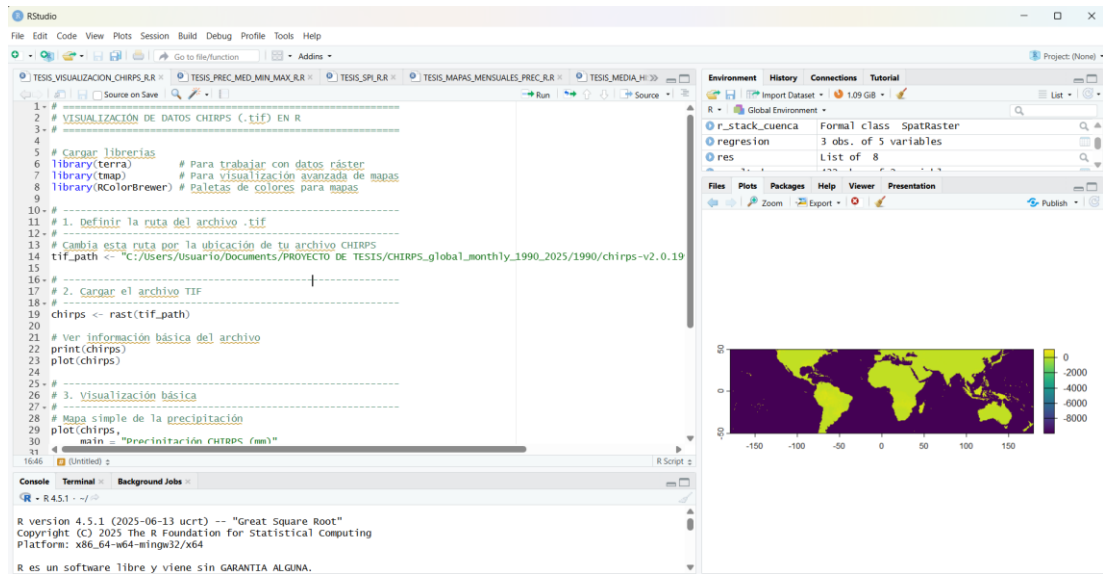


Figura 42

Obtención de precipitación mensual (1990 - 2025) en el área de estudio (Subcuenca media preurbana del río Ichu) en RStudio

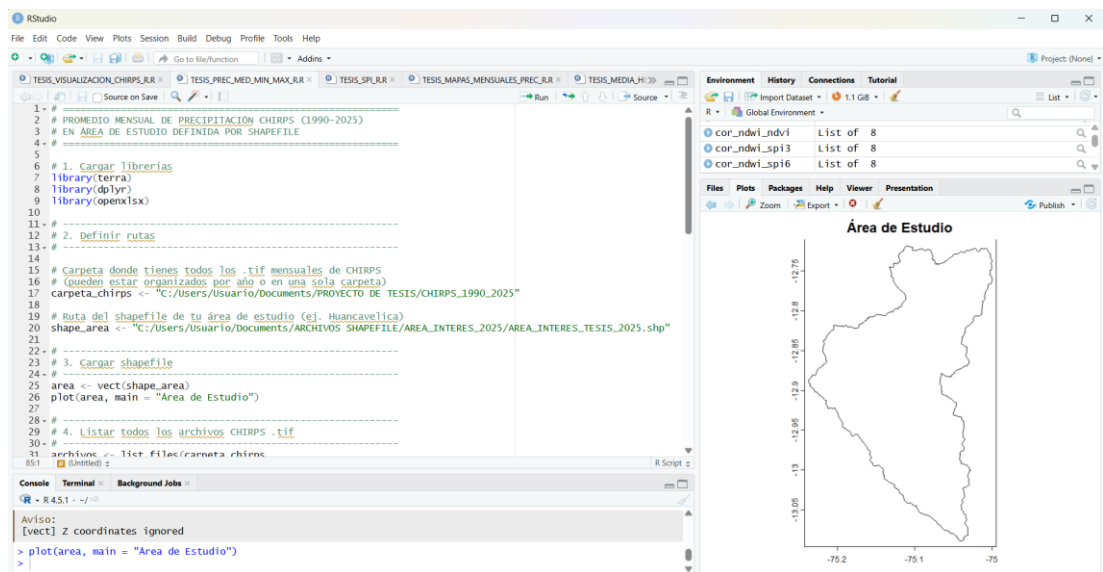


Figura 43

Obtención del SPI (1990 – 2025) para la Subcuenca media preurbana del río Ichu en RStudio

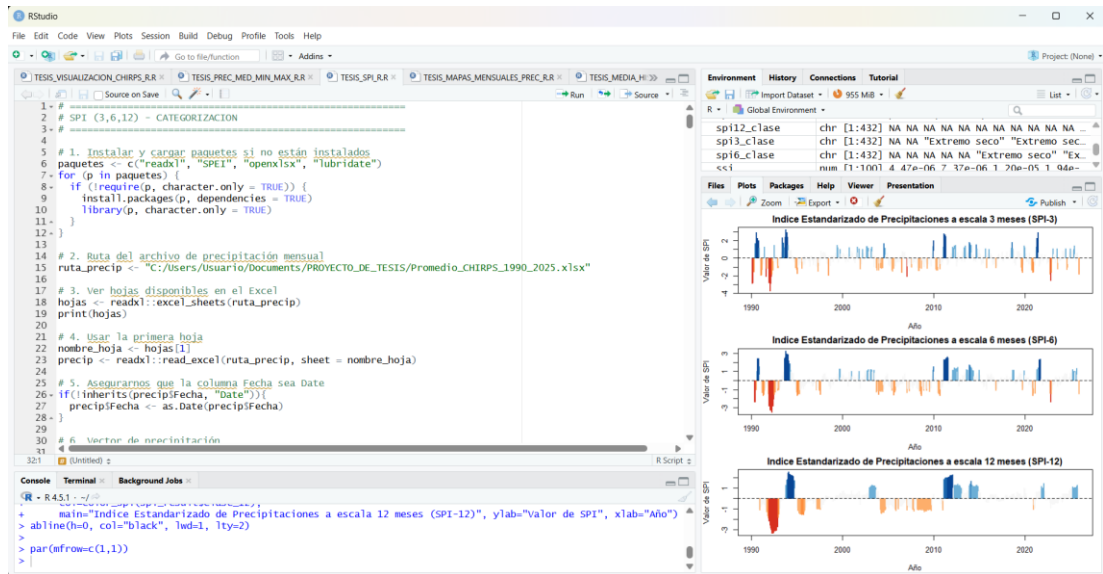


Figura 44

Validación de datos en RStudio de variables hidro climáticas periodo mayo – diciembre del 2025 para la Subcuenca media preurbana del río Ichu

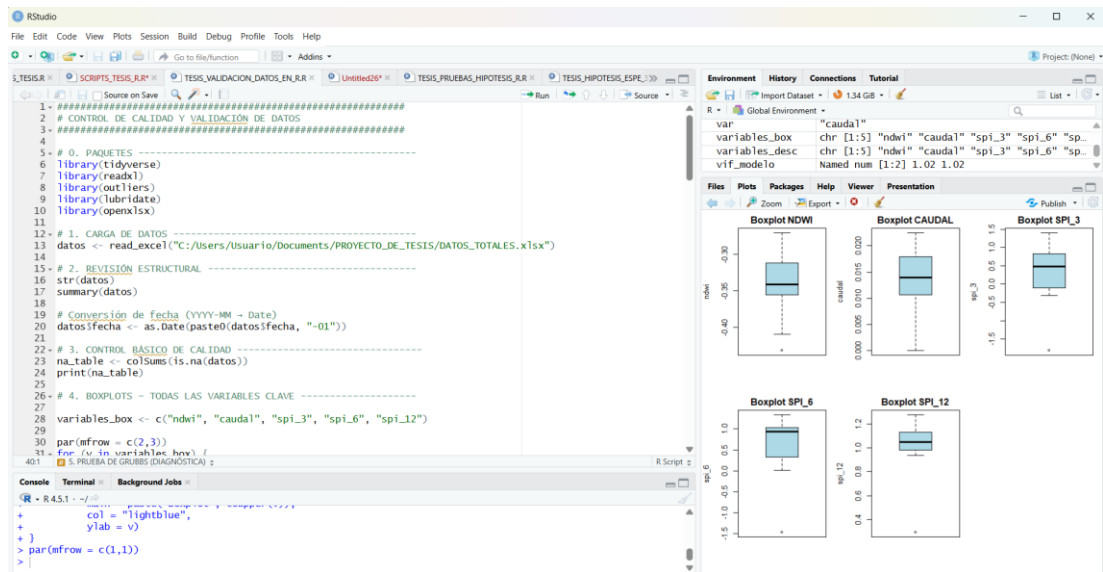


Figura 45

Análisis de correlación de variables RStudio

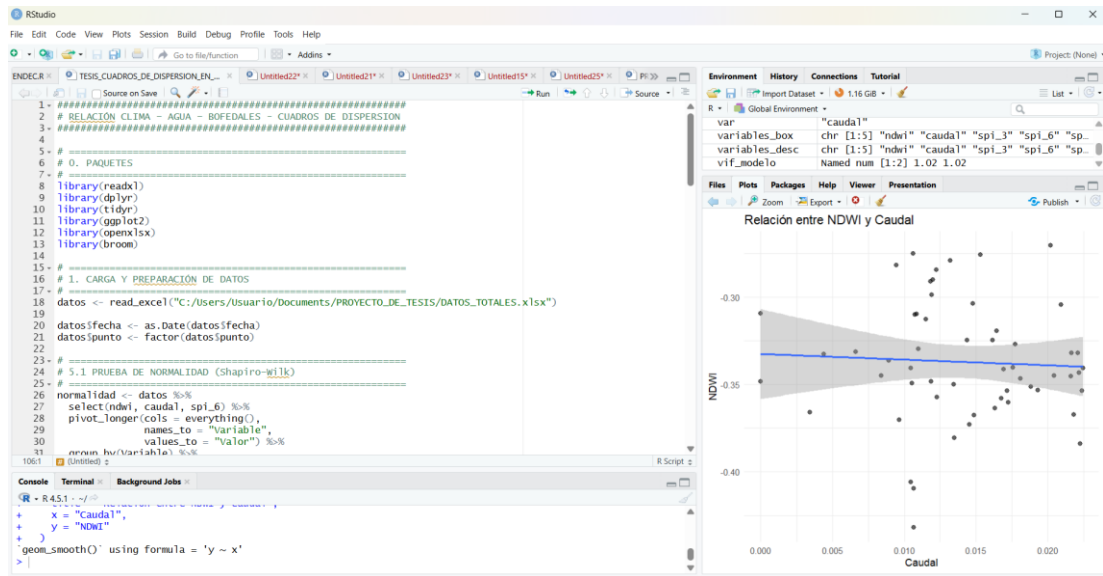


Figura 46

Evaluación de escenario del SPI-6 hacia el 2030 en RStudio para la Subcuenca media preurbana del río Ichu

