UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LOS ANDES

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL: INGENIERÍA CIVIL

TESIS

Evaluación del balance hídrico presente y futuro en la cuenca del rio Mariño bajo escenarios del cambio climático utilizando el modelo SWAT, Abancay -Apurímac, 2024

Asesor:

MSc. Saavedra Ore, Danny Daniel

Autores:

Aguilar Pillaca, Zulma

Chipa Cáceres, Juan Daniel

Para optar el título profesional: Ingeniero Civil

Abancay – Apurímac – Perú

2025

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LOS ANDES

FACULTAD DE INGENIERIA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

Acta N°: 024

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TÍTULO PROFESIONAL

En la ciudad de Abancáy, a los veintidós (22) días del mes de junio del 2026, siendo las 11:00 am horas, se reunieron los integrantes del Jurado designado por Resolución Directoral N° 0477-2026-EPIC-FI-UTEA-SA de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería:

Presidente	:	Mag. ROLDÁN JUÁREZ, Américo
Dictaminante	:	Dra. VERA TEVES, Rosa Marina
Replicante	:	Mag. MALDONADO MENDÍVIL, Angel

Para evaluar la sustentación, en la modalidad de:

☒ Tesis ☐ Trabajo de suficiencia profesional

Titulada: **Evaluación del balance hídrico presente y futuro en la cuenca del rio Mariño bajo escenarios del cambio climático utilizando el modelo Swat, Abancay-Apurimac, 2024.**

Desarrollado por el (los) Bachiller (es):

Br.: **AGUILAR PILLACA, Zulma**

Br.: **CHIPA CÁCERES, Juan Daniel**

Para optar el Tituló Profesional de:

Ingeniero Civil

Concluido el acto, el Jurado dictaminó que el (la) (los) mencionado(a) (s) bachiller (es) fue (ron) APROBADO(S) ☒ o DESAPROBADO(S) ☐:

Emitiéndose el calificativo final de:

Bachiller	Nota	Detalle (**)
Br. AGUILAR PILLACA, Zulma	13	APROBADO
Br. CHIPA CÁCERES, Juan Daniel	13	APROBADO

Siendo las 12:40 horas concluyó la sesión, firmando los integrantes del Jurado.

Presidente: Mag. ROLDÁN JUÁREZ, Américo (.....)

Dictaminante: Dra. VERA TEVES, Rosa Marina (.....)

Replicante: Mag. MALDONADO MENDÍVIL, Angel (.....)

Nota: Desaprobado: 0-10; **Aprobado:** 11-20

(**): 0 a 10: Desaprobado, 11 a 15: Aprobado, 16 a 18: Aprobado Notable, 19 y 20: Aprobado con Distinción, Art. 18 RGGAT.

20% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- Coincidencias menores (menos de 10 palabras)

Fuentes principales

19% Fuentes de Internet
7% Publicaciones
0% Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

Metadatos

Datos del autor		
Apellidos y nombres	:	Aguilar Pillaca, Zulma
		Chipa Cáceres, Juan Daniel
Tipo de documento de identidad	:	DNI
Numero de documento de identidad	:	75485157 70072565
URL de ORCID	:	https://orcid.org/0009-0005-1585-3035
		https://orcid.org/0009-0002-2143-5962
Datos del asesor		
Apellidos y nombres	:	MSc. Saavedra Ore, Danny Daniel
Tipo de documento de identidad	:	DNI
Número de documento de identidad	:	72846831
URL de ORCID	:	https://orcid.org/0000-0002-3579-183X
Datos de la investigación		
Facultad	:	Ingeniería
Escuela profesional	:	Ingeniería civil
Línea de investigación	:	Gestión de la infraestructura para el desarrollo sostenible
Rango de años en que se realizó la investigación	:	2024 - 2025
Fuente de financiamiento	:	Autofinanciado
Porcentaje de similitud	:	20 % con deposito
URL de OCDE	:	https://purl.org/pe-repo/ocde/ford# 2.01.01

Dedicatoria

Dedico esta tesis a mis padres Adrián Aguilar y Carlota Pillaca, por su esfuerzo, sabiduría y arduo trabajo me educaron y forjaron la persona que soy ahora, a mis hermanos Yulisa, Edmer y André, que me brindaron todo su apoyo incondicional, por ser mis compañeros, amigos y cómplices de vida. A Cristian que desde el cielo me cuida y me guía mi camino día a día. Y a ti Juan Daniel por el esfuerzo de sacar adelante la tesis.

Zulma aguilar pillaca

Dedico este logro a la memoria de mi padre Daniel Chipa, cuya fuerza y amor me acompañan en cada paso de la vida, a mi madre Sabina Cáceres, hermanas y sobrinos por ser el pilar de mi formación, A mi compañera de vida y de proyectos Zulma. A mi asesor MSc. Danny Daniel por su guía y por su paciencia, a mis amigos cercanos y a la memoria de Cristhian Munares, donde quiera que estés sé que nos guías. Y a todas las personas que de alguna forma u otra hicieron parte de este proyecto. Mil gracias.

Juan Daniel Chipa Cáceres.

Agradecimiento

Primeramente, damos gracias a Dios, por cuidarnos y darnos la fortaleza cada día, a nuestros padres, hermanos y amigos, que nos acompañaron, nos aconsejaron y nos apoyaron y encaminaron en nuestra vida profesional.

A nuestro asesor de tesis MSc. Danny Daniel Saavedra Ore, por guiarnos en este difícil proceso. Su orientación y apoyo han sido fundamentales para concluir satisfactoriamente esta tesis, y alcanzar nuestros objetivos.

A nuestros docentes de la escuela profesional de ingenia civil, quienes con dedicación, conocimiento y paciencia han sido pilares fundamentales de nuestra formación profesional.

Resumen

Con el fin de evaluar el balance hídrico presente y fututo bajo escenarios del cambio climáticos en la cuenca del rio Mariño. A través de un diseño no experimental – descriptivo. Se empleo el modelo hidrológico SWAT para cuantificar la oferta y la demanda de agua. Se incorporaron variables de crecimiento demográfico (r=1.97%), y demandas sectoriales (agrícola y poblacional) las mismas que fueron corroboradas con la oferta simulada con escenarios de emisiones SSP2-4.5 Y SSP5-8.5, abarcando los horizontes temporales (2035-2065 y 2069-2099). Los resultados muestran que la población llegara a 211,085 habitantes para el año 2099, incrementado la demanda doméstica de 245.96 lt/s (año base 2023) a 614.20 lt/s, y la demanda de riego de 11.27 m^3/s a 16.96 m^3/s, la oferta hídrica proyectada alcanza valores entre 14-17 m^3/s (SSP2-4.5) Y 13-18 m^3/s (SSP5-8.5), manteniendo una marcada estacionalidad, con caudales mínimos entre mayo y agosto. Esto genera superávit durante los meses lluviosos (enero-marzo) y déficit hídrico persistente en la estación seca. Los hallazgos confirman que la cuenca enfrentara estrés hídrico creciente hacia finales del siglo, producto de la presión demográfica y la variabilidad climática negativa. Estos resultados subrayan la urgencia de establecer políticas de gestión hídrica resilientes. La implementación de medidas de adaptación no es solo una recomendación técnica, sino una necesidad critica para prevenir crisis de desabastecimiento en la cuenca del rio Mariño.

Palabras clave: cambio climático, balance hídrico, oferta hídrica, demanda hídrica, escenarios climáticos SSP, estrés hídrico.

Abstract

This thesis aimed to evaluate the present and future water balance under climate change scenarios in the Mariño River basin. A non-experimental, descriptive design was used for the methodology. Water supply and demand under climate change scenarios were determined using the SWAT hydrological model. The methodology included projecting water demand based on population growth (r=1.97%), estimating domestic and agricultural consumption, and hydrological modeling for the SSP2-4.5 and SSP5-8.5 climate scenarios for the periods 2035-2065 and 2069-2099. The results show that the population will reach 211,085 inhabitants by 2099, increasing domestic demand from 245.96 L/s (base year 2023) to 614.20 L/s, and irrigation demand from 11.27 m^3/s to 16.96 m^3/s. The projected water supply reaches values between 14-17 m^3/s (SSP2-4.5) and 13-18 m^3/s (SSP5-8.5), maintaining a marked seasonality, with minimum flows between May and August. This generates a surplus during the rainy months (January-March) and a persistent water deficit in the dry season. Taken together, the results show that the basin will face increasing water stress towards the end of the century, due to higher demand and seasonal reductions in supply, highlighting the need to implement management and adaptation strategies to ensure the sustainability of water resources in Abancay.

Keywords: climate change, water balance, water supply, water demand, SSP climate scenarios, water stress.

Índice general

Portada i

Acta de sustentación ii

Reporte de Similitud iii

Metadatos iv

Dedicatoria v

Agradecimiento vi

Resumen vii

Abstract viii

Índice general ix

Índice de tablas xii

Índice de figuras xiii

Índice de anexos xv

I. Introducción 16

II. Planteamiento del problema 18

2.1. Descripción y formulación de problema 18

2.1.1. Problema general 19

2.1.2. Problemas específicos 19

2.2. Objetivos 19

2.2.1. Objetivo general 19

2.2.2. Objetivos específicos 20

2.3. Justificación e importancia 20

2.4. Hipótesis 21

2.4.1. Hipótesis general 21

2.4.2. Hipótesis especificas 21

2.5. Variables 22

III. Marco teórico 23

3.1. Antecedentes 23

3.2. Bases teóricas 31

3.2.1. Ciclo hidrológico 31

3.2.2. Balance hídrico 32

3.2.3. Oferta hídrica 33

3.2.5. Demanda de agua 41

3.2.6. Impactos del cambio climático 45

3.2.7. Modelo SWAT 50

3.2.8. Producto grillado pisco 54

3.2.9. Análisis de sensibilidad 54

3.3. Definición de términos 55

IV. Metodología 58

4.1. Tipo y nivel de investigación 58

4.1.1. Tipo de investigación 58

4.1.2. Nivel o alcance de investigación 58

4.2. Diseño de investigación 58

4.3. Ámbito temporal y espacial 58

4.3.1. Temporal 58

4.3.2. Espacial 58

4.4. Población y muestra 59

4.5. Instrumentos 59

4.6. Procedimientos 60

4.7. Análisis de datos 65

4.8. Consideraciones éticas 66

V. Resultados y discusión 67

5.1. Resultados 67

5.1.1. Análisis de sensibilidad (en base de la cuenca santa rosa) ... 67

5.1.2. Modelación en la cuenca del rio Mariño 68

5.1.3. Demanda de agua 77

5.1.6. Cambio climático 88

5.1.6.1. Impacto del cambio climático en la temperatura y precipitación 93

5.1.6.2. Impacto del cambio climático en los caudales 98

5.1.7. Balance hídrico en la cuenca del rio Mariño 102

5.2. Discusión de resultados 106

VI. Conclusiones 110

VII. Recomendaciones 112

VIII. Referencias 114

IX. Anexos 122

Índice de tablas

Tabla 1 Matriz de operacionalización de variables 22

Tabla 2 *Parámetros clasificados por sensibilidad en SWAT* 54

Tabla 3 *Parámetros en la cuenca del rio Mariño* 61

Tabla 4 *Descripción de datos utilizados* 63

Tabla 5 *Parámetros sensibles para evaluación de modelos hidrológicos* 67

Tabla 6 *Población de la provincia de Abancay* 78

Tabla 7 *Tasa de crecimiento poblacional* 78

Tabla 8 *Proyección de la población de la provincia de Abancay* 79

Tabla 9 *Consumos asignados por categoría* 83

Tabla 10 *Demanda poblacional* 83

Tabla 11 *Demanda de consumo de agua* 83

Tabla 12 *Consumo de agua para riego* 87

Tabla 13 *Selección de los GCM* 89

Tabla 14 *Cambio climático anual* 90

Tabla 15 *Cambio climático mensual de precipitación (%) en el escenario SSP245* 90

Tabla 16 *Cambio climático mensual de precipitación (%) en el escenario SSP585* 91

Tabla 17 *Cambio climático mensual de temperatura en el escenario SSP245* 91

Tabla 18 *Cambio climático mensual de temperatura en el escenario SSP585* 92

Índice de figuras

Figura 1 Representación hidrológica 32

Figura 2 *Esquema conceptual del balance hídrico en el modelo SWAT* 33

Figura 3 *Escala de la velocidad del viento de Beaufort*.....37

Figura 4 *Estación climatología de los parámetros meteorológicos*.....39

Figura 5 *Evapotranspiración del cultivo* 40

Figura 6 Anomalías de temperatura de cambio climático.....47

Figura 7 *Selección de GCM*.....49

Figura 8 *Ciclo hidrológico del modelo swat*.....51

Figura 9 *Componentes del modelo SWA*.....52

Figura 10 *Delimitación de la cuenca del rio Mariño*.....61

Figura 11 *Diagrama del SWAT*.....65

Figura 12 *Histograma y grafico de dispersión de Calibración y validación de la cuenca santa rosa*.....69

Figura 13 *Histograma y grafico de dispersión de caudales simulado y caudal de Pisco en la cuenca del rio Mariño*.....70

Figura 14 *Distribución de rendimiento hídrico en la cuenca del rio Mariño periodo (1983-2015)*.....72

Figura 15 *Distribución de precipitación en la cuenca del rio Mariño periodo (1983-2015)*.....73

Figura 16 *Distribución de percolación en la cuenca del rio Mariño periodo (1983-2015)*.....74

Figura 17 *Distribución de humedad del suelo en la cuenca del rio Mariño periodo (1983-2015)*.....75

Figura 18 *Distribución de evapotranspiración en la cuenca del rio Mariño periodo (1983-2015)*.....76

Figura 19 *Distribución de escorrentía en la cuenca del rio Mariño periodo (1983-2015)*.....77

Figura 20 *Curva de crecimiento poblacional de la zona urbana de la ciudad de Abancay* 82
Figura 21 *Selección de los GCM´s* 88
Figura 22 *Cambios de tempera y precipitación en el escenario SSP2-4.5-periodo 1* 94
Figura 23 *Cambios de temperatura y precipitación en el escenario SSP2-4.5-periodo 2* 94
Figura 24 *Cambios de temperatura y precipitación en el escenario SSP5-8.5-periodo 1* 95
Figura 25 *Cambios de temperatura y precipitación en el escenario SSP2-4.5-periodo 2* 96
Figura 26 *Caudales en el escenario optimista del periodo 1* 98
Figura 27 *Caudales en el escenario optimista del periodo 1* 99
Figura 28 *Caudales en el escenario pesimista del periodo 2* 100
Figura 29 *Caudales en el escenario pesimista del periodo 2* 101
Figura 30 *Balance hídrico del escenario optimista periodo 1* 102
Figura 31 *Balance hídrico del escenario optimista periodo 1* 103
Figura 32 *Balance hídrico del escenario pesimista periodo 2* 104
Figura 33 *Balance hídrico del escenario pesimista periodo 2* 105

Índice de anexos

Anexo 2 *Matriz de consistencia* 123

Anexo 3 *Matriz de operacionalización de variables* 124

Anexo 4 *Infograma de la matriz de operacionalización de variables* 126

Anexo 5 *Interfaz de la plataforma QSWAT* 127

Anexo 6 *Interfaz de la plataforma de RStudio*.....128

Anexo 7 *Solicitud de datos a EMUSAP-ABANCAY* 129

Anexo 8 *Código de valores de las clases de cobertura y uso de suelo*.....130

Anexo 9 *Generación de los HRUS, en el modelo hidrológico SWAT* 131

Anexo 10 *Resumen de la modelación SWAT* 132

Anexo 11 *Panel fotográfico*.....133

I. Introducción

En el presente, la seguridad hídrica es un pilar fundamental de la agenda internacional, ante la presión ejercida por la expansión urbana y el dinamismo de los sectores productivos. Ante la fragilidad de los ecosistemas y la incertidumbre climática, surge la urgencia de optimizar la gestión institucional del agua. Se requiere, por tanto, el desarrollo de estrategias de mitigación ambiental y adaptación que aseguren la disponibilidad del recurso frente a los crecientes déficits de oferta hídrica.