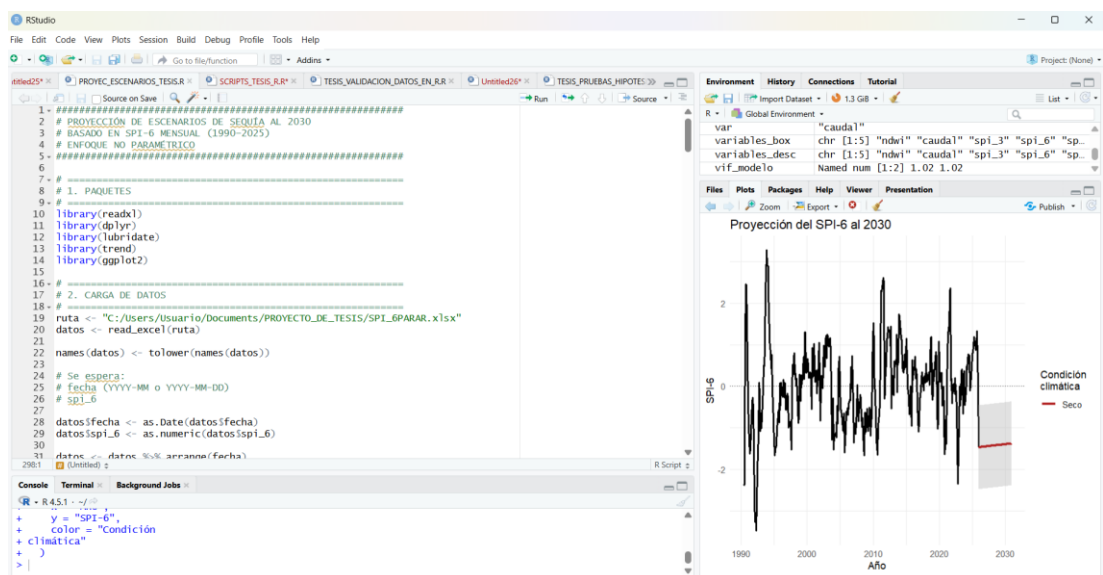


Figura 47

Base de datos obtenidos para los puntos de monitoreo del periodo mayo – diciembre del 2025 para el área de estudio (Subcuenca media preurbana del río Ichu)

fecha	punto	spi_3	spi_6	spi_12	ndmi	ndwi	ndvi	caudal			
May-25	1	1.029286529	1.012513566	1.018746573	1.018746573	0.197547257	-0.270351283	0.467229903	0.02019526		
Jun-25	1	1.393165761	1.052368763	1.045802093	1.045802093	0.207609184	-0.344933406	0.532302022	0.02043718		
Jul-25	1	0.436851774	0.869275865	1.05061134	1.05061134	0.152606964	-0.341109619	0.462926105	0.01694889		
Ago-25	1	-0.308131346	1.011117537	1.089388308	1.089388308	0.118093498	-0.363536	0.463615507	0.01630945		
Set-25	1	0.510108628	1.334060817	1.17820637	1.17820637	0.1758845	-0.324705005	0.4803565	0.01437225		
Oct-25	1	0.635083036	0.658325218	1.276082265	1.276082265	0.198094994	-0.358065009	0.556448996	0.01678555		
Nov-25	1	0.100654788	0.012609599	0.939900122	0.939900122	0.243011996	-0.346504986	0.576470971	0.01811878		
Dic-25	1	-1.813899142	-1.468980183	0.291639113	0.291639113	0.235820502	-0.351079494	0.580272973	0.01882438		
May-25	2	1.029286529	1.012513566	1.018746573	1.018746573	0.23873058	-0.343180791	0.561948717	0.022183774		
Jun-25	2	1.393165761	1.052368763	1.045802093	1.045802093	0.204680398	-0.353415191	0.52994746	0.022386365		
Jul-25	2	0.436851774	0.869275865	1.05061134	1.05061134	0.170611612	-0.367138565	0.508852214	0.021812356		
Ago-25	2	-0.308131346	1.011117537	1.089388308	1.089388308	0.135908499	-0.383762002	0.494862497	0.022285070		
Set-25	2	0.510108628	1.334060817	1.17820637	1.17820637	0.165255502	-0.345398501	0.491941497	0.021609765		
Oct-25	2	0.635083036	0.658325218	1.276082265	1.276082265	0.213834003	-0.332073003	0.536481977	0.021677295		
Nov-25	2	0.100654788	0.012609599	0.939900122	0.939900122	0.225404993	-0.331905991	0.545711994	0.022116243		
Dic-25	2	-1.813899142	-1.468980183	0.291639113	0.291639113	0.248365499	-0.3407415	0.567611516	0.022453896		
May-25	3	1.029286529	1.012513566	1.018746573	1.018746573	0.191060886	-0.353439763	0.52824983	0.01718664		
Jun-25	3	1.393165761	1.052368763	1.045802093	1.045802093	0.167455427	-0.367702559	0.509578347	0.0148752		
Jul-25	3	0.436851774	0.869275865	1.05061134	1.05061134	0.097087197	-0.405786052	0.467152596	0.0104603		
Ago-25	3	-0.308131346	1.011117537	1.089388308	1.089388308	0.034823251	-0.431919485	0.433227003	0.0106644		
Set-25	3	0.510108628	1.334060817	1.17820637	1.17820637	0.036255049	-0.409440994	0.425755501	0.0106644		
Oct-25	3	0.635083036	0.658325218	1.276082265	1.276082265	0.130410999	-0.329724997	0.463517994	0.0109875		
Nov-25	3	0.100654788	0.012609599	0.939900122	0.939900122	0.136403993	-0.357401997	0.480441004	0.0123009		
Dic-25	3	-1.813899142	-1.468980183	0.291639113	0.291639113	0.129255503	-0.380667493	0.497205988	0.0135042		
May-25	4	1.029286529	1.012513566	1.018746573	1.018746573	0.199176654	-0.303698137	0.489963397	0.0148036		
Jun-25	4	1.393165761	1.052368763	1.045802093	1.045802093	0.168545604	-0.312482029	0.461296111	0.0114978		
Jul-25	4	0.436851774	0.869275865	1.05061134	1.05061134	0.10810563	-0.336211056	0.412215754	0.0089320		
Ago-25	4	-0.308131346	1.011117537	1.089388308	1.089388308	0.0443737	-0.370256007	0.383230001	0.0096646		
Set-25	4	0.510108628	1.334060817	1.17820637	1.17820637	0.040321998	-0.349248007	0.367578998	0.0105283		
Oct-25	4	0.635083036	0.658325218	1.276082265	1.276082265	0.147754997	-0.274940014	0.422910988	0.0106134		
Nov-25	4	0.100654788	0.012609599	0.939900122	0.939900122	0.149476007	-0.298525989	0.447221994	0.0119075		
Dic-25	4	-1.813899142	-1.468980183	0.291639113	0.291639113	0.176666498	-0.279071987	0.456786498	0.0132307		
May-25	5	1.029286529	1.012513566	1.018746573	1.018746573	0.268359169	-0.284270421	0.533835828	0.0122575		
Jun-25	5	1.393165761	1.052368763	1.045802093	1.045802093	0.255370528	-0.289884135	0.518104285	0.0120095		
Jul-25	5	0.436851774	0.869275865	1.05061134	1.05061134	0.201589301	-0.309161291	0.478516921	0.0000000		
Ago-25	5	-0.308131346	1.011117537	1.089388308	1.089388308	0.147228502	-0.348287508	0.462389499	0.0000000		
Set-25	5	0.510108628	1.334060817	1.17820637	1.17820637	0.150187999	-0.331355989	0.449400514	0.0066371		
Oct-25	5	0.635083036	0.658325218	1.276082265	1.276082265	0.178638995	-0.281735003	0.441661	0.0094713		
Nov-25	5	0.100654788	0.012609599	0.939900122	0.939900122	0.154970005	-0.309947014	0.445161015	0.0107494		
Dic-25	6	-1.813899142	-1.468980183	0.291639113	0.291639113	0.149046503	-0.353279501	0.499201015	0.0193245		
May-25	7	1.029286529	1.012513566	1.018746573	1.018746573	0.233343408	-0.275833294	0.507719681	0.0153290		
Jun-25	7	1.393165761	1.052368763	1.045802093	1.045802093	0.204583615	-0.290895581	0.481456116	0.0118274		
Jul-25	7	0.436851774	0.869275865	1.05061134	1.05061134	0.116229523	-0.332482457	0.429422796	0.0043870		
Ago-25	7	-0.308131346	1.011117537	1.089388308	1.089388308	0.070501551	-0.365783498	0.407221496	0.0034241		
Set-25	7	0.510108628	1.334060817	1.17820637	1.17820637	0.07465595	-0.34499301	0.386041507	0.0083919		
Oct-25	7	0.635083036	0.658325218	1.276082265	1.276082265	0.107013002	-0.340490013	0.447032005	0.0104603		
Nov-25	7	0.100654788	0.012609599	0.939900122	0.939900122	0.102374002	-0.348302007	0.457323015	0.0118874		
Dic-25	7	-1.813899142	-1.468980183	0.291639113	0.291639113	0.111738503	-0.349757001	0.464627996	0.0134621		

Figura 48

Base de datos obtenidos para SPI y proyección de escenarios.

Fecha	SPI_3	Clase_3	SPI_6	Clase_6	SPI_12	Clase_12
1/01/1990						
1/02/1990						
1/03/1990	-2.850598962			Extremo seco		
1/04/1990	-2.808131214			Extremo seco		
1/05/1990	-1.571856659			Severo		
1/06/1990	0.062172758			Normal	-2.387832822	Extremo seco
1/07/1990	1.667265943			Muy húmedo	-2.327389122	Extremo seco
1/08/1990	2.934343954			Excesivamente húmedo	-1.012774956	Moderadamente seco
1/09/1990	2.292128911			Excesivamente húmedo	1.040606572	Moderadamente húmedo
1/10/1990	2.242732999			Excesivamente húmedo	2.459404301	Excesivamente húmedo
1/11/1990	2.032244522			Excesivamente húmedo	2.428931352	Excesivamente húmedo
1/12/1990	1.175869477			Moderadamente húmedo	1.523619672	Muy húmedo
1/01/1991	-0.281415314			Normal	0.615878003	Normal
1/02/1991	-1.91426299			Severo	-0.351752343	Normal
1/03/1991	-1.905168029			Severo	-0.979119724	Normal
1/04/1991	-1.304797366			Moderadamente seco	-1.304855864	Moderadamente seco
1/05/1991	-0.638472027			Normal	-1.628480857	Severo
1/06/1991	0.475381729			Normal	-1.50510934	Severo
1/07/1991	1.299999713			Moderadamente húmedo	-1.075706667	Moderadamente seco
1/08/1991	-0.64043565			Normal	-0.765542698	Normal
1/09/1991	-2.079078423			Extremo seco	-0.373105032	Normal
1/10/1991	-1.127176527			Moderadamente seco	-0.273834894	Normal
1/11/1991	-0.446233219			Normal	-0.550760598	Normal
1/12/1991	-1.159976399			Moderadamente seco	-1.479364262	Moderadamente seco
1/01/1992	-2.788165674			Extremo seco	-2.782408248	Extremo seco
1/02/1992	-3.738533522			Extremo seco	-3.265463423	Extremo seco
1/03/1992	-2.851305476			Extremo seco	-3.129095608	Extremo seco
1/04/1992	-2.063407697			Extremo seco	-3.288389805	Extremo seco
1/05/1992	-1.792401681			Severo	-3.477578304	Extremo seco
1/06/1992	-1.355006526			Moderadamente seco	-2.795086475	Extremo seco
1/07/1992	-0.315299602			Normal	-2.061651213	Extremo seco
1/08/1992	1.463708189			Moderadamente húmedo	-1.538947242	Severo
1/09/1992	-0.36374956			Normal	-1.251134064	Moderadamente seco
1/10/1992	0.296670794			Normal	0.08644901	Normal
1/11/1992	-0.576762583			Normal	-0.174122028	Normal
1/12/1992	-1.104089779			Moderadamente seco	-1.080088409	Moderadamente seco
1/01/1993	-1.107181219			Moderadamente seco	-0.845773053	Normal
1/02/1993	-0.821326356			Normal	-1.006203913	Moderadamente seco
1/03/1993	-0.098602872			Normal	-0.732094501	Normal
1/04/1993	0.282194449			Normal	-0.399138679	Normal
1/05/1993	0.697938977			Normal	-0.065114045	Normal
1/06/1993	2.355814364			Excesivamente húmedo	0.512966634	Normal
1/07/1993	1.679859957			Muy húmedo	0.482315309	Normal
1/08/1993	1.754494969			Muy húmedo	0.917952736	Normal
1/09/1993	1.214877381			Moderadamente húmedo	2.428220275	Excesivamente húmedo
1/10/1993	2.389653511			Excesivamente húmedo	2.583837679	Excesivamente húmedo
1/11/1993	3.228085405			Excesivamente húmedo	3.274741189	Excesivamente húmedo
1/12/1993	2.92708255			Excesivamente húmedo	2.917491929	Excesivamente húmedo
1/01/1994	2.423698734			Excesivamente húmedo	2.890276884	Excesivamente húmedo
1/02/1994	1.494808915			Moderadamente húmedo	2.891591836	Excesivamente húmedo
1/03/1994	0.855757369			Normal	2.170046522	Excesivamente húmedo
1/04/1994	0.833973681			Normal	1.873366854	Muy húmedo
1/05/1994	0.448277859			Normal	1.133524039	Moderadamente húmedo
1/06/1994	0.880602286			Normal	0.938066877	Normal
1/07/1994	0.315091904			Normal	0.845334181	Normal
1/08/1994	-0.07529077			Normal	0.426750445	Normal
1/09/1994	0.141781183			Normal	0.756072397	Normal
1/10/1994	-0.389073803			Normal	-0.208215215	Normal
1/11/1994	-0.31361161			Normal	-0.315464471	Normal
1/12/1994	-1.087389382			Moderadamente seco	-0.948788863	Normal
1/01/1995	-1.301172252			Moderadamente seco	-1.265977283	Moderadamente seco
1/02/1995	-1.774857559			Severo	-1.664001469	Severo
1/03/1995	-0.994493265			Normal	-1.53271107	Severo
1/04/1995	-0.799898465			Normal	-1.444907529	Moderadamente seco
1/05/1995	-0.475856034			Normal	-1.436577252	Moderadamente seco
1/06/1995	-0.483717575			Normal	-0.990802186	Normal
1/07/1995	-0.710263565			Normal	-0.884462646	Normal
1/08/1995	-1.12274623			Moderadamente seco	-0.654582411	Normal
1/09/1995	-0.334662022			Normal	-0.564847187	Normal
1/10/1995	-0.674330981			Normal	-0.866674331	Normal
1/11/1995	0.318746887			Normal	0.070790746	Normal
1/12/1995	-0.542920533			Normal	-0.57449798	Normal
1/01/1996	-0.164709837			Normal	-0.383795239	Normal
1/02/1996	-0.024349025			Normal	0.094914795	Normal
1/03/1996	0.187912422			Normal	-0.219105944	Normal
1/04/1996	0.192787354			Normal	-0.022637411	Normal
1/05/1996	-0.281037042			Normal	-0.25686483	Normal
1/06/1996	0.065249409			Normal	0.164977602	Normal
1/07/1996	-0.903389004			Normal	0.076146905	Normal

1/08/1996	0.314264699	Normal	-0.274429382	Normal	-0.142408289	Normal		
1/09/1996	0.128768287	Normal	0.071400933	Normal	-0.188873869	Normal		
1/10/1996	-0.222139911	Normal	-0.565111435	Normal	-0.150742205	Normal		
1/11/1996	-0.689553546	Normal	-0.560472719	Normal	-0.4283763	Normal		
1/12/1996	-0.291255786	Normal	-0.251122583	Normal	-0.006238187	Normal		
1/01/1997	-0.102863815	Normal	-0.18235931	Normal	-0.048349687	Normal		
1/02/1997	0.089206121	Normal	-0.274211014	Normal	-0.354775862	Normal		
1/03/1997	-0.842408487	Normal	-1.001756334	Moderadamente seco	-0.893760001	Normal		
1/04/1997	-0.980768602	Normal	-0.955252119	Normal	-1.024742248	Moderadamente seco		
1/05/1997	-1.47022823	Moderadamente seco		-0.851148218	Normal	-1.021149756	Moderadamente seco	
1/06/1997	-0.506878117	Normal	-0.86368344	Normal	-1.018389487	Moderadamente seco		
1/07/1997	-0.835634091	Normal	-1.086909157	Moderadamente seco		-1.034422453	Moderadamente seco	
1/08/1997	-0.070904821	Normal	-1.52114262	Severo	-1.052051968	Moderadamente seco		
1/09/1997	0.848101794	Normal	-0.058155525	Normal	-0.921698071	Normal		
1/10/1997	0.304594898	Normal	-0.095041385	Normal	-0.917982646	Normal		
1/11/1997	0.611076234	Normal	0.525565823	Normal	-0.571741807	Normal		
1/12/1997	0.135948555	Normal	0.28465202	Normal	-0.583692759	Normal		
1/01/1998	0.698611613	Normal	0.6895538	Normal	-0.376769779	Normal		
1/02/1998	0.645400047	Normal	0.796841042	Normal	-0.229575346	Normal		
1/03/1998	0.371042303	Normal	0.264075733	Normal	0.22085848	Normal		
1/04/1998	0.054377311	Normal	0.309058029	Normal	0.252619882	Normal		
1/05/1998	-0.556977279	Normal	0.004358903	Normal	0.16099386	Normal		
1/06/1998	-0.630656529	Normal	0.186319254	Normal	0.190703656	Normal		
1/07/1998	-1.917324296	Severo	-0.154269107	Normal	0.184137499	Normal		
1/08/1998	0.230653704	Normal	-0.56525581	Normal	0.191348233	Normal		
1/09/1998	-0.807134617	Normal	-0.880337744	Normal	0.03405998	Normal		
1/10/1998	-0.024557189	Normal	-0.727991972	Normal	0.132428757	Normal		
1/11/1998	0.278797839	Normal	0.28109905	Normal	0.100015392	Normal		
1/12/1998	0.212044567	Normal	0.024899456	Normal	0.131836804	Normal		
1/01/1999	-0.382452518	Normal	-0.355680703	Normal	-0.302435524	Normal		
1/02/1999	0.207415866	Normal	0.268850026	Normal	-0.143933338	Normal		
1/03/1999	0.082075426	Normal	0.048849873	Normal	-0.16503486	Normal		
1/04/1999	0.577438923	Normal	0.211083991	Normal	0.024937082	Normal		
1/05/1999	0.234597388	Normal	0.210596851	Normal	0.261624727	Normal		
1/06/1999	1.481037809	Moderadamente húmedo	0.415361864	Normal	0.272107497	Normal		
1/07/1999	1.224382649	Moderadamente húmedo	0.70364887	Normal	0.303983458	Normal		
1/08/1999	-0.416879416	Normal	0.165512751	Normal	0.226501462	Normal		
1/09/1999	0.166349039	Normal	1.285553084	Moderadamente húmedo	0.365989479	Normal		
1/10/1999	1.0210438	Moderadamente húmedo	1.296118417	Moderadamente húmedo	0.52053583	Normal		
1/11/1999	0.47579257	Normal	0.33764791	Normal	0.307572219	Normal		
1/12/1999	0.343723742	Normal	0.329593801	Normal	0.455000155	Normal		
1/01/2000	0.003657378	Normal	0.351178707	Normal	0.677246785	Normal		
1/02/2000	0.551507847	Normal	0.652634702	Normal	0.514224224	Normal		
1/03/2000	0.501260765	Normal	0.47972854	Normal	0.754075175	Normal		
1/04/2000	0.352554093	Normal	0.200483927	Normal	0.487538905	Normal		
1/05/2000	0.018547651	Normal	0.284347998	Normal	0.350056488	Normal		
1/06/2000	-0.447387115	Normal	0.338285732	Normal	0.350399957	Normal		
1/07/2000	-0.080718728	Normal	0.322157225	Normal	0.365717754	Normal		
1/08/2000	0.412866189	Normal	0.043752986	Normal	0.41754843	Normal		
1/09/2000	-0.355579669	Normal	-0.544499022	Normal	0.3095638211	Normal		
1/10/2000	1.194064894	Moderadamente húmedo	0.925442328	Normal	0.41449539	Normal		
1/11/2000	0.1815553	Normal	0.23140434	Normal	0.337771153	Normal		
1/12/2000	0.373408699	Normal	0.256791738	Normal	0.359428955	Normal		
1/01/2001	0.722608244	Normal	1.018252505	Moderadamente húmedo	0.734710223	Normal		
1/02/2001	0.50750939	Normal	0.475918782	Normal	0.327302461	Normal		
1/03/2001	0.553564046	Normal	0.540158799	Normal	0.366152339	Normal		
1/04/2001	-0.223946552	Normal	0.097743842	Normal	0.300127339	Normal		
1/05/2001	0.102486091	Normal	0.309218905	Normal	0.335597566	Normal		
1/06/2001	-0.502203121	Normal	0.374747996	Normal	0.347535343	Normal		
1/07/2001	0.535326461	Normal	-0.169444762	Normal	0.367016767	Normal		
1/08/2001	0.537259088	Normal	0.14592622	Normal	0.35500457	Normal		
1/09/2001	1.275462558	Moderadamente húmedo	0.146452522	Normal	0.516729501	Normal		
1/10/2001	0.599420336	Normal	0.669698101	Normal	0.254308077	Normal		
1/11/2001	1.053334578	Moderadamente húmedo	1.045977893	Moderadamente húmedo	0.655735454	Normal		
1/12/2001	-0.185371418	Normal	0.100268834	Normal	0.32040721	Normal		
1/01/2002	-1.240116281	Moderadamente seco	-0.834346204	Normal	-0.549872241	Normal		
1/02/2002	-0.609270032	Normal	0.010349471	Normal	0.075456774	Normal		
1/03/2002	0.537976187	Normal	0.261291246	Normal	0.267141352	Normal		
1/04/2002	1.009191052	Moderadamente húmedo	0.226570389	Normal	0.354118212	Normal		
1/05/2002	0.545115136	Normal	-0.056304608	Normal	0.306502517	Normal		
1/06/2002	-0.121683831	Normal	0.435440979	Normal	0.326832068	Normal		
1/07/2002	-0.005080701	Normal	0.986194607	Normal	0.310329907	Normal		
1/08/2002	0.982436115	Normal	0.656713992	Normal	0.351655134	Normal		
1/09/2002	1.360162857	Moderadamente húmedo	0.465832126	Normal	0.341096658	Normal		
1/10/2002	1.367382937	Moderadamente húmedo	1.099101516	Moderadamente húmedo	0.483280859	Normal		
1/11/2002	1.146525927	Moderadamente húmedo	1.218269259	Moderadamente húmedo	0.399870232	Normal		
1/12/2002	0.746393227	Normal	0.938768229	Normal	0.749244775	Normal		
1/01/2003	0.231430648	Normal	0.672056205	Normal	1.044069439	Moderadamente húmedo		
1/02/2003	0.856388916	Normal	1.238320083	Moderadamente húmedo	1.183849707	Moderadamente húmedo		
1/03/2003	1.086389604	Moderadamente húmedo	1.19048768	Moderadamente húmedo	1.196024604	Moderadamente húmedo		
1/04/2003	1.263055326	Moderadamente húmedo	1.123957539	Moderadamente húmedo	1.279656491	Moderadamente húmedo		
1/05/2003	0.77747052	Normal	0.954335365	Normal	1.287080681	Moderadamente húmedo		
1/06/2003	0.229582175	Normal	0.994555268	Normal	1.247069028	Moderadamente húmedo		
1/07/2003	-0.95458098	Normal	1.155262191	Moderadamente húmedo	1.231509458	Moderadamente húmedo		
1/08/2003	0.21090311	Normal	0.802085013	Normal	1.249169261	Moderadamente húmedo		
1/09/2003	-0.58904553	Normal	-0.076624725	Normal	1.063540431	Moderadamente húmedo		
1/10/2003	-1.068786701	Moderadamente seco	-1.285679223	Moderadamente seco	0.816968435	Normal		
1/11/2003	-1.361906529	Moderadamente seco	-1.163765652	Moderadamente seco	0.540135122	Normal		
1/12/2003	-0.165180481	Normal	-0.282904096	Normal	0.683714783	Normal		
1/01/2004	-1.32642765	Moderadamente seco	-1.527135149	Severo	0.188366218	Normal		
1/02/2004	-0.56331695	Normal	-1.128709104	Moderadamente seco	-0.236248091	Normal		
1/03/2004	-1.118834118	Moderadamente seco	-1.167293129	Moderadamente seco	-1.081191578	Moderadamente seco		
1/04/2004	-0.476258671	Normal	-1.185419828	Moderadamente seco	-1.402627152	Moderadamente seco		
1/05/2004	-1.136682453	Moderadamente seco	-1.103270267	Moderadamente seco	-1.463971581	Moderadamente seco		
1/06/2004	-1.067337576	Moderadamente seco	-1.22880641	Moderadamente seco	-1.353068456	Moderadamente seco		