Para el diagnóstico de la dinámica hídrica superficial en la unidad hidrográfica del Mariño, se empleó el software SWAT. Al respecto, Arnold et al., (1998) señala que “Esta herramienta fue seleccionada por que tiene la capacidad de simular el balance de manera distribuida espacialmente, integrando variables como las características del suelo, cobertura vegetal, topografía y los datos climáticos clima” (p. 73).

El empleo de SWAT como instrumento de modelización integral permite abordar la complejidad hidrológica de las cuencas con un alto grado de confianza. Este respaldo proviene, según Gassman & Reyes (2007), de su constante validación en proyectos de investigación de alto impacto. La literatura técnica resalta que el modelo mantiene su capacidad predictiva en escenario climáticos diversos, lo que hace idóneo para analizar el balance hídrico en regiones con características hidrológicas variables como áreas de estrés hídrico crónico.

La investigación tiene como objeto determinar tanto el estado actual como la dinámica futura de las reservas de agua. Por lo que busca cuantificar los componentes del ciclo hidrológico en el presente, utilizando esta base para simular, usando modelos de crisis climática, estudiaremos la tendencia del potencial hídrico superficial a través de los años proyectados.

La estructura de la tesis se desarrolla en nueve capítulos: en el capítulo I iniciamos con la introducción; en el capítulo II se describe de forma detallada la realidad problemática,

objetivos, justificación, hipótesis y las variables; en el capítulo III se presenta los antecedentes, bases teóricas detalladas y la definición de términos que sustentas la tesis. en el capítulo IV encontramos el sustento metodológico, detallando el tipo y nivel de investigación, de la misma forma la población y muestra, los instrumentos utilizados, procedimiento, análisis de datos estadísticamente y un breve detalle de las condiciones éticas de la investigación. en el capítulo V se describen los resultados y discusión de resultados. en los capítulos VI, VII y VIII se detallan las conclusiones, recomendaciones, referencias y así mismo se adjuntan los anexos de la tesis.

II. Planteamiento del problema

2.1. Descripción y formulación de problema

A nivel mundial la estabilidad ecológica y la mejora en los estándares de vida dependen intrínsecamente de la gestión de los recursos hídricos (Goswami, 2017). Para medir esta mejora se evalúa la seguridad hídrica, que se define según el banco mundial (2023), como “la disponibilidad de una cantidad y calidad aceptable de agua para la salud, los medios de vida, los ecosistemas y la producción, junto con un nivel aceptable de riesgos relacionados con el agua para las personas, el medio ambiente y la economía” (p. 1).

El Perú, es el modelo más evidente de cómo pueden ser los impactos climáticos. Considerando su larga y rica trayectoria, su geografía que contiene la mayor parte de las zonas climáticas de la tierra, su extraordinaria biodiversidad y su gran topografía, el territorio debe dejar a los responsables de las políticas públicas reconsiderar las cuestiones de los cambios medioambientales que amenazan el uso de las tierras, la disponibilidad del agua, la producción de alimentos, etc. Eliminar un % muy superior de las emisiones mundiales de gases de efecto invernadero. Es posible que el cambio climático ya tenga en el Perú efectos severos. Sin ninguna reducción de las emisiones, podrían incluso aparecer desafíos nuevos, así como una disminución casi total de los glaciares y la declinación de la selva amazónica (Schellnhuber & Baca, 2021).

En el censo del año 2017, elaborado por el INEI (instituto nacional de estadística e informática), existe un aumento de la población en la ciudad de Abancay, siendo así Abancay la segunda provincia más poblada de Apurímac, con un total de 110 mil 520 habitantes, habiéndose presentado una expansión urbana horizontal y vertical, aumentando el uso consuntivo de agua (INEI, 2017).

Actualmente, la cuenca del rio Mariño enfrenta un riesgo de desabastecimiento de agua. Ya que la presión de la población y el cambio climático están provocando las condiciones para que estas situaciones se produzcan. Existen factores que agravan el riesgo de escasez de agua, como la deforestación, el cambio de uso de suelo y el

calentamiento; que afectaran gravemente al consumo humano y agrario. Las consecuencias proyectadas son críticas: pérdida de biodiversidad, alteración estacional de lluvias y eventos de estiaje extremos. Ante este escenario, la investigación evalúa la oferta y demanda de agua mediante el modelo hidrológico SWAT. Se analizan dos trayectorias: una moderado (SSP2-4.5) y otra pesimista (SSP5-8.5), caracterizada por un aumento drástico de las emisiones de gases de efecto invernadero. A través de este trabajo se busca proporcionar la estimación técnica más correcta y precisa del recurso hídrico para aportar niveles de evidencia científica básica a la planificación y gestión resiliente del agua para el cambio climático, futuro e inevitable.

2.1.1. Problema general

¿Cuál es el balance hídrico presente y futuro en la cuenca del rio Mariño bajo escenarios del cambio climático utilizando el modelo SWAT, Abancay - Apurímac, 2024?

2.1.2. Problemas específicos

- ✓ ¿Cuál es la demanda hídrica de consumo humano y riego (presente y futuro), bajo escenarios del cambio climático en la cuenca del río Mariño, Abancay - Apurímac, 2024 bajo escenarios de cambio climático?
- ✓ ¿Cuál es la oferta hídrica presente y futuro en la cuenca del río Mariño bajo escenarios de cambio climático utilizando el modelo SWAT, Abancay - Apurímac, 2024?
- ✓ ¿Cómo afectan los tipos de emisiones de gases de efecto invernadero en el balance hídrico presente y futuro en la cuenca del río Mariño, Abancay - Apurímac, 2024?

2.2. Objetivos

2.2.1. Objetivo general

Evaluar el balance hídrico presente y futuro en la cuenca del rio Mariño bajo escenarios del cambio climático utilizando el modelo SWAT, Abancay - Apurímac, 2024.

2.2.2. Objetivos específicos

- ✓ Determinar la demanda hídrica de consumo humano y riego (presente y futuro), bajo escenarios del cambio climático en la cuenca del río Mariño, Abancay - Apurímac, 2024.
- ✓ Determinar la oferta hídrica presente y futuro en la cuenca del río Mariño bajo escenarios de cambio climático utilizando el modelo SWAT, Abancay-Apurímac, 2024.
- ✓ Determinar Cómo afectan los tipos de emisiones de gases de efecto invernadero y su influencia en el balance hídrico presente y futuro en la cuenca del río Mariño, Abancay - Apurímac, 2024.

2.3. Justificación e importancia

- ✓ **Metodológica**

Este estudio propone una metodología integrada y reproducible que combina diversas herramientas y enfoques como son: la modelación hidrológica robusta del modelo SWAT, el análisis de escenarios climáticos con proyecciones regionalizadas de SENAMHI o utilizando modelos climáticos globales (CMIP6) para proyectar escenarios futuros; la validación de los datos observados, mediante estaciones meteorológicas e hidrométricas para la calibración y validación el modelo.

- ✓ **Justificación practica**

A través de esta investigación, se generará herramientas y productos que servirán para optimizar la gestión hídrica (GIRH) en la región. Los productos principales son la cartográfica de vulnerabilidad hídrica destinada a localizar sectores en peligro y el análisis prospectivo de las brechas existentes entre la oferta y la demanda de agua. Además de la identificación de los periodos más críticos de estrés hídrico que sentará las bases para un posible sistema de alerta temprana dirigido a los sectores agrícola y sectores de consumo de agua potable.

- ✓ **Justificación social**

El valor de este trabajo radica en generar información estratégica sobre el ciclo hidrológico ante el crecimiento de la ciudad de Abancay. Al proteger la integridad de la cuenca, se resguarda el sector agrícola, actividad que garantiza el sustento económico y alimentario de miles de hogares apurimeños. Por otro lado, desde una lectura equitativa de los escenarios del futuro de la cuenca perite una gestión responsable que considere el derecho al agua de las generaciones futuras en la región.

- ✓ **Importancia de la tesis**

La realización de esta investigación es altamente significativa, dado que generara información fundamental para planes y/o proyectos futuros, en tanto que el desarrollo de una parte importante del trabajo se versa en conocer la oferta y demanda a corto y largo plazo, el estudio debe permitir llevar a cabo una gestión ordenada y sostenible del agua en la cuenca Mariño.

2.4. Hipótesis

2.4.1. Hipótesis general

Los escenarios del cambio climático influyen de manera negativa en la evaluación del balance hídrico presente y futuro en la cuenca del rio Mariño utilizando el modelo SWAT, Abancay - Apurímac, 2024.

2.4.2. Hipótesis especificas

- La demanda hídrica de consumo humano y riego (presente y futuro), bajo escenarios del cambio climático incrementara en la cuenca del río Mariño, Abancay, Apurímac, 2024.
- La oferta hídrica presente y futuro en la cuenca del río Mariño disminuirá bajo escenarios de cambio climático utilizando el modelo SWAT, Abancay, Apurímac, 2024.

- Los tipos de emisiones de gases de efecto invernadero tendrán efectos negativos en el balance hídrico presente y futuro en la cuenca del rio Mariño, Abancay, Apurímac, 2024.

2.5. Variables

Variable 1

Escenarios del cambio climático

Variable 2

Balance hídrico presente y futuro

Tabla 1

Matriz de operacionalización de variables

Variables		Definición conceptual	Definición operacional	dimensiones	indicadores	instrumentos
Variable 1	**Escenarios del cambio climático**	Se refiere a la descripción coherente y plausible de un posible estado futuro del mundo, basados en posibles emisiones de gases de efecto invernadero. (Orellana, 2013)	Se mide mediante datos cuantitativos construido a partir de proyecciones numéricos del conjunto multi-modelo CMIP6 bajo forzamientos SSP-RCP.	Calentamiento global	Aumento de la temperatura media global	Estaciones meteorológicas, Estaciones satelitales, modelos climáticos globales, proyecciones climáticas CMIP6, modelos climáticos regionales.
					Fenómenos meteorológicos extremos	
				tipos de emisiones de gases de efecto invernadero	Forzamiento radiactivo	
					CO_2 equivalente	
					Concentraciones atmosféricas	
Variable 2	**Balance hídrico presente y futuro**	Es el balance de agua para un determinado lugar. Cuantificando las entradas y salidas de agua de un sistema, durante un periodo de tiempo, buscando el equilibrio (Silva, 2005)	Se medirá mediante la cuantificación numérica de los elementos del balance hídrico en la cuenca, utilizando datos hidro climáticos y proyecciones climáticas.	Demanda hídrica	evapotranspiración	registros de consumo de EMUSAP Abancay y encuetas del INEI
					uso de agua domestica	
					Uso de agua agrícola	
					Demanda de agua	
				Oferta hídrica	precipitación	Registros de estaciones meteorológicas de SENAMHI y EMUSAP Abancay
					Caudales de ríos	

Nota. Elaboración propia

III. Marco teórico

3.1. Antecedentes

✓ A nivel internacional

Solarte et al. (2025), desarrolla la siguiente investigación denominado “Evaluación del modelo hidrológico SWAT bajo diferentes escenarios de uso de suelo en la microcuenca Peñas Blancas, Nariño-Colombia”, se tiene como propósito desarrollar la simulación de la respuesta hidrológica con el modelo SWAT en la microcuenca del rio Peñas Blancas, ubicada en la localidad de Tangua (Departamento de Nariño-Colombia), bajo escenarios de uso y cobertura de suelo. Lo cual implica comparar el comportamiento hidrológico observado actual (referente al año 2013) con reconstrucciones pasadas (año 1989) y proyecciones futuras hipotéticas que se denominaron escenario 2 y escenario 3, los que representan configuraciones alternativas de ocupación de territorio. De acuerdo con los resultados, el caudal promedio más elevado es 1.70 m^3/s que corresponde al escenario del año 1989, que presenta mayor cobertura en el páramo y subpáramo. El escenario 2, con mayor área de bosque y pastos, mostro un caudal de 1.39m^3/s. el caudal más bajo se presentó en el escenario del año 2013 (0.63 m^3/s) y en mayor medida, en el escenario futuro 3 (0.45 m^3/s). Esta importante disminución de debe a cambios de coberturas naturales como bosque, paramo, subpáramo y pastos por la adición de áreas cultivadas. Como conclusión, la capacidad de la microcuenca para producir agua corriente fue optima en el escenario de 1989, donde se vio un predominio de ecosistemas de paramo y subpáramo, esto a su vez se registró un mayor caudal medio. Por el contrario, la perdida de esta superficie de coberturas vegetales y su conversión a tierras agrícolas, como se observan dentro de los escenarios presente y futuro, llevo a una disminución considerable en la producción de la escorrentía.