1/07/2004	0.191212147	Normal	-0.461440522	Normal	-1.309090826	Moderadamente seco		
1/08/2004	1.658055631	Muy húmedo	-0.892440109	Normal	-1.326170881	Moderadamente seco		
1/09/2004	1.164783765	Moderadamente húmedo		-0.306983686	Normal	-1.133699297	Moderadamente seco	
1/10/2004	0.389794166	Normal	0.360179863	Normal	-1.009833591	Moderadamente seco		
1/11/2004	0.167974013	Normal	0.506176483	Normal	-0.799795003	Normal		
1/12/2004	0.54021784	Normal	0.71291783	Normal	-0.6395486	Normal		
1/01/2005	-0.122197947	Normal	0.01288539	Normal	-0.331858655	Normal		
1/02/2005	-0.704630095	Normal	-0.542362783	Normal	-0.875580178	Normal		
1/03/2005	-0.881539394	Normal	-0.583598919	Normal	-0.61426547	Normal		
1/04/2005	-0.645469882	Normal	-0.701182161	Normal	-0.565802171	Normal		
1/05/2005	-0.462605719	Normal	-0.788742419	Normal	-0.562993884	Normal		
1/06/2005	-1.327283698	Moderadamente seco		-1.071212713	Moderadamente seco	-0.664125411	Normal	
1/07/2005	-1.461593677	Moderadamente seco		-0.821959607	Normal	-0.720885234	Normal	
1/08/2005	-1.179039512	Moderadamente seco		-0.647024155	Normal	-0.787246797	Normal	
1/09/2005	-1.171288463	Moderadamente seco		-1.592134475	Severo	-0.902578162	Normal	
1/10/2005	-0.824565581	Normal	-1.274102078	Moderadamente seco		-0.955429153	Normal	
1/11/2005	-0.898927477	Normal	-1.068514834	Moderadamente seco		-1.088449433	Moderadamente seco	
1/12/2005	-0.403223415	Normal	-0.612047112	Normal	-1.177352026	Moderadamente seco		
1/01/2006	-0.418824554	Normal	-0.655256288	Normal	-0.929275287	Normal		
1/02/2006	-0.1004362	Normal	-0.529039654	Normal	-0.733919845	Normal		
1/03/2006	-0.411695383	Normal	-0.686764563	Normal	-1.005524894	Moderadamente seco		
1/04/2006	-0.132808862	Normal	-0.431759127	Normal	-0.693841819	Normal		
1/05/2006	-0.406726238	Normal	-0.381124347	Normal	-0.747862718	Normal		
1/06/2006	0.276145217	Normal	-0.308488173	Normal	-0.700413843	Normal		
1/07/2006	-1.616766448	Severo	-0.31920987	Normal	-0.715046815	Normal		
1/08/2006	0.733994529	Normal	-0.340742779	Normal	-0.60455569	Normal		
1/09/2006	0.65867256	Normal	0.462863142	Normal	-0.504612446	Normal		
1/10/2006	0.640587726	Normal	-0.049861989	Normal	-0.41835305	Normal		
1/11/2006	0.665221192	Normal	0.73283361	Normal	-0.076742897	Normal		
1/12/2006	-0.040691272	Normal	0.086490858	Normal	-0.24230474	Normal		
1/01/2007	-0.710002177	Normal	-0.385302055	Normal	-0.436189469	Normal		
1/02/2007	-2.096328289	Extremo seco	-1.358800431	Moderadamente seco		-1.107969724	Moderadamente seco	
1/03/2007	-0.866852874	Normal	-0.890439598	Normal	-0.688300431	Normal		
1/04/2007	-0.512107618	Normal	-0.903780938	Normal	-0.852689887	Normal		
1/05/2007	0.170168835	Normal	-1.153276236	Moderadamente seco		-0.79192975	Normal	
1/06/2007	-0.388333795	Normal	-0.85801736	Normal	-0.833993386	Normal		
1/07/2007	-0.962156146	Normal	-0.636323609	Normal	-0.813810196	Normal		
1/08/2007	-1.023022657	Moderadamente seco		0.033418277	Normal	-0.923638647	Normal	
1/09/2007	-0.637933602	Normal	-0.613104096	Normal	-0.962187175	Normal		
1/10/2007	-0.525991008	Normal	-0.841149687	Normal	-1.051389849	Moderadamente seco		
1/11/2007	-0.275349463	Normal	-0.466282256	Normal	-1.217081142	Moderadamente seco		
1/12/2007	-0.43048187	Normal	-0.534683951	Normal	-0.970575321	Normal		
1/01/2008	-0.011702435	Normal	-0.20190684	Normal	-0.564674726	Normal		
1/02/2008	-0.134432501	Normal	-0.282300701	Normal	-0.182975944	Normal		
1/03/2008	-0.51128722	Normal	-0.787220397	Normal	-0.874022022	Normal		
1/04/2008	-0.999177207	Normal	-0.918102499	Normal	-1.054519074	Moderadamente seco		
1/05/2008	-1.423366248	Moderadamente seco		-0.977031806	Normal	-1.103957605	Moderadamente seco	
1/06/2008	-1.415730396	Moderadamente seco		-0.755424758	Normal	-1.068263841	Moderadamente seco	
1/07/2008	-1.118534538	Moderadamente seco		-1.138416279	Moderadamente seco	-1.084019084	Moderadamente seco	
1/08/2008	-0.148053845	Normal	-1.487412947	Moderadamente seco		-1.041590499	Moderadamente seco	
1/09/2008	-1.188171305	Moderadamente seco		-1.66887393	Severo	-1.107736463	Moderadamente seco	
1/10/2008	-0.22354319	Normal	-0.643205841	Normal	-1.018308445	Moderadamente seco		
1/11/2008	-0.659876719	Normal	-0.639912732	Normal	-1.118584405	Moderadamente seco		
1/12/2008	-0.927013771	Normal	-1.095810321	Moderadamente seco		-1.136860854	Moderadamente seco	
1/01/2009	-0.966868301	Normal	-0.923592035	Normal	-1.287737354	Moderadamente seco		
1/02/2009	-0.229881444	Normal	-0.538261177	Normal	-1.176128899	Moderadamente seco		
1/03/2009	-0.401270144	Normal	-0.92772397	Normal	-1.247193103	Moderadamente seco		
1/04/2009	-0.557097512	Normal	-1.074276298	Moderadamente seco		-1.152591947	Moderadamente seco	
1/05/2009	-1.141932108	Moderadamente seco		-0.889672703	Normal	-1.08489053	Moderadamente seco	
1/06/2009	-0.62953179	Normal	-0.502515546	Normal	-1.109636117	Moderadamente seco		
1/07/2009	-0.152985498	Normal	-0.585380699	Normal	-1.080188766	Moderadamente seco		
1/08/2009	-0.001558803	Normal	-1.185547708	Moderadamente seco		-1.073396688	Moderadamente seco	
1/09/2009	-0.608644024	Normal	-0.797107967	Normal	-1.040324705	Moderadamente seco		
1/10/2009	-0.875246728	Normal	-0.794666339	Normal	-1.201478903	Moderadamente seco		
1/11/2009	0.575721492	Normal	0.506948803	Normal	-0.613260008	Normal		
1/12/2009	1.375830998	Moderadamente húmedo		1.153164542	Moderadamente húmedo	0.128181923	Normal	
1/01/2010	2.000437211	Excesivamente húmedo		1.516499576	Muy húmedo	0.400059021	Normal	
1/02/2010	0.832396585	Normal	0.936769484	Normal	0.023102793	Normal		
1/03/2010	-0.430689284	Normal	0.254383678	Normal	0.044742485	Normal		
1/04/2010	-1.190766996	Moderadamente seco		0.147668171	Normal	-0.048629176	Normal	
1/05/2010	-1.321163799	Moderadamente seco		-0.273960794	Normal	-0.099704469	Normal	
1/06/2010	-1.353309357	Moderadamente seco		-0.671155731	Normal	-0.081408283	Normal	
1/07/2010	-0.984359718	Normal	-1.312081252	Moderadamente seco		-0.118210318	Normal	
1/08/2010	-0.529611865	Normal	-1.444174052	Moderadamente seco		-0.129236167	Normal	
1/09/2010	-1.252049398	Moderadamente seco		-1.647494881	Severo	-0.130084055	Normal	
1/10/2010	-0.612505304	Normal	-0.921519479	Normal	-0.063750779	Normal		
1/11/2010	-0.774041901	Normal	-0.824055122	Normal	-0.529451184	Normal		
1/12/2010	-0.43121604	Normal	-0.652837224	Normal	-0.87265649	Normal		
1/01/2011	-0.237826641	Normal	-0.428253867	Normal	-1.138795874	Moderadamente seco		
1/02/2011	1.263373818	Moderadamente húmedo		0.730701422	Normal	-0.243665336	Normal	
1/03/2011	2.804623541	Excesivamente húmedo		2.296351194	Excesivamente húmedo	1.830042518	Muy húmedo	
1/04/2011	2.666156158	Excesivamente húmedo		2.27042717	Excesivamente húmedo	1.957640573	Muy húmedo	
1/05/2011	2.448733693	Excesivamente húmedo		2.372295888	Excesivamente húmedo	2.006842047	Excesivamente húmedo	
1/06/2011	-0.112057478	Normal	2.490592616	Excesivamente húmedo		1.995968202	Muy húmedo	
1/07/2011	-0.675018091	Normal	2.610016464	Excesivamente húmedo		2.015099923	Excesivamente húmedo	
1/08/2011	-0.591300635	Normal	2.499906394	Excesivamente húmedo		2.025399209	Excesivamente húmedo	
1/09/2011	-0.433520174	Normal	-0.302919057	Normal	2.049406654	Excesivamente húmedo		
1/10/2011	0.178130979	Normal	-0.145464798	Normal	2.153977649	Excesivamente húmedo		
1/11/2011	0.186597603	Normal	0.038753425	Normal	2.236653697	Excesivamente húmedo		
1/12/2011	0.561802137	Normal	0.417231349	Normal	2.258372175	Excesivamente húmedo		
1/01/2012	0.510444486	Normal	0.491727771	Normal	2.250426871	Excesivamente húmedo		
1/02/2012	1.277557437	Moderadamente húmedo		1.138655548	Moderadamente húmedo	2.276526407	Excesivamente húmedo	
1/03/2012	1.134727928	Moderadamente húmedo		1.145188838	Moderadamente húmedo	0.983364476	Normal	
1/04/2012	1.437880224	Moderadamente húmedo		1.418519147	Moderadamente húmedo	1.284239633	Moderadamente húmedo	
1/05/2012	0.990792513	Normal	1.345841592	Moderadamente húmedo		1.249880136	Moderadamente húmedo	

1/06/2012	1.465644358	Moderadamente húmedo	1.307358841	Moderadamente húmedo	1.286272556	Moderadamente húmedo
1/07/2012	-0.885737189	Normal	1.338906222	Moderadamente húmedo	1.294008007	Moderadamente húmedo
1/08/2012	-0.332626657	Normal	0.968058595	Normal	1.281507548	Moderadamente húmedo
1/09/2012	0.637794161	Normal	1.44400969	Moderadamente húmedo	1.379613842	Moderadamente húmedo
1/10/2012	-0.197836223	Normal	-0.538258195	Normal	1.246421206	Moderadamente húmedo
1/11/2012	0.200296076	Normal	0.099197668	Normal	1.27985732	Moderadamente húmedo
1/12/2012	0.148130139	Normal	0.250078588	Normal	1.16725234	Moderadamente húmedo
1/01/2013	0.115131091	Normal	0.015433466	Normal	1.00899297	Moderadamente húmedo
1/02/2013	-0.330447689	Normal	-0.217898015	Normal	0.433114663	Normal
1/03/2013	0.740771305	Normal	0.598482719	Normal	0.902502118	Normal
1/04/2013	0.592047043	Normal	0.465401527	Normal	0.303846878	Normal
1/05/2013	1.190646972	Moderadamente húmedo	0.56747671	Normal	0.531545454	Normal
1/06/2013	-0.375141444	Normal	0.567139507	Normal	0.520124247	Normal
1/07/2013	1.39703514	Moderadamente húmedo	0.741181107	Normal	0.531169406	Normal
1/08/2013	0.259859662	Normal	1.239359378	Moderadamente húmedo	0.582997927	Normal
1/09/2013	0.438011641	Normal	-0.144677931	Normal	0.503290626	Normal
1/10/2013	0.713996927	Normal	1.132105283	Moderadamente húmedo	0.712985016	Normal
1/11/2013	0.587003584	Normal	0.566583522	Normal	0.713362072	Normal
1/12/2013	1.808701912	Muy húmedo	1.734731041	Muy húmedo	1.234566883	Moderadamente húmedo
1/01/2014	1.694023832	Muy húmedo	1.694025374	Muy húmedo	1.376634545	Moderadamente húmedo
1/02/2014	1.488814191	Moderadamente húmedo	1.499630941	Moderadamente húmedo	1.696383781	Muy húmedo
1/03/2014	0.594836781	Normal	1.323269674	Moderadamente húmedo	1.183707916	Moderadamente húmedo
1/04/2014	0.425517483	Normal	1.147881063	Moderadamente húmedo	1.309428011	Moderadamente húmedo
1/05/2014	0.380030046	Normal	1.088301948	Moderadamente húmedo	1.178727188	Moderadamente húmedo
1/06/2014	-0.287422595	Normal	0.453183955	Normal	1.187157053	Moderadamente húmedo
1/07/2014	-0.184101523	Normal	0.383499121	Normal	1.18466099	Moderadamente húmedo
1/08/2014	-0.36407305	Normal	0.323237082	Normal	1.154946854	Moderadamente húmedo
1/09/2014	1.565024565	Muy húmedo	0.440152496	Normal	1.299891351	Moderadamente húmedo
1/10/2014	1.061586559	Moderadamente húmedo	0.776582646	Normal	1.266724634	Moderadamente húmedo
1/11/2014	0.58080536	Normal	0.444350169	Normal	1.150262529	Moderadamente húmedo
1/12/2014	0.519068749	Normal	0.782096838	Normal	0.690697788	Normal
1/01/2015	0.923969075	Normal	1.142101681	Moderadamente húmedo	0.841533455	Normal
1/02/2015	0.434495358	Normal	0.605996977	Normal	0.572368301	Normal
1/03/2015	-0.162791074	Normal	-0.00245298	Normal	0.100264701	Normal
1/04/2015	-0.699286554	Normal	-0.155738424	Normal	0.033059897	Normal
1/05/2015	-0.491247606	Normal	-0.093625985	Normal	0.041204065	Normal
1/06/2015	-0.594071622	Normal	-0.283682079	Normal	0.03670187	Normal
1/07/2015	0.246445705	Normal	-0.670645866	Normal	0.076955274	Normal
1/08/2015	0.143086061	Normal	-0.511218509	Normal	0.08456523	Normal
1/09/2015	1.110817998	Moderadamente húmedo	0.00136972	Normal	-0.010433689	Normal
1/10/2015	-0.78770847	Normal	-0.547487608	Normal	-0.27382666	Normal
1/11/2015	-1.094954297	Moderadamente seco	-0.951948317	Normal	-0.399961782	Normal
1/12/2015	0.457970125	Normal	0.628004574	Normal	0.03390062	Normal
1/01/2016	0.470573436	Normal	0.14620567	Normal	-0.404290633	Normal
1/02/2016	1.000937465	Moderadamente húmedo	0.373464758	Normal	-0.043322759	Normal
1/03/2016	0.322877901	Normal	0.380834386	Normal	0.342178665	Normal
1/04/2016	0.506308903	Normal	0.568725167	Normal	0.399327384	Normal
1/05/2016	0.275817552	Normal	0.721235839	Normal	0.349760852	Normal
1/06/2016	-0.40015924	Normal	0.187024752	Normal	0.36669265	Normal
1/07/2016	-0.694760261	Normal	0.412089022	Normal	0.325966972	Normal
1/08/2016	-0.544839042	Normal	0.194564529	Normal	0.313800348	Normal
1/09/2016	-0.273806684	Normal	-0.472212134	Normal	0.230259416	Normal
1/10/2016	-0.597242051	Normal	-0.797482353	Normal	0.368927651	Normal
1/11/2016	-1.065433308	Moderadamente seco	-1.087119935	Moderadamente seco	0.336482615	Normal
1/12/2016	-0.893527306	Normal	-0.874106499	Normal	-0.24691752	Normal
1/01/2017	-0.1011926	Normal	-0.303352	Normal	0.142679855	Normal
1/02/2017	0.291421411	Normal	-0.251455859	Normal	-0.067581162	Normal
1/03/2017	0.392353434	Normal	-0.187036721	Normal	-0.291197731	Normal
1/04/2017	0.038565462	Normal	-0.123097956	Normal	-0.30377407	Normal
1/05/2017	0.117567001	Normal	0.186426223	Normal	-0.208185772	Normal
1/06/2017	0.056738054	Normal	0.34326218	Normal	-0.209687767	Normal
1/07/2017	0.701509623	Normal	0.108546222	Normal	-0.170679138	Normal
1/08/2017	-0.314921316	Normal	0.055273075	Normal	-0.186515207	Normal
1/09/2017	-0.284425099	Normal	-0.10342284	Normal	-0.202745212	Normal
1/10/2017	-0.032763606	Normal	0.241108947	Normal	-0.05810625	Normal
1/11/2017	0.282244957	Normal	0.177760939	Normal	0.22959302	Normal
1/12/2017	0.174821192	Normal	0.087373553	Normal	0.288736011	Normal
1/01/2018	0.656764891	Normal	0.543418026	Normal	0.340525817	Normal
1/02/2018	0.044168394	Normal	0.133991366	Normal	0.105041082	Normal
1/03/2018	0.174557576	Normal	0.110741377	Normal	0.06938537	Normal
1/04/2018	-0.104098466	Normal	0.157832419	Normal	0.189029824	Normal
1/05/2018	0.408515318	Normal	0.227747408	Normal	0.241020355	Normal
1/06/2018	0.886085965	Normal	0.342385777	Normal	0.235210874	Normal
1/07/2018	1.179814258	Moderadamente húmedo	0.037470764	Normal	0.24765018	Normal
1/08/2018	1.803185792	Muy húmedo	0.634627168	Normal	0.418380238	Normal
1/09/2018	1.104764926	Moderadamente húmedo	1.141341954	Moderadamente húmedo	0.381342539	Normal
1/10/2018	0.904103756	Normal	1.184558375	Moderadamente húmedo	0.442135279	Normal
1/11/2018	-0.526039635	Normal	-0.039587953	Normal	0.193253797	Normal
1/12/2018	-0.356171322	Normal	-0.087927826	Normal	0.211854286	Normal
1/01/2019	-0.76109273	Normal	-0.323445007	Normal	-0.146427716	Normal
1/02/2019	0.127404276	Normal	-0.170177469	Normal	0.252459602	Normal
1/03/2019	0.762414816	Normal	0.388494378	Normal	0.634143479	Normal
1/04/2019	0.784854005	Normal	0.224944873	Normal	0.480894787	Normal
1/05/2019	0.78139334	Normal	0.530271248	Normal	0.450050386	Normal
1/06/2019	-0.019999598	Normal	0.655793417	Normal	0.442057027	Normal
1/07/2019	0.516155478	Normal	0.81936538	Normal	0.420984344	Normal
1/08/2019	-1.014934846	Moderadamente seco	0.68119837	Normal	0.250377611	Normal
1/09/2019	-1.398349172	Moderadamente seco	-0.591647598	Normal	0.211161056	Normal
1/10/2019	-1.613452966	Severo	-1.028422483	Moderadamente seco	-0.011111883	Normal
1/11/2019	-0.680272664	Normal	-0.837116259	Normal	0.225439829	Normal
1/12/2019	1.415757579	Moderadamente húmedo	1.072737204	Moderadamente húmedo	0.987740533	Normal
1/01/2020	1.217215652	Moderadamente húmedo	0.606129382	Normal	0.887432827	Normal
1/02/2020	0.517849256	Normal	0.1053194	Normal	0.457338349	Normal
1/03/2020	-0.373689909	Normal	0.322538597	Normal	0.153142252	Normal
1/04/2020	-0.382828255	Normal	0.251298633	Normal	0.001722364	Normal
1/05/2020	0.110896736	Normal	0.32082862	Normal	-0.003416272	Normal