Fernández et al., (2025), en su investigación “La oferta hídrica del río Zulia en Colombia ante dos escenarios del cambio climático”, el objetivo de la investigación fue

analizar el cambio climático y evaluar el cambio en la oferta hídrica del río Zulia utilizando dos escenarios del modelo CMIP6, los modelos SSP5-8.5 y SSP2-4.5, los cuales proyectan el año 2100 para obtener valores de precipitación y temperatura mediante la utilización de estaciones con influencia en la cuenca hidrografía. Por otra parte, los resultados indican que para el escenario SSP5-8.5 la temperatura incremento en 5.09°C, y con el escenario SSP2-4.5 para este mismo periodo la temperatura incremento en 2.63°C, mientras que, para la precipitación anual los resultados según el escenario SSP5-8.5 fueron con un decrecimiento de -6.80% y un incremento promedio de 2.19%. Para la simulación de caudales medios mensuales, se utilizó el modelo abcd Thomas, que había sido calibrado previamente, el cual arrojo unos resultados que indican que el caudal disminuye en 22.04% para el escenario SSP5-8.5 y en el caso del escenario SSP2-4.5, la disminución es de un 20.76%. Finalmente llega a la conclusión de que de los 13 modelos CMIP6, el modelo que tuvo un mejor comportamiento para la cuenca hidrográfica fue el modelo francés CNRM CMIP6 1 HR F2, y que de los datos obtenidos se estima que dentro de la proyección investigada, cuanto más cerca del 2100 estemos, el déficit hídrico será más crítico para los primeros meses del año y que para el segundo semestre se presentara un déficit hídrico con una tasa de crecimiento y concluye exhortando a el tipo de planificación hídrica de la cuenca del rio Zulia para conservar la calidad de vida y conservación del ecosistema dentro de la cuenca.

Según Colin et al. (2024), en su investigación “Evaluación del impacto del cambio climático en el balance hídrico de la cuenca del rio Mixteco con el modelo SWAT”. La finalidad de esta investigación fue determinar la evaluación del comportamiento de escurrimiento superficial dentro de la cuenca del rio Mixteco utilizando el modelo SWAT, realizando comparativa entre las diferentes modalidades de uso de suelo. De ello se obtuvieron resultados: Para la fase de calibración establecida, la medida utilizada con la cual se evaluó el rendimiento del modelo SWAT fue NSE= 0.87 y R^2=0.88 en ModDSM; y de NSE=0.85 y R^2=0.85 en ModINEGI. Sin embargo, en cuanto a los resultados referidos

a la validación de ModDSM (NSE=0.81 y R^2=0.83) los cuales fueron superiores a los del ModINEGI (NSE=0.61 y R^2=0.83). En conclusión, se pudo comprobar que era capaz de mostrar una forma correcta y eficiente el comportamiento del escurrimiento superficial del modelo hidrológico SWAT, el cual es capaz de representar actual y eficazmente el tipo de cobertura vegetal y la distribución de las pendientes en la cuenca a la vez que llevar a cabo las variaciones espaciales que ocurren dentro de la misma.

Espinoza & Zelaya (2021), desarrollaron la investigación “Aplicación del modelo hidrológico SWAT en unidades hidrográficas de Nicaragua: Simulación del escurrimiento superficial”, con el objetivo de generar información del movimiento del agua superficial en el territorio nicaragüense, buscando orientar el uso integral del recurso en cuencas que presentan déficit hídrico. Los resultados indicaron que, de las 66 unidades simuladas, 29 presentaron una respuesta hidrológica con déficit. Los rangos de escurrimiento bajo condiciones climáticas del periodo histórico de 1988-2017 fueron entre 65.5 y 497.9mm; para el escenario climático futuro pesimista SSP 8.5 correspondiente al periodo 2040-2069, el rango proyectado fue de 70.76 a 689.76mm. finalmente, al combinar esto con un cambio de uso de suelo que implica una conversión de superficies agropecuarias a sistemas agroforestales y silvopastoriles, los valores estimados varían de 36.57 a 683.9mm, tendiendo a ser una reducción media de 70.27mm en comparación con el escenario únicamente climático. En conclusión, estimamos que el cambio climático indicara en el incremento de la escorrentía superficial; no obstante, la actuación de implementar sistemas agroforestales en terrenos agrícolas con pendientes podría compensar este efecto, logrando una reducción promedio cercano a los 70mm. Una buena gestión hídrica ha de ser considerada especialmente en las 29 cuencas que presentaron una respuesta hidrológica deficitaria, localizadas principalmente en la región de corredor seco.

Sotomayor (2020), presento la tesis doctoral “Adaptación de los recursos hídricos al cambio climático: Aplicación de modelos hidrológicos al caso de la cuenca del río Babahoyo-Ecuador”, cuyo propósito es proporcionar una metodología para la integración

de datos sobre el cambio climático en la planificación de los recursos hídricos en las cuencas hidrográficas; para este se ha basado en el cambio de los volúmenes de agua y sus componentes del balance hídrico en el periodo de referencia del 1986 al 2005 y en proyecciones futuras del IPCC entre las que se establecieron los siguientes modelos de datos: RCP2.6, RCP4.5, RCP6.0 y RCP8.5; donde la variable que modifica es la temperatura en 1.0°C, 1.85°C, 2.25°C y 3.70°C, respectivamente. Los resultados obtenidos nos indican que el índice de aridez (IDA), permite la cuantificación y caracterización de las zonas climáticas. si bien no constituye un índice de cambio climático ya que no deriva de modelos climáticos atmosféricos, el IDA destaca por permitir una comparación sistemática de los resultados entre las condiciones actuales y futuras, todo ello en contexto de los diferentes escenarios de trayectorias de concentración representativas (RCP). Se concluye con una aportación metodológica útil a fin de orientar hacia la inclusión de criterios de cambio climático en el diseño y la actualización de los planes de gestión integrada de los recursos hídricos. Esta herramienta proporciona a las diferentes autoridades competentes una base sólida para la toma de decisiones a corto, mediano y largo plazo, con el objetivo de conseguir un uso y aprovechamiento sostenible del agua. Ello es factible mediante la mitigación de los recursos hídricos que, a causa de los efectos del cambio climático, están sometidos a una reducción potencial del volumen de agua útil disponible dentro de la cuenca hidrográfica.

- ✓ **a nivel nacional**

Álvarez (2023)**,** desarrolla la siguiente tesis “Aplicación del modelo hidrológico SWAT en la cuenca alta del río Rímac para la estimación de caudales y sedimentos medios”, esta investigación se centra en la implementación del modelo hidrológico SWAT en la cuenca del rio Rímac, a fin de estimar caudales y el trasporte de los sedimentos tanto en la actualidad como en escenario futuros con variables climáticas y de uso de suelo, otro de sus objetivos es contribuir produciendo alternativas que contrarresten la colmatación en los proyectos hidráulicos en la cuenca de la zona. En cuanto a la estrategia metodología,

se adoptó un enfoque empírico, inductivo y deductiva; fundamentado con la verificación en campo, con un diseño no experimental, dado que las variables independientes no fueron alteradas y únicamente se realiza la observación los fenómenos tal cual como ocurre en su contexto natural y posteriormente se le hace un análisis detallado. Los hallazgos indican que el modelo SWAT simulo una infiltración que fue medianamente rápida, que a su vez hubo una disminución de la regulación hídrica. De la misma manera el modelo permitió la identificación espacial de las áreas con mayor grado de erosión y de esa manera se pueda proponer medidas para mitigar tal fenómeno. Esta situación responde a una disminución de precipitaciones en la cordillera andina al año 2030. En conclusión, los caudales estaban más relacionados con las variables climáticas (precipitación y temperatura), que de las variaciones de la vegetación. Las proyecciones para la región Andina central en Perú pronostican una disminución en los volúmenes de lluvia hacia el 2030. Esta reducción pluviométrica constituye el principal factor que explica la disminución de caudales y carga de sedimentos que se acaba reflejando en los escenarios de cambio climático como en el análisis integral, incluso cuando el cambio hacia coberturas vegetales tiene un efecto opuesto de aumento potencial.

Garay & Huanca (2022), en su tesis “Aplicación de modelación hidrológica para analizar sequias en escenario de cambio climático en la sub cuenca del rio Chili Arequipa 2020-2025”, el estudio planteó el poder llevar a cabo simulaciones hidrológicas para diagnosticar la frecuencia y la magnitud de los eventos de sequía a partir de distintas proyecciones climáticas futuras en la cuenca del rio Chili situada en la región de Arequipa-Perú, la tesis se desarrolla a lo largo del tiempo en un horizonte de años que abarca del 2020 al 2050, empleado para ellos una metodología no experimental y longitudinal. Respecto a la fiabilidad del modelo, los procesos de calibración y validación arrojaron indicadores de precisión calificados de satisfactorios. Al realizar la proyección futura con el escenario RCP 4.5 hasta el año 2050, se encontró alteraciones en la frecuencia de las precipitaciones y un mayor riesgo en cuanto a las sequias. Se concluyo que la veracidad

de los resultados sobre procesos hidrológicos del rio Chili a través de la simulación, se fundamenta en una labor meticulosa de calibración y validación. Con la base metodológica solida se logró determinar con precisión las proyectados sobre intensidad y frecuencia de las sequias futuras bajo distintos escenarios climáticos.

Goyburo et al. (2023)**,** desarrollaron el artículo “Evaluación de la seguridad hídrica presente y futura bajo cambios climáticos antropogénicos y climáticos utilizando el modelo WEAP en la cuenca Vilcanota-Urubamba, cusco, Perú”, el propósito de esta investigación es analizar los niveles de seguridad hídrica en la cuenca del rio Vilcanota, situada en Urubamba, durante cuatro horizontes temporales las cuales son: del 2010 al 2016, en corto plazo del 2017 al 2040, mediano plazo 2041 al 2070 y largo plazo del 2071 al 2099, con los escenarios del cambio climático y transformaciones socioeconómicos. Los resultados demuestran que, aun cuando se prevé un aumento general de la oferta a causa del cambio climático, dicha ganancia no será uniforme, presentando una marcada heterogeneidad entre las distintas subcuencas. Se proyecta un déficit hídrico a partir del año 2050. Hacia final del siglo 2071 al 2099, el déficit seria de 477 hm3/año bajo los escenarios climáticos RCP 4.5 y de 446 hm3/año bajo el escenario RCP 8.5. La conclusión a la que llego fue que, aunque la oferta hídrica bruta podría elevarse por defectos del cambio climático en la cuenca, una distribución heterogénea de los recursos, sumada el aumento de la demanda, podría generarse un balance hídrico desfavorable a mediados del siglo. Ante este panorama se propone implementar estrategias que mejoren la gestión socioeconómica como es el caso de la regulación del aumento demográfico y mejorar los sistemas de riego utilizando sistemas tecnificados, los cuales poseen el potencial de reducir la demanda volumétrica hasta en un 50% en el largo plazo. Con esto se busca garantizar la disponibilidad hídrica para futuras generaciones.

Frisancho (2022), desarrolla la siguiente investigación: “Impacto del incremento de temperatura por el cambio climático en el balance hídrico de microcuenca de laguna de Piuray, 2000 – 2020”. Con la finalidad de conocer cuál será la influencia que tendrá el

aumento de la temperatura dentro de los componentes del balance hídrico en la microcuenca de la laguna de Piuray, en esta investigación se utilizó un enfoque inductivo-deductivo, con un alcance descriptivo y un diseño no experimental cuantitativo. La selección de esta metodología respondió a su idoneidad del manejo y análisis de datos, lo que permitió examinar la evolución térmica y su incidencia directa en el ciclo hidrológico. Los resultados muestran que los registros de temperatura real ya superan a las proyecciones simuladas y que de darse el caso del aumento de temperatura se podrá evaluar dentro del parámetro del balance hídrico. Se concluye que el incremento de la temperatura, vinculado a los escenarios climáticos afectaran el balance hídrico, en tal sentido el incremento se asociara a un desajuste en la capacidad hídrica de la cuenca.

Frisancho & Luna (2020), desarrolla la siguiente investigación titulada: "Evaluación del balance hídrico de la cuenca de la laguna de Piuray considerando el escenario más desfavorable para el año 2040 según el modelo WEAP, con fines de abastecimiento para la ciudad de cusco y chinchero". Cuyo propósito se orientó a evaluar la incidencia de las actividades humanas dentro de la microcuenca al 2040, también tuvo como fin determinar la disponibilidad hídrica en la cuenca del rio Piuray. Para garantizar la fiabilidad de los datos se procedió con la regionalización de los parámetros hidrometeorológicos, considerando variables criticas como la altitud, la proximidad geográfica y la representatividad de las estaciones meteorológicas. En relación a la metodología se desarrolló con un enfoque cuantitativo de nivel correlacional y con un diseño metodológico no experimental. los resultados del balance hídrico para el año 2019, determino una oferta hídrica anual de 22.83 millones de metros cúbicos (MMC), y la demanda total asciende a 17.12 MMC, resultando un superávit de 5.71 MMC. Sin embargo, bajo el escenario más adverso proyectado para el 2040, este excedente se reducirá a 1.46 MMC. Esto sugiere que, aun en dichas condiciones, la cuenca mantendrá una capacidad para atender la demanda. Se concluye que, si bien en la actualidad la microcuenca presenta un balance hídrico optimo, la tendencia hacia el año 2040 bajara y es el motivo por el cual se necesita considerar una

reducción de 30% en el suministro del recurso hídrico para la población de la ciudad del Cusco y que para la población de Chinchero será a la totalidad. Según las simulaciones del modelo WEAP, la cuenca posee resiliencia para adaptarse y satisfacer con la demanda estimada, en este sentido surge la necesidad de implementar sistemas de gestión hídrica participativos que permitan enfrentar el crecimiento demográfico y las manifestaciones del cambio climático.

- ✓ **A nivel regional y local**

Sierra (2022)**,** desarrolla el siguiente trabajo de investigación: “Evaluación de la recarga hídrica y escasez del manante Marcamarca en la microcuenca Mariño provincia de Abancay, región apurimac-2019”, la tarea consistía evaluar el estado actual de la recarga hídrica y los niveles de escasez en el manante Marcamarca en el año 2019, determinando en primer lugar la ubicación y la extensión de las zonas de recarga hídrica y demás fuentes como manantes, bofedales, etc. El resultado fue que en el noreste de Abancay en la comunidad de Llañucancha la zona de recarga hídrica obtenía una extensión de 506.87 hectáreas, 2.73 hectáreas de bofedales y 11 manantes naturales, realizando un balance hídrico que determinaría que el 60% era un exceso del balance hídrico y un 40% se encontraba en estado de estabilidad hídrica. El manante de Marcamarca cuenta con un caudal promedio de 59.17 lt/s, el cual abastece a dos sectores de Abancay, la demanda hídrica calculada fue de 10,882.37 m3 por persona frente a una oferta hídrica de 9.936 lt/s, lo que genero un déficit hídrico de 946.37 m3. En conclusión, podemos determinar que el resultado del caudal de manante Marcamarca ha disminuido como consecuencia del cambio climático y posiblemente por la influencia de actividades humanas.

Carazas (2022) desarrolla la siguiente investigación: “Oferta y demanda de agua de riego de los usuarios del canal Mariño de Abancay 2017-2018”, donde tuvo el propósito de evaluar la oferta y la demanda de agua para riego de los usuarios del canal del rio Mariño. Para ello, se realizó un inventario de las fuentes de agua y mediciones de caudal en tres fuentes estratégicas: los ríos de Huacracucho, Puruchaca y Marcahuasi, así mismo se

realizó el inventario de infraestructura. La técnica que se utilizó para el estudio fue de enfoque mixto, con un alcance cuantitativo- descriptivo y de diseño no experimental. los resultados obtenidos muestran que existe un superávit entre los meses de octubre y junio, mientras que se presenta un déficit durante julio, agosto y setiembre. La oferta de agua no cubre plenamente la demanda de agua requerida para los cultivos en el sistema de riego del canal de Mariño. Se concluye que, para los meses de octubre, noviembre y diciembre, la cuenca cuenta con una buena disponibilidad de agua y que existe escasez del agua para los meses de julio, agosto y septiembre, con valores que se han llegado a registrar de 29.99 lt/s y 118 lt/s respectivamente. Con esto nos damos cuenta de que la cuenca del rio Mariño tiene una variabilidad bien definida lo cual podría comprometer el riego en el periodo con más demanda agrícola.

3.2. Bases teóricas

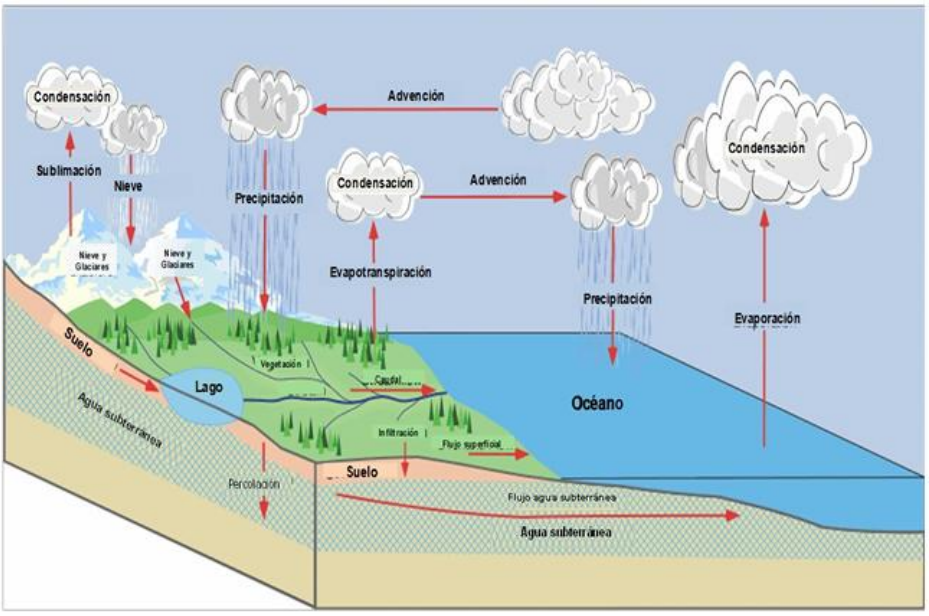
3.2.1. Ciclo hidrológico

El ciclo hidrológico es el proceso continuo de transferencia de agua que tiene lugar entre la superficie terrestre y la atmosfera, incluyendo la evaporación, la condensación, la precipitación y la escorrentía o infiltración (Ordoñez, 2011).

El ciclo hidrológico contiene un proceso de trasporte re circulatorio e indefinido o permanente, lo cual explica que este movimiento del ciclo sea persistente o no se detenga nunca, pero esto se tiene dos causas importantes: primer lugar, la radiación solar, el cual hace que a energía permita elevar el agua (evaporación); la segunda es la gravedad de la tierra que provoca el descenso del agua condensada en forma de precipitación y para luego desplazarse por la superficie como escurrimiento.

Figura 1

Representación hidrológica



Nota. Ordoñez, 2011

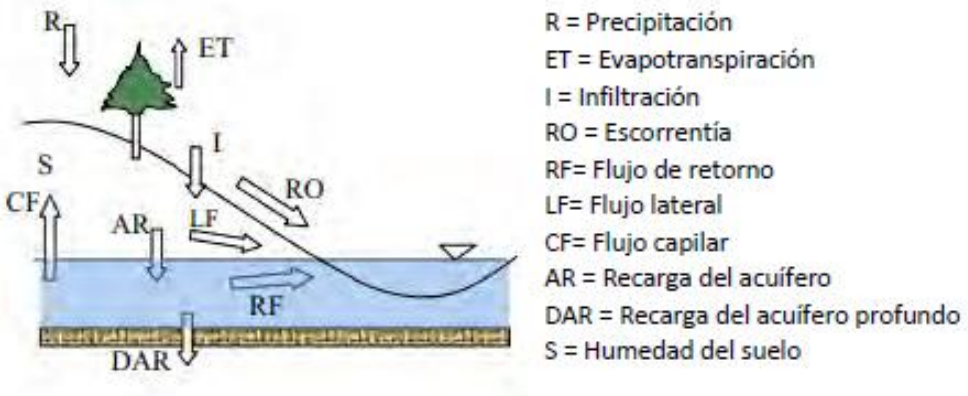
3.2.2. Balance hídrico

“El balance hídrico es una herramienta que permite conocer características de la cuenca mediante la aplicación del principio de conservación de la masa o la ecuación de continuidad” (Rose, 2004, p. 137).

De igual manera puede decirse que es la cuantificación de los elementos que rodean el ciclo hidrológico y las extracciones de agua en una superficie (cuenca), siendo las interrelaciones que presentan de los mismos un diagnóstico de la situación hídrica en términos de la oferta, la disponibilidad y la demanda de este recurso en un área concreta. Al proporcionar una radiografía del estado real de los recursos hídricos en un área determinada, esto permite tomar decisiones marcando lineamientos y estrategias para su conservación y su utilización de manera integrada, garantizando así la disponibilidad de este recurso tanto en cantidad como en su calidad.

Figura 2

Esquema conceptual del balance hídrico en el modelo SWAT



Nota. Reproducido por Abbaspour et al., 2015

3.2.3. Oferta hídrica

Esa es aquella parte del agua que tras haber precipitado sobre la cuenca y satisfacer las cuotas de evapotranspiración e infiltración propias del sistema suelo-cobertura vegetal, escurre por los cauces mayores de los ríos y demás corrientes superficiales, alimenta lagos, lagunas y reservorios, se integra con otros cauces y eventualmente desemboca, de forma directa o indirecta en el mar. Normalmente, esta porción del agua que escurre por los ríos es reconocida por los hidrólogos como escorrentía superficial y cuya cuantificación constituye el elemento principal de medida en las redes de seguimiento hidrológico existente en los distintos países (Gonzalo et al., 2004).

El cálculo de la oferta hídrica se define como un procedimiento dinámico y amplio, que se basa en el ciclo hidrológico, que permite cuantificar, para un área y un periodo determinado, la cantidad de agua disponible a través de sus componentes fundamentales: precipitación, evapotranspiración real, el agua almacenada en el suelo y la biomasa, y el flujo superficial y subterráneo.

3.2.4. Modelo hidrológico

Los modelos hidrológicos se definen como representaciones de forma simplificada, si se requiere, del ciclo del agua, las cuales se fundamentan en conceptos que buscan con aproximación los procesos del sistema. Atreves de simulaciones entre las

representaciones de la situación real y escenarios alternativos que podamos generar en un modelo hidrológico, podemos cuantificar el beneficio hídrico de diferentes intervenciones en la infraestructura natural (Ochoa et al., 2022).

Hoy en día, hay una amplia gama de modelos hidrológicos, la importancia parece que radica en que, una vez calibrados o validados, nos sirve para anticipar como reaccionara una cuenca ante diferentes situaciones o para completar la información que nos falta. Es fundamental entender que un modelo hidrológico no nos da soluciones al contrario nos da aproximaciones probabilísticas que sustentan la toma de decisiones para la gestión de cuencas. La simulación de cuencas permite establecer un puente para comprender la naturaleza intrincada de los procesos físico-hidrológicos. Al relacionar las entradas de datos con las respuestas de salida, el investigador puede desglosar el funcionamiento interno del sistema, convirtiendo variables complejas en relaciones lógicas que explican coherentemente el balance hídrico.

3.2.4.1. Características físicas de una cuenca

El proceso de caracterización de una cuenca comienza con la forma de delimitar su ámbito: la forma, tamaño o área, pendiente media y pendiente del cauce principal. Ordoñez (2011), manifiesta que son fundamentales para evaluar la vulnerabilidad y los peligros de desastres: a continuación, se detallan:

- ✓ **Delimitación de una cuenca**

A través de fotografías aéreas se ha llegado hacer la delimitación de una cuenca, pero los más frecuente es hacerlo mediante mapas topográficos, que consiste en trazar una línea limite a la que se denomina parteaguas que se sitúa en las zonas más altas de un relieve y que delimita el recorrido de la escorrentía hacia una u otra cuenca.

- ✓ **Área de la cuenca**

La proyección horizontal de toda el área de drenaje de un sistema de escorrentía que es conducida dirigido directa o indirectamente a un mismo cauce natural. Resta

representada con la letra A, siendo probablemente la característica geomorfológica más importante.

- ✓ **Parámetros de forma de la cuenca**

La forma de la cuenca se define como la geometría de la cuenca tal como se está proyectada sobre el plano horizontal. dicha forma determina el tiempo de respuesta de la cuenca, es decir, el lapso que tarda en hacer el recorrido el agua por medio de la red de drenaje, y en consecuencia la forma del hidrograma resultante de una determinada lluvia.

- ✓ **Perímetro de la cuenca**

Es la medida del borde o limite externo del área de la cuenca. Es un parámetro importante, pues en relación con la superficie nos puede dar una idea sobre la geometría o contorno de la cuenca.

- ✓ **Longitud del rio**

Es la longitud del rio principal de la cuenca, por donde drenan todos los afluentes y arroyos secundarios.

- ✓ **Parámetros de relieve**

La forma de cuenca es la forma geométrica de la misma. El efecto de la topografía en el hidrograma es aún más evidente, ya que a mayor pendiente correspondería menor duración de concentración de las aguas de escorrentía en la red de drenaje y afluentes al cauce principal.

- ✓ **Parámetros relativos a la red de drenaje**

La plantilla y la interconexión con la red de drenaje que existen dentro de una cuenca condicionara directamente su respuesta hidrológica frente a un evento de lluvia. (pp. 17-26)

3.2.4.2. Parámetros meteorológicos

a) Precipitación

Villon (2002) en su definición menciona que “es toda forma de humedad que originándose en las nubes llega hasta la superficie del suelo, de acuerdo a esta decisión la precipitación puede ser en forma de” (p. 69):

- ✓ **Llovizna:** Son gotas de agua de un tamaño de 0.5 mm o menor, que al ser muy pequeñas caen lentamente a la superficie.
- ✓ **Lluvia:** Son gotas de agua líquida de un tamaño mayor a 0.5 mm.
- ✓ **Escarcha:** Es el depósito de hielo, generalmente transparente o suave, que se produce al congelarse directamente el roció sobre superficies frías.
- ✓ **Nieve:** Es la precipitación solida compuesta por cristales de hielo, de compleja estructura cristalina de color blanco o translucido.
- ✓ **Granizo**: Es la precipitación en forma de bolas o trozos irregulares de hielo, que se producen por nubes convectivas intensas, con tamaños muy variables que pueden ir de los 5 a los 125 mm (p. 70).

b) Viento

“Consiste en el movimiento de aire desde una zona a otra. Existen diversas causas que pueden provocar la existencia del viento, pero normalmente se origina cuando entre dos puntos se establece una cierta diferencia de presión o de temperatura” como lo definió (Rodriguez et al., 2024, p. 24).

- ✓ **Velocidad del viento**

La rapidez del viento cuantifica el componente horizontal del movimiento de aire que hay en un punto y en un instante determinado. Se determina mediante un anemómetro, cuya unidad de medida convencional es en kilómetros por hora (km/h) o metros por segundo (m/s). la ausencia de viento se habla de calmas (Navarra, s.f.).

La intensidad de viento y sus efectos sobre el terreno y el océano se categorizan mediante la escala de Beaufort, la cual establece un total de 13 grados o niveles de clasificación.

Figura 3

Escala de la velocidad del viento de Beaufort

Fuerza	Viento	Km/h	Ráfagas	El mar	Olas	Efectos en Tierra
0	Calma	0/2	3	Calma	0/0.4	Humo derecho
1	Ventolina	3/6	11	llano	0.6	Humo inclinado
2	Flojito	7/11	18	Rizado	1.0	Comienza a sentirse
3	Leve	12/19	30	Olitas	1.5	Humo casi horizontal
4	Bonacible	20/25	42	Olas Largas	2.0	Bandera Rizada
5	Fresco	26/35	50	Marejada	2.5	Bandera planchada
6	Fuerte	36/45	65	Grueso	3.2	Doblan ramas
7	Duro	46/55	70	Vuela espuma	4.2	Rompen ramas
8	Muy duro	56/65	83	Olas rompen	5.4	Caminar inclinado
9	Temporal	66/75	100	Desarmado	6.5	Difícil caminar
10	Borrasca	76/87	120	Blanco espuma	8.0	Arranca arbustos
11	Tempestad	88/100	140	Deshecho	10.0	Maltrata construcciones
12	Huracán	100 +	160 +	Olas gigantes	12.0	Conviene REZAR

Nota. Escala de Beaufort (1805) tomado de (Cuadrat y Pita, 2000)

- ✓ **Dirección del viento**

La procedencia del flujo eólico se determina mediante su orientación respecto al origen y no hacia su trayectoria final. Esta variable se expresa en grados sexagesimales, empleando una escala de 0° a 360° que inicia en el norte geográfico. Siguiendo una progresión horaria, se establecen los rumbos críticos: el oeste (90°), el sur (180°) y oeste (270°). Las orientaciones cuadrantales, como el noreste o el sureste, se derivan de los valores angulares intermedios de esta escala.

c) Temperatura

La temperatura es conocida como el factor clave y decisivo de las diferentes etapas del ciclo hidrológico y especialmente en el análisis de la evaporación. La influencia de los distintos mecanismos de intercambio de calor en el sistema tierra-

atmosfera da lugar a una distribución de temperatura en función de la dirección vertical, es decir, un descenso de la temperatura de 6,5°C/km en la troposfera y condiciones aproximadamente isotérmicas en la estratosfera. La tasa devolución de la temperatura es función de la altitud es denominada gradiente vertical de temperatura. El estudio del gradiente vertical resulta de gran relevancia, puesto que a través del mismo es posible aquilatar la estabilidad o inestabilidad de la atmosfera (Mejia, 2006).