1/06/2020	-0.601450561	Normal	-0.472243088	Normal	0.037751165	Normal		
1/07/2020	0.571226059	Normal	-0.318728256	Normal	0.00995142	Normal		
1/08/2020	-0.772696533	Normal	-0.002775719	Normal	0.018815137	Normal		
1/09/2020	-0.30442521	Normal	-0.645742155	Normal	0.138514888	Normal		
1/10/2020	-1.353347074	Moderadamente seco		-0.813096018	Normal	0.058883407	Normal	
1/11/2020	-1.633651492	Severo	-1.639139408	Severo	-0.20003918	Normal		
1/12/2020	-1.517616302	Severo	-1.4267048	Moderadamente seco		-1.036122652	Moderadamente seco	
1/01/2021	-0.394087385	Normal	-0.796287066	Normal	-0.641368228	Normal		
1/02/2021	-0.733607402	Normal	-1.389366158	Moderadamente seco		-0.919668471	Normal	
1/03/2021	0.827178225	Normal	-0.026634134	Normal	-0.183052728	Normal		
1/04/2021	1.278902292	Moderadamente húmedo		0.853336792	Normal	0.615988572	Normal	
1/05/2021	2.264893443	Excesivamente húmedo		1.204374832	Moderadamente húmedo	0.64126043	Normal	
1/06/2021	2.904674401	Excesivamente húmedo		1.425331823	Moderadamente húmedo	0.630522547	Normal	
1/07/2021	0.628364602	Normal	1.323058075	Moderadamente húmedo		0.634892952	Normal	
1/08/2021	-0.890482946	Normal	2.279676785	Excesivamente húmedo		0.646662104	Normal	
1/09/2021	-0.571150426	Normal	2.357309682	Excesivamente húmedo		0.609947637	Normal	
1/10/2021	-0.132287618	Normal	0.131136559	Normal	0.840239033	Normal		
1/11/2021	0.39436012	Normal	0.179922327	Normal	1.172513267	Moderadamente húmedo		
1/12/2021	-0.315799199	Normal	-0.417026609	Normal	1.00640516	Moderadamente húmedo		
1/01/2022	0.112699392	Normal	0.034916957	Normal	1.005284193	Moderadamente húmedo		
1/02/2022	-0.159195878	Normal	0.021077266	Normal	1.464336807	Moderadamente húmedo		
1/03/2022	0.375002108	Normal	0.054180865	Normal	0.686252278	Normal		
1/04/2022	-0.058992799	Normal	-0.094855911	Normal	-0.069385788	Normal		
1/05/2022	-0.045732754	Normal	-0.191535592	Normal	-0.146005811	Normal		
1/06/2022	-0.55356123	Normal	0.204595174	Normal	-0.132707528	Normal		
1/07/2022	-0.022932798	Normal	-0.079108779	Normal	-0.134514823	Normal		
1/08/2022	-0.439444234	Normal	-0.12880005	Normal	-0.11052914	Normal		
1/09/2022	-0.293280922	Normal	-0.602988719	Normal	-0.099193786	Normal		
1/10/2022	-1.78794986	Severo	-1.427437373	Moderadamente seco		-0.401907424	Normal	
1/11/2022	-2.57049705	Extremo seco	-2.345425961	Extremo seco		-0.880414021	Normal	
1/12/2022	-1.598899771	Severo	-1.493990503	Moderadamente seco		-0.474227499	Normal	
1/01/2023	-0.427303377	Normal	-0.951634984	Normal	-0.53904213	Normal		
1/02/2023	1.107201347	Moderadamente húmedo		-0.010926329	Normal	-0.096300524	Normal	
1/03/2023	0.397996776	Normal	-0.47079787	Normal	-0.582786591	Normal		
1/04/2023	0.115067628	Normal	-0.221510926	Normal	-0.525941038	Normal		
1/05/2023	-0.473676968	Normal	0.35045401	Normal	-0.383352871	Normal		
1/06/2023	0.329296979	Normal	0.407028281	Normal	-0.411372123	Normal		
1/07/2023	1.063463545	Moderadamente húmedo		0.232325471	Normal	-0.413468997	Normal	
1/08/2023	-1.192436715	Moderadamente seco		-0.66006971	Normal	-0.426509487	Normal	
1/09/2023	-0.466980685	Normal	0.054764436	Normal	-0.419022435	Normal		
1/10/2023	-0.089531764	Normal	0.363741479	Normal	-0.119757283	Normal		
1/11/2023	-0.231095883	Normal	-0.455222856	Normal	0.171942905	Normal		
1/12/2023	-0.22176529	Normal	-0.310769169	Normal	0.171315684	Normal		
1/01/2024	-0.071723588	Normal	-0.110813333	Normal	0.101741847	Normal		
1/02/2024	0.237132974	Normal	0.05561159	Normal	-0.340952948	Normal		
1/03/2024	0.790108892	Normal	0.473623918	Normal	0.440039221	Normal		
1/04/2024	0.609152693	Normal	0.389105086	Normal	0.430840199	Normal		
1/05/2024	0.858953128	Normal	0.647253521	Normal	0.427369848	Normal		
1/06/2024	0.389500671	Normal	0.764861222	Normal	0.442834749	Normal		
1/07/2024	1.110813934	Moderadamente húmedo		0.719613766	Normal	0.446026545	Normal	
1/08/2024	-1.309202437	Moderadamente seco		0.737964652	Normal	0.431745633	Normal	
1/09/2024	-1.034457691	Moderadamente seco		-0.102011634	Normal	0.398571451	Normal	
1/10/2024	-0.600149304	Normal	0.006156491	Normal	0.369832409	Normal		
1/11/2024	0.595595781	Normal	0.303273938	Normal	0.6956471	Normal		
1/12/2024	0.666487018	Normal	0.412308258	Normal	0.77952978	Normal		
1/01/2025	1.114666768	Moderadamente húmedo		0.780614772	Normal	0.899486833	Normal	
1/02/2025	0.665927681	Normal	0.806500256	Normal	0.94597049	Normal		
1/03/2025	0.858686256	Normal	0.951239584	Normal	0.846007505	Normal		
1/04/2025	0.844304722	Normal	1.186408464	Moderadamente húmedo		1.095920223	Moderadamente húmedo	
1/05/2025	1.029286529	Moderadamente húmedo		1.012513566	Moderadamente húmedo	1.018746573	Moderadamente húmedo	
1/06/2025	1.393165761	Moderadamente húmedo		1.052368763	Moderadamente húmedo	1.045802093	Moderadamente húmedo	
1/07/2025	0.436851774	Normal	0.869275865	Normal	1.05061134	Moderadamente húmedo		
1/08/2025	-0.308131346	Normal	1.011117537	Moderadamente húmedo		1.089308308	Moderadamente húmedo	
1/09/2025	0.510108628	Normal	1.334060817	Moderadamente húmedo		1.17820637	Moderadamente húmedo	
1/10/2025	0.635083036	Normal	0.658325218	Normal	1.276082265	Moderadamente húmedo		
1/11/2025	0.100654788	Normal	0.012609599	Normal	0.939900122	Normal		
1/12/2025	-1.813899142	Severo	-1.468980183	Moderadamente seco		0.291639113	Normal	

**SOLICITO: DESIGNACION DE JURADOS
PARA INFORME FINAL DE TESIS**

M. Sc. CARLOS DUEÑAS JURADO – DIRECTOR DE LA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA.

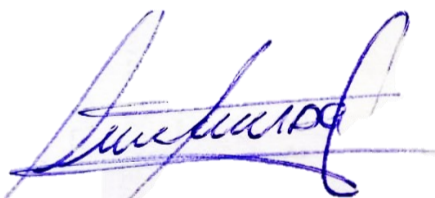
Yo, DE LA CRUZ CASTRO, Jhon Everson identificado con DNI 72516762, y código 2019161016, egresado de la escuela profesional de Ingeniería Ambiental y Sanitaria ante Ud. respetuosamente me presento y expongo lo siguiente:

Por medio de la presente, me dirijo a usted para solicitar la designación de jurados para la evaluación del informe final de tesis titulado **“Análisis de la disponibilidad de agua superficial en bofedales del río Ichu y su relación con sequías, para la ciudad de Huancavelica, 2025”**. El trabajo de investigación ha sido culminado conforme a los lineamientos metodológicos y académicos establecidos, por lo que solicito se sirva disponer la designación de los jurados correspondientes para su revisión y evaluación.