- ✓ **Temperatura máxima**

Se refiere al valor extremos superior de la temperatura atmosférica alcanzando en un ciclo diario o estacional. Este registro puede ser puntual o representar un máximo histórico de largo plazo. En el hemisferio sur, la ocurrencia de las temperaturas más elevadas coincide habitablemente con el verano austral (enero y febrero), mientras que, a escala diaria, el máximo térmico ocurre poco después de que la radicación solar alcanza su cenit, típicamente al iniciar la tarde.

- ✓ **Temperatura mínima**

Se hace referencia al valor más bajo de la temperatura registrado en un sitio especifico, en un mes o en un año, así como la mínima absoluta alcanzada en los registros de las temperaturas de un lugar en particular. Bajo circunstancias habituales, las temperaturas mínimas diarias se registran en horas del amanecer, las mínimas mensuales se presentan en enero o febrero en el hemisferio norte y en julio o agosto en el hemisferio sur. Y también las temperaturas mínimas absolutas dependen de numerosos factores que afectan su comportamiento (OMM-N°, 2017).

d) Humedad relativa

El grado de humedad se describe como la concentración de vapor de agua en el aire, el cual se define como la razón entre la densidad del vapor de agua de un volumen dado de aire y la densidad de vapor de agua en el estado de saturación. Por lo general se representan en porcentaje y si en la atmosfera existe un alto grado de humedad, la

humedad relativa se aproximará al valor de un 100%. Esta variable climatológica también presenta una variación temporal como la temperatura. Al igual que la temperatura, este elemento climático presenta una variación característica a lo largo del tiempo (Breña y Jacobo, 2006, p. 54).

Figura 4

Estación climatológica de los parámetros meteorológicos



Nota. Estación climatológica automática.

e) Horas sol o insolación

La medida de horas de sol nos permite saber la energía radiante que está disponible en la superficie, atributo esencial para el modelo del balance hídrico. esta energía radiante es la que proporciona la energía necesaria para que el sistema ocupe el fenómeno de evapotranspiración, fenómeno mediante el cual el agua se evapora desde las superficies liquidas, el sustrato edáfico y los tejidos de las plantas, regulando así la disponibilidad de agua en el sistema. A mayor número de horas de sol, mayor será la radiación solar y, por lo tanto, más cantidad de energía que puede ser utilizada por tales procesos. Las horas de sol también pueden influir en la temperatura del agua y el suelo y a más horas de sol, más temperatura de ambos, y esto también puede modificar la tasa de evaporación y el volumen de agua disponible a la demanda (Consorcio agua para Abancay, 2023).

f) Evapotranspiración

"Se conoce como evapotranspiración (ET) a la combinación de dos procesos separados por los que el agua se pierde a través de la superficie del suelo por evaporación y por otra parte mediante transpiración del cultivo" (Allen et al., 2006, p. 01).

- ✓ **Evaporación:**

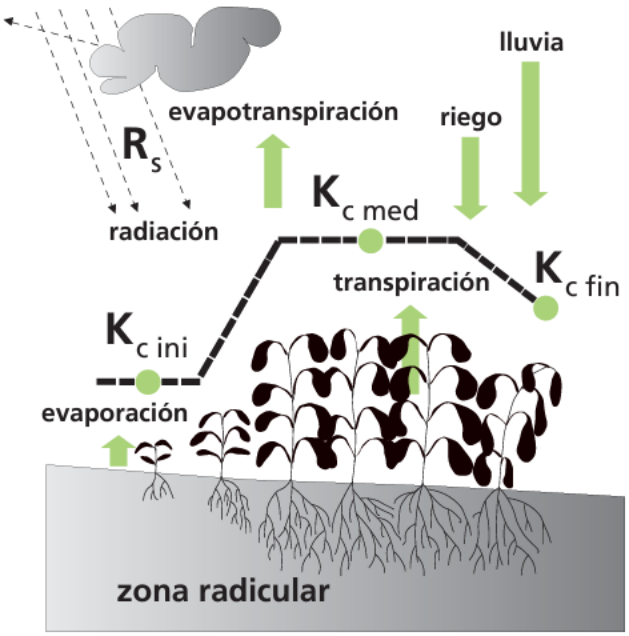
"Es el proceso por el cual el agua líquida se convierte en vapor de agua y se retira de la superficie evaporante. El agua se evapora de una variedad de superficies, tales como lagos, ríos, caminos, suelos y vegetación mojada" (p. 1).

- ✓ **Transpiración:**

"La traspiración consiste en la evaporización de agua líquida contenida en los tejidos de la planta y su posterior remoción hacia la atmosfera. Los cultivos pierden agua predominantemente a través de las estomas" (p. 3).

Figura 5

Evapotranspiración del cultivo



Nota. Evapotranspiración del cultivo, (Estudio FAO)

Factores que afectan la evapotranspiración.

“El clima, los rasgos del cultivo, su manejo y el entorno de desarrollo son factores que influyen la evaporación y la transpiración”, según menciona (Allen et al., 2006).

- Variables climáticas
- Factores de cultivo
- Manejo y condiciones ambientales (p. 5)

Según Monsalve (1999), existen dos tipos de evapotranspiración:

- **Evapotranspiración potencial:** Se conceptualiza como la disminución de agua registrada en una capa liquida o solida saturada por la acción de la evaporación y la transpiración de las plantas, bajo la condición de que el terreno contuviera un suministro infinito de humedad de manera constante.
- **Evapotranspiración real:** Es la disminución total de agua que llega a originarse en una superficie liquida o sólida empapada, así como desde la vegetación, mediante los procesos combinados de evaporización y exudación, bajo las circunstancias atmosféricas y de humedad del terreno presentes (p. 150).

3.2.5. Demanda de agua

Se refiere a los volúmenes de agua indispensables para cubrir las exigencias presentes en los ámbitos económicos, productiva y para el uso doméstico y representa los requerimientos mínimos de volúmenes de agua proyectados a partir de los volúmenes de agua a la población proyectada para la concentración y el desarrollo de la misma (IDEAM, 2024).

La estimación de la demanda hídrica no debe limitarse exclusivamente al abastecimiento poblacional. Para hacer un balance correcto, se debe incluir los recursos hídricos asignados a la seguridad alimentaria, así como para las actividades productivas

del entorno, que representan un porcentaje importante de la extracción de agua dentro del ecosistema de la cuenca.

a) Demanda de agua potable

Según Gonzales (2010), La demanda es el agua que se emplea para actividades como la bebida directa y preparación de alimentos listos para su consumo. Para la satisfacción de necesidades domésticas, ya sean de carácter particular o comunitario (pág. 173).

- ✓ **Calculo de tasa de crecimiento**

Según Torres (2011), para calcular la tasa de crecimiento poblacional se tiene varios métodos como son:

método del interés simple:

$$r = \left(\frac{Pf}{Pi} - 1\right).1/t$$

método geométrico:

$$r = (\frac{Pf}{Pi})^{\frac{1}{t}} - 1$$

método exponencial:

$$r = \frac{lnPf - lnPi}{t}$$

Donde:

r = Tasa de crecimiento

Pf = Población actual (final)

Pi = Población al momento actual o poblacional base

t = Amplitud o tiempo (estimado) entre dos poblaciones de referencia (pp. 147-153).

b) Métodos de estimación y proyección de la demanda

El estudio de los requerimientos de agua para la población se convierte en una de las variables que determina el modelado y la gestión de las cuencas. Su cálculo exacto resulta vital para establecer balances de agua creíbles que permitan al actuar de los recursos hídricos ir en consonancia con los objetivos de la gestión y preservación ambiental para la región.

Las proyecciones demográficas para el Perú al 2052 muestran tendencias significativas: la frecuencia descendería a 1.7 hijos por mujer, mientras que la población adulta mayor superaría los 9 millones, generando cabios estructurales en la composición poblacional (Quispe, 2022).

Arriaga (1967), detalla los métodos que son más utilizados

- ✓ Modelo Aritmético:

$$Pf = Pi(1 + rt)$$

- ✓ Modelo Geométrico:

$$Pf = Pi(1 + r)^t$$

- ✓ Modelo Exponencial:

$$Pf = Pi(e)^{rt}$$

Donde:

Pi: Es la población Inicial (habitantes).

Pf: Población futura (habitantes).

r: Es la tasa de crecimiento de la población (adimensional 0%).

t: Periodo de Diseño (años) (pp. 57-59).

c) Demanda de agua para riego

De acuerdo con la interpretación de Brouwer & Heibloem (1987), el cálculo de la demanda de riego neta (NIR) permite satisfacer el déficit hídrico de los cultivos. La fórmula contiene la demanda atmosférica del vegetal menos el aporte efectivo del clima, corrigiendo por un factor de eficiencia del sistema de riego. Este procedimiento es vital para convertir las unidades de la lámina (mm) en caudales o volúmenes de agua (m3), de tal forma que se pueda planear el recurso hídrico a utilizar para el sector agrícola en la cuenca del rio Mariño. La demanda de riego se calcula tomando la evapotranspiración del cultivo (ETc). A continuación, se detalla:

- cálculo de la evapotranspiración del cultivo (ETc):

ETc = Kc * Eto

donde:

ETc= evapotranspiración de cultivo

Kc= coeficiente de cultivo

Eto= evapotranspiración de referencia

- Determinar la necesidad de riego IN:

IN= ETc – Pe

- Calcular lamina bruta de riego

Lamina bruta= ETc/Ef

Ef= eficiencia de riego

- Calcular la demanda de agua total

Demanda toral=lamina bruta * área

- Calcular el tiempo de riego

Tiempo de riego = demanda total/caudal del sector

Importancia del riego en la agricultura

La irrigación en el campo es vital para garantizar el abastecimiento hídrico y lograr estabilizar la productividad. Junto con reducir las repercusiones del cambio climático, otorga flexibilidad a la programación de las siembras y asegura la continuidad de las cosechas de los cultivos en situaciones climáticas desfavorables.

3.2.6. Impactos del cambio climático

Fundamentos del cambio climático

Por cambio climático se entiende como el calentamiento observado en la superficie del planeta asociado al aumento de la cantidad de ciertos gases en la atmosfera que producen el llamado efecto invernadero. La comunidad científica no alberga ninguna duda en la actualidad sobre esta hipótesis, como tampoco las hay sobre que la acumulación de esos gases se deba a actividades humanas, por lo tanto, a menos que se pacten medidas mitigación a escala mundial, este fenómeno podría dar lugar en el futuro a indeseables impactos sobre el clima de numerosas regiones del paneta a lo largo de este siglo y de los que vendrán, con repercusiones para los sistemas ambientales, para la economía y para la sociedad (Castro, 2008).

Causas del cambio climático

La atmosfera terrestre tiene la función de un regulador de temperaturas, ya que a través del efecto invernadero natural, la temperatura media a nivel mundial se corresponde con aproximadamente los 15°C, evitando que esta baje hasta niveles críticos de -18° C. según IPCC (2021) ,esto sería posible porque los gases de efecto invernadero (GEI9, especialmente el vapor de agua (H_2O), el dióxido de carbono (CO_2), el metano (CH_4) y el óxido nitroso (N_2O), contienen la energía que re irradian y así evitar, que la energía térmica es forma de energía infrarroja escape por completo hacia el espacio exterior.

La clase humana es la culpable del cambio climático debido a sus emisiones que emiten gases de efecto invernadero, las cuales elevan la temperatura del planeta. El gas más famoso es el dióxido de carbono, que resulta ser el forzante más significativo con un 63% del calentamiento global, pero no es el único causante (Fundacion, 2021):

- **Deforestación:** La explotación de maderera, la expansión de la agricultura, la extracción de la minería y la ganadería son las principales actividades económicas dedicadas a la tala indiscriminada de árboles.
- **Incremento desproporcionado de gases de efecto invernadero:** es debido al uso de fertilizantes, la actividad química para el tratamiento de aguas residuales, la quema de combustibles fósiles, el transporte, la calefacción y el urbanismo.
- **Expansión acelerada de la población:** el aumento de la cantidad de habitantes influye en la generación de gases que agravan el efecto invernadero.

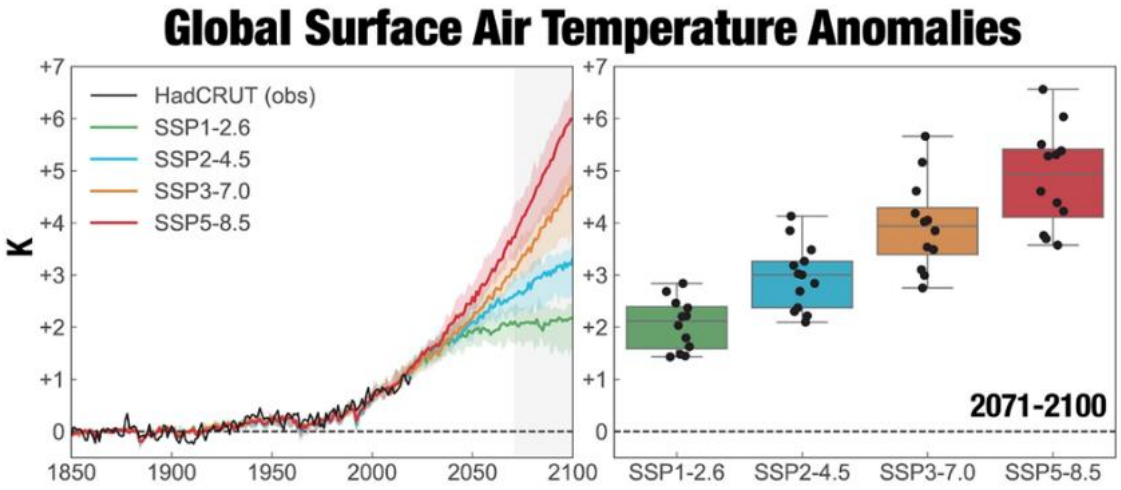
Escenario del cambio climático

Los escenarios del cambio climático constituyen una imagen posible y, en general, simplificada de lo que puede ser el clima en el futuro, en base a un conjunto de relaciones climatológicas internas y coherentes entre sí, y que se construyan para ser utilizadas explícitamente en la investigación de los posibles efectos del del cambio climático de origen humano, y que suelen alimentar la simulación de los impactos (INECC, 2017). Los procesos de cambio del clima no son pronósticos del climáticos, puesto que cada uno constituye una alternativa con la que se podría comportar el clima futuro. Se llevo a cabo un análisis para valorar el comportamiento regional de los modelos de circulación general (MCG), utilizando un lapso histórico especifico, lo que brinda indicios para observar la reproducción de fenómenos atmosféricos que son importantes, en la medida que el desempeño de un modelo puede ser bueno en una región y bastante malo en otra.

Para estandarizar el estudio de los efectos del calentamiento global sobre la hidrología, se han incorporado trayectorias socioeconómicas compartidas (SSP). Siguiendo a Riahi et al. (2017), este punto de partida propuesto por expertos internacionales permite trabajar sobre el análisis de la vulnerabilidad y del modo de adaptación ante el cambio climático. Como se aprecia en la figura n°6, los SSP generan proyecciones sobre el comportamiento de la gobernanza, economía y de la tecnología para establecer las condiciones que propicien una toma de decisiones actuales sobre la gestión de cuencas a partir de una proyección de la resiliencia hídrica.

Figura 6

Anomalías de temperatura de cambio climático



Nota. Anomalías de temperatura del aire en la superficie Promedio anual global y para cuatro escenarios SSP del CMIP6 (Ruiz et al., 2023)

GCM (MODELO DE CIRCULACION GENERAL)

Los modelos numéricos (GCM, por sus siglas en inglés), que representan los procesos de la atmosfera, el océano y la atmosfera, la criosfera y la tierra, son sin duda las herramientas más disponibles para simular la respuesta del sistema planetario ante el incremento de los gases de efecto invernadero. Los modelos de circulación global representan el clima por medio de una cuadricula tridimensional que discretizan el planeta, con una resolución horizontal habitual que varían entre 250 y 600 km., cuentan con un

numero de niveles verticales en la atmosfera que va de 10 a 20 y e incluso más de 30 capas en los océanos (Viner, 2002).

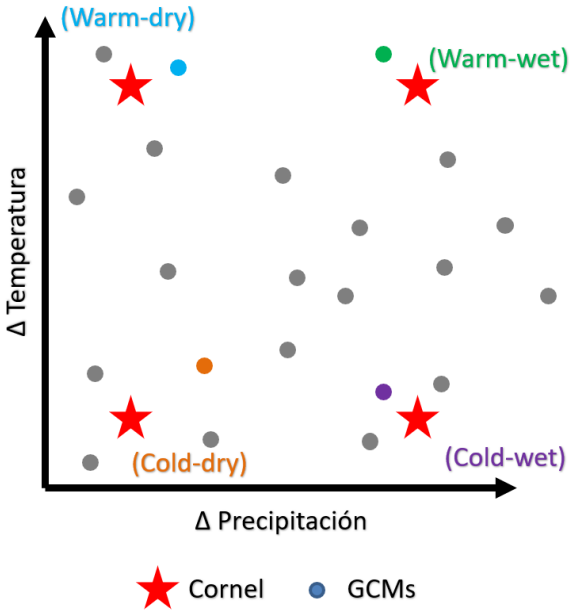
Selección de GCM

La selección de los GCM se llevó a cabo utilizando la metodología descrita por Dhanbanjar et al., (2024), el cual se articula de la siguiente manera:

- Se aplica el proceso de preselección de las simulaciones de los modelos de circulación general (GCM) integrados en el CMIP6, de acuerdo a la siguiente orientación la preselección de las simulaciones de los GCM del CMIP6 arroja como resultado un aproximado de 28 simulaciones, con el criterio de disponibilidad de determinar variables de especial interés para nuestros objetivos, como precipitación y temperaturas extremas (máxima y mínima extrema). De esta manera quedan seleccionados los escenarios SSP2-4.5 y SSP5-8.5 los que permiten proyectar las dinámicas hidrológicas bajo condiciones de emisiones de carbono moderadas y críticas, respectivamente.
- Se seleccionan cuatro GCM para cada uno de los escenarios SSP de los conjuntos CMIP6 teniendo en cuenta la ponderación de dos factores: (i) el rango de proyecciones en el conjunto y (ii) la habilidad del modelo individual para simular el clima real de cada uno, de esta forma se considera un rango completo de proyecciones proporcionadas por conjuntos confiables. Los GCM elegidos pasaron a ser identificados como “Cold-dry”, “Cold-wet”, “Warm-dry” y “Warm-wet”, los cuales hacen referencia a los climas de los que se seleccionaron.

Figura 7

Selección de GCM



Nota. Cada punto de color representa los GCM

Criterios de selección.

Con cada trayectoria SSP, calcularon los percentiles 10 y 90 de los cambios proyectados en temperatura (ΔT) y precipitación (ΔP), del periodo futuro (2035-2065 y 2069-2099) con la línea base histórica (1984-2014), obteniéndose de este modo los extremos que conforman el espectro de incertidumbre climática: cálido - húmedo, cálido - seco, frío - húmedo y frío - seco. Esta metodología permite evaluar la respuesta de la cuenca ante las condiciones más críticas del conjunto de modelos. Para cada GCM calculamos una puntuación de rango como la distancia euclidiana a cada vértice, donde las distancias se normalizan en todo el rango de proyecciones ΔT y ΔP. Para validar el desempeño de los modelos, se calculó el error absoluto medio (MAE) entre las simulaciones históricas de GCM y la base de datos observacional PISCO, considerando la climatología mensual de precipitación y el MAE se calcula tanto para la temperatura media como para la precipitación diaria para cada subcuenca. A partir de los MAE para temperatura y precipitación se multiplica para obtener una puntuación de habilidad combinada para cada GCM. Posteriormente, se promedian la puntuación de rango y la

puntuación de habilidad de cada GCM y dicho promedio se invierten para obtener una puntuación final y para cada esquina se selecciona el GCM con la mejor puntuación. La suma de la precipitación y la temperatura del aire (media, máxima y mínima) correspondientes a los GCM seleccionados se reducen de escala empíricamente-estadísticamente y se corrige el sesgo utilizando el cambio delta.

3.2.7. Modelo SWAT

El SWAT (soil and water assessment tool), es un modelo hidrológico semidistribuido hidrológico con una trayectoria de perfeccionamiento superior a las tres décadas, a escala de tiempo diario y desarrollado para predecir el impacto del manejo del uso de la tierra sobre la producción de agua, sedimentos y sustancias agroquímicas, en cuencas heterogéneas con diversas clases de suelos, vegetación y uso de la tierra y condiciones de manejo. El SWAT fue desarrollado por el servicio de investigación agricola (ARS) del departamento de agricultura de los estados unidos (USDA) como resultado de casi 30 de labor en modelamiento conducidos por el USDA-ARS (Gassman et al., 2007, p. 4). SWAT se desarrolla en unidades de respuesta hidrológica (HRUs), las cuales representan áreas con características homogéneas de cobertura de suelo, tipos de suelo y gradiente de inclinación, permite calcular los componentes del balance hídrico mediante la integración de los datos de entrada como por ejemplo, precipitación diaria y temperaturas máxima y mínima, reproduciendo los procesos hidrológicos y desplazamiento de sedimentos a escalas diaria, mensual y anual (Neitsch et al., 2005, p. 22).

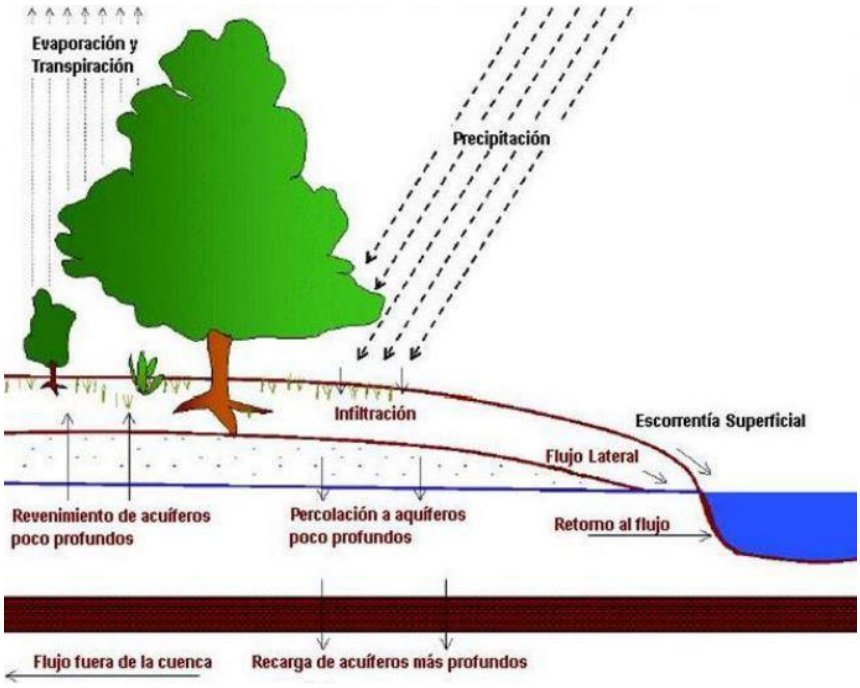
El SWAT tiene la capacidad de simular varios procesos físicos tales como el escurrimiento superficial, flujo subsuperficial, flujo subterráneo, percolación, evapotranspiración, derretimiento de nieve y retención en reservorios. De acuerdo con Neitsch et al., (2005) ” El ciclo hidrológico es simulado en el SWAT sobre la base de la ecuación del balance hídrico”.

$$SW_t = SW_0 + \sum_{i=1}^{t} (R_{day} - Q_{surf} - E_a - W_{seep} - Q_{gw})$$

Donde SW_t representa el contenido de agua en el suelo al final del periodo de simulación, expresando en milímetros de agua (mm H_2O), $SW0$ corresponde al contenido inicial de agua en el suelo en el día i (mm H_2O), t es el tiempo (días), $Rday$ es la cantidad de precipitación en el día i (mm H_2O), $Qsurf$ es la cantidad de escurrimiento superficial en el día i (mm H_2O), Ea es la cantidad de evapotranspiración en el día i (mm H_2O), $wseep$ es la cantidad de agua que ingresa a la zona vadosa desde el perfil del suelo en el día i (mm H_2O), y Qgw es la cantidad del flujo de retorno en el día i (mm H_2O) (p. 25).

Figura 8

Ciclo hidrológico del modelo swat



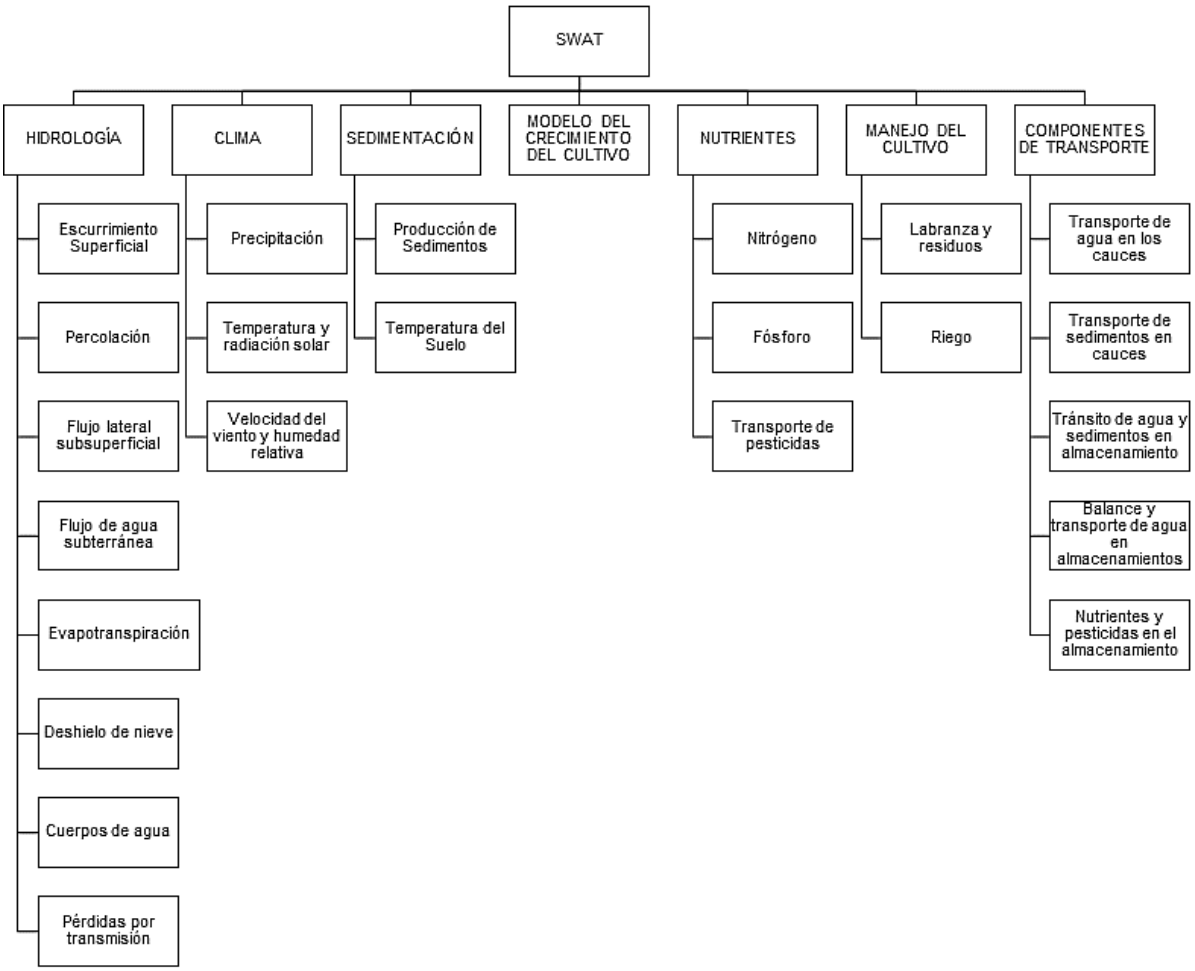
Nota. Representación esquemática del ciclo hidrológico en el modelo swat (p. 8).