POR LO EXPUESTO:

Agradezco de antemano su atención y quedo a la espera de su respuesta.

Huancavelica, 19 de marzo del 2026.



DE LA CRUZ CASTRO, JHON EVERSON
DNI: 72516762
CELL: 965336559



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCVELICA
FACULTAD DE CIENCIAS DE INGENIERÍA**



Decanatura

RESOLUCIÓN N° 0170-2025-D-FCI-R-UNH

Huancavelica, 03 de junio de 2025.

VISTOS

Oficio N° 000266-2025-UNH/EPIAS (02-06-2025) proveído N° 000899 (02-06-2025) en 08 folios y un archivo digital formato pdf, presentado por el Director de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental y Sanitaria, Facultad de Ciencias de Ingeniería, Universidad Nacional de Huancavelica; solicita designación de Asesor y aprobación de proyecto de tesis mediante resolución y;

CONSIDERANDO

Que, de conformidad a lo establecido por el artículo 18° de la constitución política del estado, artículo 8° de la ley Universitaria N° 30220: El Estado reconoce la autonomía universitaria. La autonomía inherente a las universidades, se ejerce de conformidad con lo establecido en la Constitución, la presente Ley y demás normativa aplicable. Esta autonomía se manifiesta en lo normativo, de gobierno, académico, administrativo y económico en el marco de la ley; artículo 37° del Estatuto: Las Facultades gozan de autonomía académica, normativa, gubernativa, administrativa y económica, dentro del marco de la ley y el estatuto;

Que, según el artículo primero de la Resolución N° 009-2024-CEU-AU-UNH (16-12-2024), proclama como decano de la Facultad de Ciencias de Ingeniería al Dr. Víctor Guillermo Sánchez Araujo ganador en la elección realizada el día 11 de diciembre de 2024 en la Universidad Nacional de Huancavelica, por consiguiente, se acredita para todos los efectos legales y de representación, debiendo asumir sus funciones a partir del 03 de mayo del 2025 al 02 de mayo del 2029.

El artículo 1° de la ley de firmas y certificados digitales aprobado mediante Ley N° 27269 señala que la misma tiene por objetivo regular la utilización de las firmas electrónicas otorgándole la misma validez y eficacia jurídica que el uso de una firma manuscrita u otra análoga que conlleve manifestación de voluntad.

Que, según artículo 13° del reglamento de grados y títulos de la Universidad Nacional de Huancavelica versión 003, aprobado con resolución N° 1068-2024-CU-UNH, de fecha 13-09-2024, de la presentación y aprobación; a) El/los bachiller (s), egresado (s) o estudiante (s) presentara (n) un a solicitud dirigida al director de la Escuela Profesional, acompañado el proyecto de tesis en medio digital formato PDF, solicitando designación del asesor, debidamente ser un docente ordinario o contratado (A1 o B1) , el asesor y co-asesor pueden ser a propuesta del interesado. En caso de convenios o financiamientos con instituciones, un representante de dicha



Este es un documento auténtico imprimible de un elemento electrónico archivado en la Universidad Nacional de Huancavelica, siguiendo lo dispuesto por el Art. 25° del D.S. 070.2013-PCM y la Tercera Disposición Complementaria Final del D.S. 026-2016-PCM. Su autenticidad e integridad pueden ser verificados a través de la siguiente dirección. <https://appunh.com/validar-documento/56d8f4b5-a6b0-4c28-99fc-9b4b178f23c9/verificar>



UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCVELICA
FACULTAD DE CIENCIAS DE INGENIERÍA



Decanatura

RESOLUCIÓN N° 0170-2025-D-FCI-R-UNH

Huancavelica, 03 de junio de 2025.

institución realizaría las funciones del asesor o co-asesor; **c)** el director de escuela profesional notifica el proyecto de investigación al asesor para su revisión en el plazo máximo de quince días (15) días hábiles, debiendo este emitir un informe al director de escuela profesional dando a conocer el resultado de la evaluación, adjunto el proyecto en un medio digital. **d)** en caso de ser favorable, el director de Escuela profesional solicita al decano la designación de asesor y aprobación del proyecto de tesis, con resolución de decano; para ser notificado al responsable de investigación de la Escuela Profesional para su inscripción. **e) una vez emitida la resolución de aprobación del proyecto de tesis, el o los interesados procederán a ejecutar el proyecto cuya vigencia no excederá de tres años (presentación de la tesis a la escuela profesional) a partir de la fecha de la notificación de la resolución. Vencido dicho plazo el/los interesados deberán presentar un nuevo proyecto de tesis; según artículo 17°, funciones del asesor; a) velar por la calidad de la tesis; b) cumplir con los pazos establecidos en el presente reglamento; c) Asesor y velar el cumplimiento del desarrollo de la tesis por parte del o los asesorados hasta la sustentación; d) verificar la originalidad de la tesis con el software anti plagio oficial de la UNH y e) Aprobar el proyecto de tesis y la tesis, de ser pertinente;**

Que, con proveído N° 000899 de fecha 02-06-2025, el Decano de la Facultad de Ciencias de Ingeniería, autoriza al Secretario Docente emitir la resolución correspondiente.

Que, en uso de las atribuciones que le confieren al Decano y al amparo de la Ley Universitaria N° 30220 y el estatuto de la Universidad Nacional de Huancavelica.

SE RESUELVE

ARTÍCULO PRIMERO.- DESIGNAR al Dr. Fernando Martín Toribio Román, Asesor del proyecto de tesis titulado “ANÁLISIS DE LA DISPONIBILIDAD DE AGUA SUPERFICIAL DE LOS BOFEDALES DE LA CUENCA DEL RÍO ICHU Y SU RELACIÓN CON EL RIESGO DE SEQUÍAS EN LA CIUDAD DE HUANCVELICA, PARA EL AÑO 2025”, de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental y Sanitaria, Facultad de Ciencias de Ingeniería, Universidad Nacional de Huancavelica.

ARTÍCULO SEGUNDO.- APROBAR el proyecto de tesis titulado: “ANÁLISIS DE LA DISPONIBILIDAD DE AGUA SUPERFICIAL DE LOS BOFEDALES DE LA CUENCA DEL RÍO ICHU Y SU RELACIÓN CON EL RIESGO DE SEQUÍAS EN LA CIUDAD DE HUANCVELICA, PARA EL AÑO 2025”, presentado por **Jhon Everson De La Cruz Castro y Rober Soto Capani**, de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental y Sanitaria, Facultad de Ciencias de Ingeniería, Universidad Nacional de Huancavelica.



Este es un documento auténtico imprimible de un elemento electrónico archivado en la Universidad Nacional de Huancavelica, siguiendo lo dispuesto por el Art. 25° del D.S. 070.2013-PCM y la Tercera Disposición Complementaria Final del D.S. 026-2016-PCM. Su autenticidad e integridad pueden ser verificados a través de la siguiente dirección. <https://appunh.com/validar-documento/56d8f4b5-a6b0-4c28-99fc-9b4b178f23c9/verificar>





**UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCVELICA
FACULTAD DE CIENCIAS DE INGENIERÍA**



Decanatura

RESOLUCIÓN N° 0170-2025-D-FCI-R-UNH

Huancavelica, 03 de junio de 2025.

ARTÍCULO TERCERO. - **DERIVAR** la presente resolución a la Dirección de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental y Sanitaria, Facultad de Ciencias de Ingeniería, Universidad Nacional de Huancavelica, para su conocimiento y trámite correspondiente.

Regístrese, comuníquese y archívese. -----



Firmado digitalmente por SANCHEZ
ARAUJO Victor Guillermo FAU
20168014962 soft
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 04.06.2025 08:19:42 -05:00

Dr. Víctor Guillermo Sánchez Araujo
Decano
Facultad de Ciencias de Ingeniería



Firmado digitalmente por SAEZ
HUAMAN Wilfredo FAU 20168014962
soft
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 03.06.2025 19:15:25 -05:00

Dr. Wilfredo Sáez Huamán
Secretario Docente
Facultad de Ciencias de Ingeniería



Este es un documento auténtico imprimible de un elemento electrónico archivado en la Universidad Nacional de Huancavelica, siguiendo lo dispuesto por el Art. 25° del D.S. 070.2013-PCM y la Tercera Disposición Complementaria Final del D.S. 026-2016-PCM. Su autenticidad e integridad pueden ser verificados a través de la siguiente dirección.
<https://appunh.com/validar-documento/56d8f4b5-a6b0-4c28-99fc-9b4b178f23c9/verificar>



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCVELICA
FACULTAD DE CIENCIAS DE INGENIERÍA**



Decanatura

RESOLUCIÓN N° 0444-2025-D-FCI-R-UNH

Huancavelica, 01 de diciembre de 2025.

VISTOS:

Oficio N° 00702-2025-UNH/EPIAS (28-11-2025) proveído N° 001984 (28-11-2025) presentado por el Director de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental y Sanitaria, solicita renuncia al proyecto de tesis a favor de Rober Soto Capani de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental y Sanitaria, Facultad de Ciencia de Ingeniería, Universidad Nacional de Huancavelica y;

CONSIDERANDO:

Que, de conformidad a lo establecido por el artículo 18° de la Constitución Política del Estado, artículo 8° de la Ley Universitaria N° 30220: El Estado reconoce la autonomía universitaria. La autonomía inherente a las universidades, se ejerce de conformidad con lo establecido en la Constitución, la presente Ley y demás normativa aplicable. Esta autonomía se manifiesta en lo normativo, de gobierno, académico, administrativo y económico en el marco de la ley; artículo 37° del Estatuto: Las Facultades gozan de autonomía académica, normativa, gubernativa, administrativa y económica, dentro del marco de la Ley y el Estatuto;

Que, según el artículo primero de la Resolución N° 009-2024-CEU-AU-UNH (16-12-2024), proclama como decano de la Facultad de Ciencias de Ingeniería al Dr. Víctor Guillermo Sánchez Araujo ganador en la elección realizada el día 11 de diciembre de 2024 en la Universidad Nacional de Huancavelica, por consiguiente, se acredita para todos los efectos legales y de representación, debiendo asumir sus funciones a partir del 03 de mayo del 2025 al 02 de mayo del 2029.