- ✓ **Componentes del modelo swat**

Los elementos que integran el modelo incluyen todos esos elementos y procesos que se dan en la cuenca por razones naturales y por razones antropogénicas, que son: clima, hidrología, sedimentación, temperatura de suelo, crecimiento de cultivos, nutrientes, transporte de pesticidas y manejo de cultivo (Fernandez, 2017, p. 8).

Figura 9

Componentes del modelo SWAT



Nota. Componentes del modelo SWAT (Natalia, 2010).

- ✓ **Calibración y validación del modelo**

Es un poco común conocer los valores de los parámetros de un modelo en su totalidad y existen ocasiones en la que se tiene el desconocimiento total de estos, en términos generales se trata de optar por la combinación que permite la correlación entre los valores de las variables de salida que genera el modelo y se mide en el sistema real. En ocasiones la calibración a través de la intervención de un humano es un trabajo casi imposible; por lo que es preferible recurrir a una calibración automática a partir de algoritmos matemáticas de optimización (Aguilar, 2024).

La validación verifica el comportamiento del modelo con datos reales que no se han utilizado en el proceso de calibración, la correlación de los resultados no será tan buena como la de la calibración, pero como mínimo deben obtenerse valores razonablemente a los observados y que para que el modelo sea representativo y robusto (p. 92).

- ✓ **Datos requeridos para la aplicación**

El SWAT, como un modelo que describe la cuenca, requiere información espacial y temporal de la cuenca del estado actual de la cuenca del estudio. Según la documentación estándar de (Neitsch et al., 2009, p. 27) y a la aplicación recientes de (Osorio y Cerquera, 2020). Los principales insumos incluyen:

a) Topografía: Modelo de Elevación Digital (MED) delimita la red de drenaje y calcula las pendientes.
b) Datos climáticos: series temporales diarias de precipitación, temperaturas máxima y mínima, radiación solar, velocidades del viento, humedades relativas, potenciales de evapotranspiración.
c) Cobertura boscosa y sus usos: mapas de clasificación de vegetación y actividades antrópicas.
d) Propiedades edáficas: caracterización físicas e hidrológicas del suelo por unidad de respuesta hidrológica (HRU).
e) Propiedades físicas del suelo en la Unidad de Respuesta Hidrológica.

- ✓ **Aplicación del swat en la evaluación del balance hídrico**

ArcSWAT es una extensión de ArcGIS desarrollada como interfaz gráfica de usuario para el modelo SWAT2005 (soil and wáter assessment tool), el cual es un paquete de análisis de datos geográficos diseñado para ayudar a crear los ficheros de entrada SWAT y analizar en concreto la información resultante de simulaciones mediante el uso de las características principales de ArcGIS (Natalia, 2010), usando la interface puede:

- Crear ficheros de entrada a partir de las tablas y mapas ráster de ArcGIS

- Ejecutar del modelo SWAT 2005 sin tener que salir de la interfaz.
- Mostrar los resultados de SWAT mediante el uso de los diferentes documentos de ArcGIS como mapas, gráficos y tablas (p. 23).

3.2.8. Producto grillado pisco

Llauca (2021) en su artículo define como el conjunto de datos hidrometereológicos PISCO que presentan una cobertura tal de todo el territorio peruano, incluyendo las cuencas trasfronterizas. Se caracteriza por contener sub productos grillados de precipitación (P), temperatura de aire (TA) y evapotranspiración (PET); así, tiene una resolución horizontal de 0.1 grados y un paso de tiempo diario. Sin embargo. Llauca et al., (2021) implementaron el sub producto PISCO_HyM_GR2M, que contiene simulaciones mensuales de caudales a nivel nacional en formato de tabular (p. 10).

3.2.9. Análisis de sensibilidad

Siguiendo lo que nos aportan Arnold et al., (2012), el análisis de sensibilidad vendría a ser la etapa decisiva para poder cuantificar la respuesta de las variables de salida como el caudal o el transporte de sedimentos frente a variaciones en los datos de entrada. Este procedimiento permite jerarquizar los parámetros según su nivel de impacto, lo cual agiliza la calibración del modelo y mínima de forma significativa los márgenes de incertidumbre en las simulaciones.

Tabla 2

Parámetros clasificados por sensibilidad en SWAT

categoría	Parámetros más sensibles	influencia
Hidrología	CN2(número de curva), AL PHA_BF (factor de flujo base), ESCO (compensación de evaporación)	Afectan el caudal y la infiltración
Sedimentos	USLE_P (practica de manejo), USLE_C (cobertura de suelo)	Impactan la erosión y transporte de sedimentos

Calidad de agua	SOL_N03 (nitrato en suelo), SOL_ORGP (fosforo orgánico).	Determina la carga de nutrientes

Nota. Elaboración propia.

3.3. Definición de términos

- **Evaluación:**

"Es la acción y consecuencia de evaluar, un verbo cuya etimología se remota al francés evaluar y que permite indicar, valorar, establecer, apreciar o calcular la importancia de una determinada cosa o asunto" (Perez y Gardey, 2021).

- **Recurso hídrico:**

"Los recursos hídricos constituyen la totalidad de las reservas de agua disponibles en el planeta que pueden ser utilizadas de manera directa o indirecta por los sistemas humanos y naturales" (Gambin, 2025).

- **Calibración:**

Según el laboratorio de ingeniería y metrología certificada (IME, 2024) la calibración implica la comparación cuantitativa entre las mediciones de un instrumento y la de un patrón de referencia, estableciendo las desviaciones sistemáticas y sus correspondientes correcciones para asegurar la confiabilidad de los datos.

- **Clima:**

"El clima terrestre es producto de la constante y compleja interacción entre la atmosfera, los océanos, las capas de hielo y nieve, los continentes y, muy importante, la vida en el planeta" (Conde, 2007, p. 5).

- **Proyecciones climáticas:**

"Son simulaciones técnicas de la evolución del clima durante el siglo XXI según los escenarios de emisiones de gases con efecto invernadero" (Gencat, 2020).

- **Crisis hídrica:**

"Se refiere a la abundancia volumétrica, o falta de la misma, de suministro de agua. Esto se calcula típicamente como una relación de consumo de agua humana a suministro de agua disponible en un área determinada" (Shulte, 2013).

- **Estrés hídrico:**

"Se refiere a la capacidad, o falta de ella, para satisfacer la demanda humana y ecológica de agua. En comparación con la escasez, el estrés del agua es un concepto más inclusivo y más amplio" (Shulte, 2013).

- **Hidrología:**

"La hidrología es la disciplina que se ocupa de mapear todas las aguas presentes en la superficie, lo que facilita su gestión y conservación ante actividades nocivas como las vinculadas a la iniciativa humana" (Munilla, 2025).

- **Déficit hídrico:**

"Puede ser causado por cambios climáticos tales como patrones climáticos alterados incluyendo sequias o inundaciones, así como el aumento de la contaminación y el aumento de la demanda humana de agua, incluso su uso excesivo" (SENAMHI, 2021, p. 12).

- **Superávit hídrico:**

"Es cuando existe una mayor cantidad de agua en determinado periodo, superior en cantidad a las necesidades de los titulares de licencia de agua" (Galvez, 2023).

- **Uso consuntivo:**

"El uso consuntivo es el agua que consumen los cultivos durante su desarrollo, equivalente a la evapotranspiración, compuesta por transpiración y la evaporación" (Garay, 2009).

- **Uso no consuntivo:**

“Los usos no consuntivos del agua suponen una utilización del agua, pero no su consumo y no requieren que el agua se extraída de su medio natural (Zarza, 2025).

IV. Metodología

4.1. Tipo y nivel de investigación

4.1.1. Tipo de investigación

El tipo de investigación fue aplicada, según Behar (2008) “indica que una investigación es de tipo aplicada por su práctica dinámica activa para amplificar los conocimientos ya existentes donde se presente aplicar de manera directa o solo es amplificar teorías existentes”. (p. 87)

4.1.2. Nivel o alcance de investigación

La presente investigación es de nivel descriptivo tal como afirma Arias (2021), “en este tipo de estudios se observa, describe y fundamentan varios aspectos del fenómeno, no existe la manipulación de las variables, tampoco la búsqueda de causa efecto” (p. 70)

4.2. Diseño de investigación

Según Hernández et al., (2014). menciona que “El diseño es un plan o estrategia que se desarrolla para obtener la información que se requiere en una investigación y responder al planteamiento”.

La presente investigación fue de diseño no experimental, porque se basó en la recopilación de datos y análisis de datos existentes, así como en el uso de modelos y herramientas de simulación para comprender y predecir los efectos del cambio climático en el balance hidro de la cuenca del rio Mariño.

4.3. Ámbito temporal y espacial

4.3.1. Temporal

La presente investigación comprendió la ejecución entre el año 2024 y 2025, para obtener los datos para el periodo histórico se trabajó desde el año 1985 al 2015 y para el periodo futuro desde (2035 al 2065; 2069 al 2099).

4.3.2. Espacial

El área de interés comprende la unidad hidrográfica del rio Mariño, localizada en la provincia de Abancay, departamento de Apurímac. Esta demarcación territorial representa

el ámbito espacial donde se aplicará el modelo de simulación y el análisis de los recursos hídricos.

4.4. Población y muestra

Población

Para Hernández et al. (2014) la población “Es el conjunto de todos los casos que concuerden con determinadas especificaciones, básicamente es el universo conformado por todos los elementos de estudio” (p. 176).

Por lo cual la población de la presente investigación es la cuenca del rio Mariño con un área de 221.16 km², de la ciudad de Abancay, departamento de Apurímac.

Muestra

Lopez & Fachelli (2015) indica que la muestra “Es una parte o subconjunto de unidades representativas de un conjunto llamado población o universo, seleccionadas en forma aleatoria, y que se somete a observación científica”. (p. 87)

La muestra de la presente investigación es la cuenca del rio Mariño con área de 221.16 km², por lo es igual a la población.

4.5. Instrumentos

La investigación adoptó una metodología cuantitativa, por lo que se sustentó una rigurosa revisión bibliográfica que incluyo tesis, artículos científicos y literatura especializada. Así mismo se recurrieron a datos geoespaciales provenientes de plataformas del alto nivel como ALOS PALSAR, COPERNICUS, Mapbiomas, fundamentales para establecer los criterios técnicos y procesos metodológicos del estudio.

Con el fin de realizar la ejecución del modelo SWAT, se integraron registros meteorológicos provenientes de SENHAMI y datos utilizados del proyecto: “desarrollando estrategias de resiliencia urbana ante el cambio climático en la microcuenca Mariño componente N°2” (Consorcio agua para Abancay, 2023). La modelación del balance hídrico, tanto en condiciones actuales como proyectadas, se fundamentó en información cartográfica detallada, formato ráster. Se utilizaron las series grilladas de la plataforma de

PISCO para validar y fortalecer la precisión de las variables de temperatura y precipitación en la cuenca. este enfoque permite disponer de una malla de datos robusta, esencial para modelar de manera fidedigna la variabilidad climática en el ámbito de estudio.

- Instrumentos de medición meteorológica
- Herramientas de modelado (swat, RStudio, QGIS Desktop 2.6.1(QGIS), Excel).
- Producto grillado pisco
- Datos topográficos: modelos digitales de elevación (DEM).
- Datos de cobertura y uso de suelos.

4.6. Procedimientos

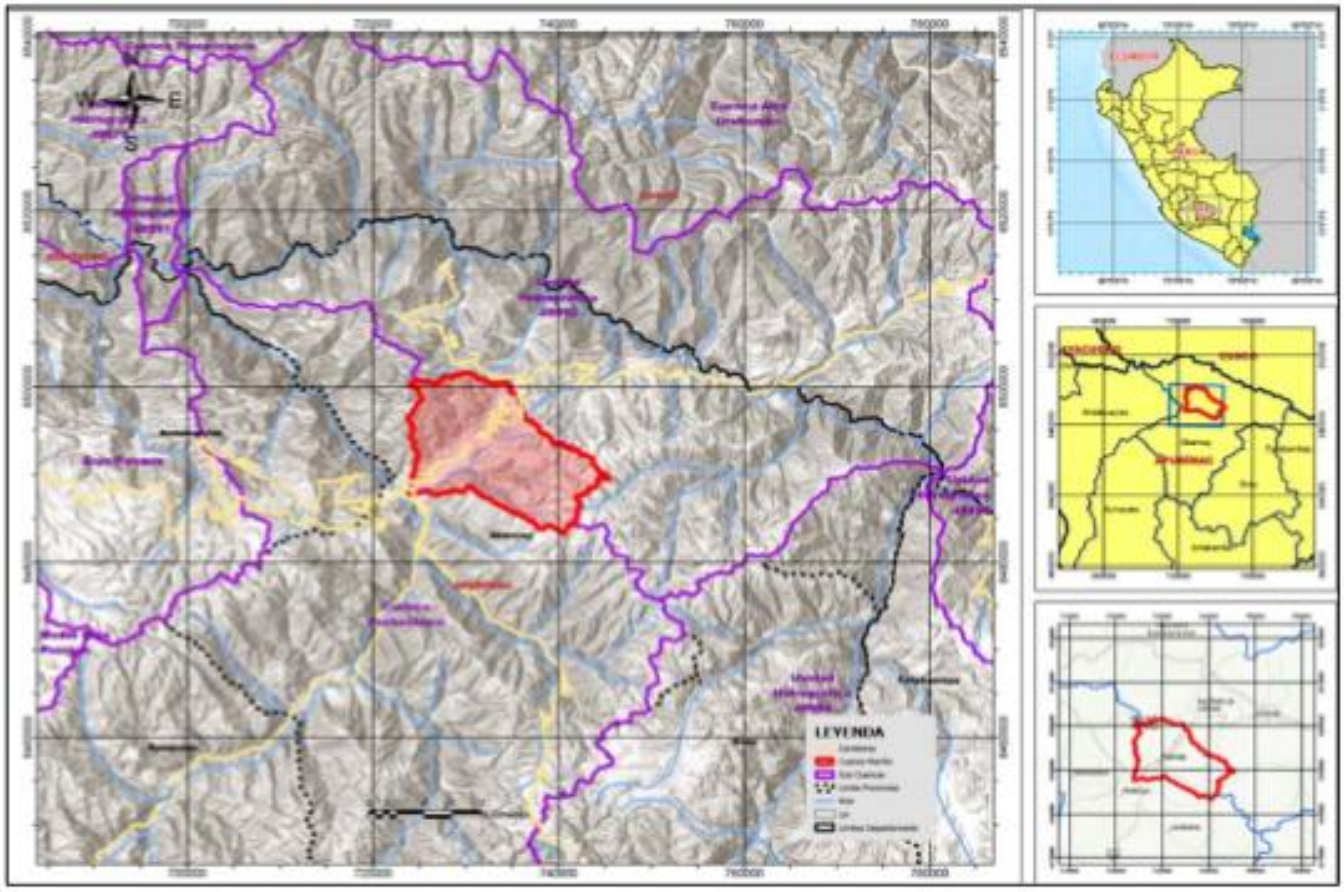
A. Área de estudio:

El modelo hidrológico fue realizado en el área de la cuenca del río Mariño que está situada entre las siguientes coordenadas geográficas: 72°43´16” a 72°56´14” de Longitud Oeste y 13°32´29” a 13°42´20” de Latitud Sur. Desde el punto de vista politico se encuentra en los distritos de Abancay y Tamburco de la Provincia de Abancay, Región Apurímac.