Que, según el artículo 12 del reglamento de grados y títulos de la Universidad Nacional de Huancavelica (UNH) aprobado con Resolución N° 1068-2024-CU-UNH, de fecha 13-09-2024, versión 003, indica: El proyecto de tesis es elaborado por uno o dos bachilleres, egresados o estudiantes a partir del VIII ciclo de una misma Escuela Profesional (para el caso de la Escuela Profesional de Derecho y Ciencias Políticas a partir del X ciclo).

Que, según resolución N° 0170-2025-D-FCI-R-UNH, de fecha 03 de junio del 2025, en su artículo segundo; aprueba el proyecto de tesis titulado: "Análisis de la disponibilidad de agua superficial de los bofedales de la cuenca del río Ichu y su relación con el riesgo de sequías en la ciudad de Huancavelica, para el año 2025", presentado por **Jhon Everson De La Cruz Castro y Rober Soto Capani**, de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental y Sanitaria, Facultad de Ciencias de Ingeniería, Universidad Nacional de Huancavelica.

Que, según carta renuncia notarial S/N de fecha 27 de noviembre del 2025, el tesista Rober Soto Capani, renuncian al proyecto "Análisis de la disponibilidad de agua superficial de los bofedales de la cuenca del río Ichu y su relación con el riesgo de sequías en la ciudad de Huancavelica, para el año 2025".



Este es un documento auténtico imprimible de un elemento electrónico archivado en la Universidad Nacional de Huancavelica, siguiendo lo dispuesto por el Art. 25° del D.S. 070.2013-PCM y la Tercera Disposición Complementaria Final del D.S. 026-2016-PCM. Su autenticidad e integridad pueden ser verificados a través de la siguiente dirección: <https://appunh.com/validar-documento/d7e08287-efd4-43a8-86f8-8f3a99e0bf4d/verificar>



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAMELICA
FACULTAD DE CIENCIAS DE INGENIERÍA**



Decanatura

RESOLUCIÓN N° 0444-2025-D-FCI-R-UNH

Huancavelica, 01 de diciembre de 2025.

Que, mediante proveído N°001984 de fecha 28-11-2025, el Decano de la Facultad de Ciencias de Ingeniería, autoriza al Secretario Docente, la emisión de la resolución correspondiente.

Que, en uso de las atribuciones que le confieren al Decano y al amparo de la Ley Universitaria N° 30220 y el Estatuto de la Universidad Nacional de Huancavelica.

SE RESUELVE:

ARTÍCULO PRIMERO. - **ACEPTAR** la renuncia de Rober Soto Capani, al proyecto de tesis titulado “**Análisis de la disponibilidad de agua superficial de los bofedales de la cuenca del río Ichu y su relación con el riesgo de sequías en la ciudad de Huancavelica, para el año 2025**”, de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental y Sanitaria, Facultad de Ciencias de Ingeniería, Universidad Nacional de Huancavelica.



ARTICULO SEGUNDO. - **DERIVAR** la presente resolución a la Dirección de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental y Sanitaria, Facultad de Ciencias Ingeniería, para su conocimiento y fines pertinentes.



Regístrese, comuníquese y archívese. -----



Firmado digitalmente por SANCHEZ
ARAUJO Víctor Guillermo FAU
20168014962 soft
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 01.12.2025 15:22:03 -05:00

Dr. Víctor Guillermo Sánchez Araujo
Decano
Facultad de Ciencias de Ingeniería



Firmado digitalmente por SAEZ
HUAMAN Wilfredo FAU 20168014962
soft
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 01.12.2025 11:23:10 -05:00

Dr. Wilfredo Sáez Huamán
Secretario Docente
Facultad de Ciencias de Ingeniería



Este es un documento auténtico imprimible de un elemento electrónico archivado en la Universidad Nacional de Huancavelica, siguiendo lo dispuesto por el Art. 25° del D.S. 070.2013-PCM y la Tercera Disposición Complementaria Final del D.S. 026-2016-PCM. Su autenticidad e integridad pueden ser verificados a través de la siguiente dirección.
<https://appunh.com/validar-documento/d7e08287-efd4-43a8-86f8-8f3a99e0bf4d/verificar>



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCVELICA
FACULTAD DE CIENCIAS DE INGENIERÍA**



Decanatura

RESOLUCIÓN N° 0189-2026-D-FCI-R-UNH

Huancavelica, 23 de abril de 2026.

VISTOS

Oficio N° 000200-2026-UNH/EPIAS (21-03-2025) proveído N° 000684 (23-04-2026) presentado por el Director de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental y Sanitaria, solicita modificación de la Resolución N° 170-2025-D-FCI-R-UNH (03-06-2025) cambio de título del proyecto de tesis de la Escuela Profesional Ingeniería Ambiental y Sanitaria, Facultad de Ciencias de Ingeniería, Universidad Nacional de Huancavelica y;

CONSIDERANDO

Que, de conformidad con lo previsto por el artículo 18° de la Constitución Política del Perú y el artículo 8° de la Ley Universitaria N°30220. Cada universidad es autónoma en su régimen normativo, de gobierno, académico, administrativo y económico. Las universidades se rigen por sus propios estatutos en el marco de la Constitución y de las Leyes; y; El Estado reconoce la autonomía universitaria. La autonomía inherente a las universidades se ejerce de conformidad con lo establecido en la Constitución, respetiva.

Que conforme al artículo 15° del Estatuto de la UNH, reformado con Resolución N°004-2026-AU-UNH (19.02.2026); establece que, la autonomía es inherente a la UNH; se ejerce de conformidad con la Constitución Política del Perú, la Ley Universitaria y demás normas. La autonomía es reconocida por el Estado y se manifiesta en los siguientes regímenes normativo gubernativo, académico, administrativo y económico.

Que, conforme al artículo 37 de la norma antes citada establece que las facultades gozan de autonomía académica, normativa, gubernativa, administrativa y económica, dentro del marco de la Ley y el Estatuto.

Que, según el artículo 18° del reglamento de grados y títulos de la Universidad Nacional de Huancavelica versión 1, aprobado con resolución N° 0430-2026-CU-UNH, de fecha 06-04-2026, La modificación del título de la tesis se realiza únicamente hasta antes de la emisión de la resolución de lugar y hora de sustentación. La modificación procede a solicitud de los tesisistas, previo informe elaborado y suscrito por el presidente del jurado de acuerdo al anexo 03, y se aprueba mediante resolución del Decano.

Que, según la Resolución N° 170-2025-D-FCI-R-UNH, de fecha 03 de junio del 2025, en su artículo segundo.- Se aprueba el proyecto de tesis titulado: "ANÁLISIS DE LA DISPONIBILIDAD DE AGUA SUPERFICIAL DE LOS BOFEDALES DE LA CUENCA DEL RÍO ICHU Y SU RELACIÓN CON EL RIESGO DE SEQUÍAS EN LA CIUDAD DE HUANCVELICA, PARA EL AÑO 2025", presentado por Jhon Everson De La Cruz Castro y Rober Soto Capani, de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental y Sanitaria, Facultad de Ciencias de Ingeniería, Universidad Nacional de Huancavelica.



Este es un documento auténtico imprimible de un elemento electrónico archivado en la Universidad Nacional de Huancavelica, siguiendo lo dispuesto por el Art. 25° del D.S. 070.2013-PCM y la Tercera Disposición Complementaria Final del D.S. 026-2016-PCM. Su autenticidad e integridad pueden ser verificados a través de la siguiente dirección: <https://appunh.com/validar-documento/26cf9c4d-f5f6-4771-96c4-1f4560ebe711/verificar>



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCVELICA
FACULTAD DE CIENCIAS DE INGENIERÍA**



Decanatura

RESOLUCIÓN N° 0189-2026-D-FCI-R-UNH

Huancavelica, 23 de abril de 2026.

Que, según la Resolución N°0444-2025-D-FCI-R-UNH, de fecha 01 de diciembre del 2025 en su artículo primero. - se acepta la renuncia de Rober Soto Capani, al proyecto de tesis titulado “Análisis de la disponibilidad de agua superficial de los bofedales de la cuenca del río Ichu y su relación con el riesgo de sequías en la ciudad de Huancavelica, para el año 2025”, de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental y Sanitaria, Facultad de Ciencias de Ingeniería, Universidad Nacional de Huancavelica.

Que, con proveído N° 000684 de fecha 23-04-2026, el Decano de la Facultad de Ciencias de Ingeniería, autoriza al Secretario Docente emitir la resolución correspondiente.

Que, en uso de las atribuciones conferidas al Decano (a) por la Ley Universitaria, el Estatuto de la UNH, y la Resolución del Comité Electoral Universitario N°009-2024-CEU-AU-UNH (16-12-2024), que lo acredita como autoridad.



SE RESUELVE

ARTÍCULO PRIMERO.- MODIFICAR el artículo primero y segundo de la Resolución N° 170-2025-D-FCI-R-UNH (03-06-2025) en el que se consigna el cambio de título del proyecto de tesis titulado “DISPONIBILIDAD HÍDRICA DE BOFEDALES DE LA CUENCA RÍO ICHU Y SU RELACIÓN CON SEQUÍAS PARA LA CIUDAD DE HUANCVELICA, 2025”, presentado por **Jhon Everson De La Cruz Castro** de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental y Sanitaria, Facultad de Ciencias de Ingeniería, Universidad Nacional de Huancavelica.



ARTÍCULO SEGUNDO .- DEJAR a salvo y subsistente los demás términos de la resolución.

ARTÍCULO TERCERO. - DERIVAR la presente resolución a interesado, Dirección de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental y Sanitaria, Unidad Funcional de Gestión de Grados y Títulos, Facultad de Ciencias de Ingeniería, Universidad Nacional de Huancavelica, para su conocimiento y trámite correspondiente.



Regístrese, comuníquese y archívese. -----



Firmado digitalmente por SANCHEZ
ARAUJO Víctor Guillermo FAU
20168014962 soft
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 23.04.2026 17:26:31 -05:00

Dr. Víctor Guillermo Sánchez Araujo
Decano
Facultad de Ciencias de Ingeniería



Firmado digitalmente por SAEZ
HUAMAN Wilfredo FAU 20168014962
soft
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 23.04.2026 17:22:47 -05:00

Dr. Wilfredo Sáez Huamán
Secretario Docente
Facultad de Ciencias de Ingeniería



Este es un documento auténtico imprimible de un elemento electrónico archivado en la Universidad Nacional de Huancavelica, siguiendo lo dispuesto por el Art. 25° del D.S. 070.2013-PCM y la Tercera Disposición Complementaria Final del D.S. 026-2016-PCM. Su autenticidad e integridad pueden ser verificados a través de la siguiente dirección. <https://appunh.com/validar-documento/26cf9c4d-f5f6-4771-96c4-1f4560ebe711/verificar>