La cuenca del río Mariño cuenta con las siguientes delímitaciones: por el Norte con la cuenca del río Chalhuahuacho, por el Sur con la cuenca del río Vilcabamba, por el Oeste con la cuenca del río Pachachaca y por el Este con la cuenca del río Antilla.

Figura 10

Delimitación de la cuenca del rio Mariño



Nota. Cuenca del rio Mariño

Tabla 3

Parámetros en la cuenca del rio Mariño

	PARÁMETROS		UNIDAD DE MEDIDA	MARIÑO
PARÁMETROS DE FORMA	área de la cuenca		km²	221.16
	perímetro de la cuenca		km²	86.7
	factor de forma de Horton (Kf)		-	0.15
	coeficiente de compacidad		-	1.64
	rectángulo equivalente	lado mayor	km	37.83
		lado menor	km	5.85
PARÁMETROS DE RELIEVE	altitud media de la cuenca		msnm	3790
	pendiente de la cuenca	altitud máxima	msnm	5201
		altitud mínima	msnm	1781
		quidist. Curvas	km	0.05
		long. Curvas	km	2900.58

		pendiente media	%	44.86
	coeficiente orográfico		-	0.065
PARAMETROS DE LA RED HIDRICA	tipo de corriente		-	perenne
	longitud máxima		km	24.66
	longitud total de los recursos de agua		km	270.69
	densidad de drenaje		km/ km²	1.22
	cotas del cauce principal	altitud máxima	msnm	4360
		altitud mínima	msnm	1750
	pendiente media del rio principal		m/m	0.11
	tiempo de concentración		hora	2.74

Nota. Actualización del balance hídrico en la cuenca del rio Mariño

B. Recopilación de datos

Antes de realizar el modelamiento en el modelo hidrológico SWAT, requiere diferentes datos, que fueron obtenidas de una variada fuente, con el siguiente orden como son: i) La topografía del área mediante un modelo digital de elevación (DEM) proveniente del sensor ALOS PALSAR, con una resolución espacial de 12.5 metros. Este insumo, obtenido a través de la plataforma ASF DATA SEARCH (university of Alaska system), fue fundamental para realizar la delimitación automatizada de las subcuencas y la caracterización de las pendientes, garantizando una representación fidedigna del relieve en la unidad hidrográfica. ii) el uso de suelos fue determinado mediante la información cartográfica de la plataforma MapBiomas Peru, empleado el mapa de cobertura del año 2015. Este insumo se obtuvo en formato GeoTif con un método de comprensión LZW, garantizando la integridad de los datos espaciales. Así mismo se realizó la descarga de la leyenda de código en (código de leyenda - colección 3). Obteniendo cuyos valores de los usos de suelo que fueron: de 10 de agricultura (AGRL), 20 bosque (FRST), 30 pastizales (PAST), 40 urbano (URBN), 80 bofedales (WETEL) y 50 agua (WATR), iii) el tipo de suelo fue determinado mediante la base digital soil map of te worl (DSMW)-FAO-SOIL- de resolución espacial de 1000m, donde se determinó la presencia de suelos litosolicos con una composición granulométrica de tipo franco arcillo-arenoso, insumo fundamental para

el cálculo de la infiltración en el balance hídrico, iv) los datos de precipitación y temperaturas diarias fueron obtenidos del producto grillado PISCO operativo, así como también se realizó la corrección de sesgo de quantile deta mapping (QDM), los caudales diarios fueron obtenidos de la estación hidro meteorológica Santa Rosa, v) los datos climáticos GCM son tomados de la página web COPERNICUS, NEX-GDDP-CMIP6, utilizando dos escenarios: el SSP585 el pesimista (escenario en el cual nos permite simular) y el SSP245 el optimista, las cuales nos ayudaron a la determinación de la comparación de los resultados del cambio climático en dos periodos las cuales: 01 de septiembre del 1984 al 01 agosto del 2014; 01 de septiembre 2069 al 01 de agosto del 2099.

Tabla 4

Descripción de datos utilizados

datos	descripción
Topografía	Modelo digital de elevación (DEM), ALOS PALSAR de resolución espacial de 12.5
Uso/cobertura de suelo	mapa de cobertura y usos de suelos de la página de web MapBiomas Perú
Tipo de suelos	digital soil map of te worl (DSMW)-FAO-SOIL- de resolución espacial de 1000m
Precipitación	producto grillado PISCO operativo-precipitación a resolución espacial de -10km
Temperatura	producto grillado PISCO operativo de temperatura máxima y mínima a resolución espacial de -10km
Caudales observados	Estación hidrometereológica de Santa Rosa
Cambio climático	Proyecciones climáticas escaladas de precipitación y temperatura a resolución espacial - NEX-GDDP-CMIP6

Demanda de agua	Datos obtenidos del INEI, y elaboración de proyecciones poblacionales y demanda de agua para consumo y riego.

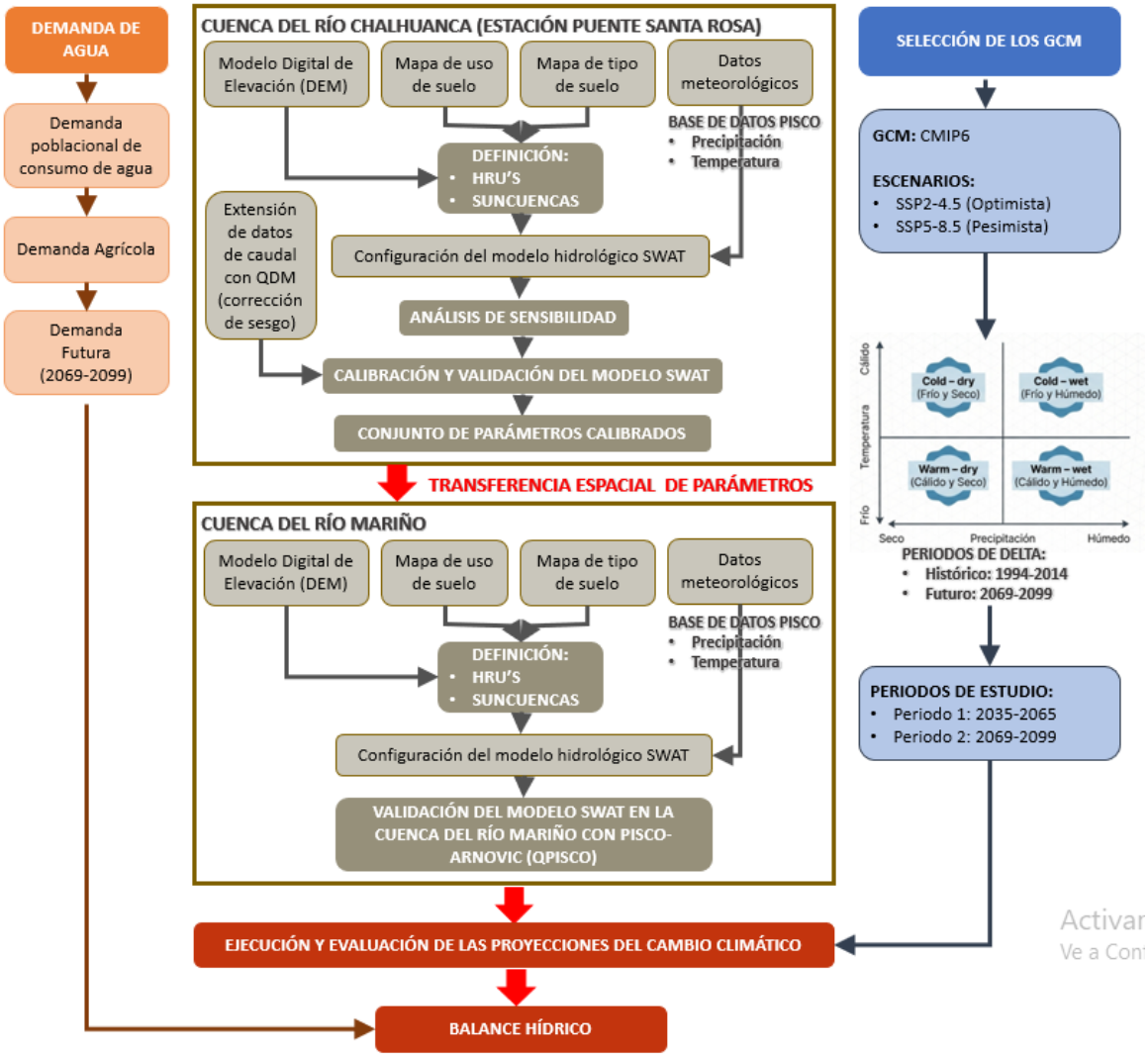
Nota. Elaboración propia.

C. Diagrama del estudio de investigación.

Se presenta el flujo metodológico para el desarrollo de la presente investigación, comprende las siguientes etapas fundamentales: (i) configuración del modelo hidrológico SWAT para lo cual insertamos los datos obtenidos como el DEM, usos de suelo, tipo de suelo y datos meteorológicos, ii) calibración y validación del modelo hidrológico SWAT se realizó con respecto a los datos obtenidos de los caudales observados del producto grillado PISCO y datos obtenidos de la estación hidrometereológica de Santa Rosa, para la cuenca de Santa Rosa (iii) para este proceso se trabajó con los datos de los GCM para la precipitación y temperaturas (12 y 15 modelos respectivamente), del CMIP6 para los escenarios SSP2-4.5 y SSP5-8.5 con la finalidad de obtener seis escenarios de cambio climático utilizando cambios deltas para a mediana y los percentiles de 90 % y 10% de los GCM para los periodos de evaluación de 2035-2065 y 2069-2099 (tiempo futuro) y 1984-2014 (tiempo actual), (iv) ejecución y evaluación del modelo hidrológico para el cambio climático con los datos obtenidos anteriormente, (v) para la obtención de la demanda de agua se halló la tasa de crecimiento con una proyección de la población actual y fututa tomando en cuenta los datos obtenidos por EMUSAP ABANCAY, para luego poder hallar la demanda de agua de consumo humano y riego, (vi) resultados del balance hídrico presente y futuro, así mismo Los resultados del análisis estadístico se interpretaron para comprender los posibles impactos del cambio climático en el balance hídrico de la cuenca del río Mariño.

Figura 11

Diagrama del SWAT



Nota. Elaboración propia del esquema del balance hídrico

4.7. Análisis de datos

La interpretación de los resultados se basará en las simulaciones obtenidas con el modelo SWAT. El análisis integrara métricas cuantitativas, diagramadas de flujo y tablas de datos para examinar las variaciones en los componentes del ciclo hidrológico, asegurando una presentación clara y estructurada de la respuesta de la cuenca.

4.8. Consideraciones éticas

Al momento de llevar acabo esta investigación tuvimos en cuenta los procedimientos que consideramos apropiados. Por lo que ay que seguir los principios éticos de inicio a fin del proceso apegándose plenamente al reglamento de grados y títulos de la facultad de ingeniera de la universidad tecnológica de los andes.

Los documentos, los registros, los datos que se consideraron para la incorporación de la investigación son verídicos, en vista de que, para no incurrir en faltas éticas como el plagio, la falsificación de fuentes, el no citar bibliógrafa, etc., se está considerando fundamentalmente desde la presentación de la tesis. Por tal razón, nos suscribimos a las pruebas necesarias de validación del contenido de este trabajo de investigación.

V. Resultados y discusión

5.1. Resultados

5.1.1. Análisis de sensibilidad (en base de la cuenca santa rosa)

Tabla 5

Parámetros sensibles para evaluación de modelos hidrológicos

ítems	parámetros	Abrev.	valores	proceso
1	Numero de curva de condición de humedad II de SCS para áreas permeables (%).	CN2	20.54	escorrentía
2	Coeficiente de compensación de la evaporación del suelo.	ESCO	0.08	evaporación
3	Coeficiente de percolación.	PERCO	0.73	evaporación
4	Numero de curva para condición de humedad III.	CN3_SWF	0.15	evaporación
5	Coeficiente de evaporación de plantas.	PETCO	0.87	evaporación
6	Coeficiente de retraso de la escorrentía, días.	SURLAG	1.51	escorrentía
7	Rugosidad de Manning para canales	CHN	0.16	evaporación
8	Capacidad de agua disponible.	AWC	0.07	escorrentía
9	Conductividad hidráulica saturada.	K	1445.8	evaporación
10	Tiempo de viaje del flujo lateral.	LAT_TTIME	4.8	evaporación

Nota. Elaboración propia

El análisis de sensibilidad para la cuenca santa rosa permitió identificar 10 parámetros clave tras 300 iteraciones de modelado. Según el análisis del P-valor, las variables asociadas a la evaporación y a escorrentía resultaron ser las más significativas destacadas del CN2 (Numero de curva de escorrentía), con una modificación relativas de 20.54%. La alta sensibilidad de este parámetro confirma su importancia crítica en el modelo SWAT, al determinar cuanta lluvia se convierte efectivamente en el flujo superficial.

La precisión de las simulaciones dependió de la calibración de indicadores lave como el **SURLAG** (coeficiente de retardo de escorrentía superficial) con un valor de 1.51,

permitiendo modelar la velocidad de flujo hacia los cauces. Completamente, se asignó un valor de 1445.8 a la conductividad hidráulica saturada(K), parámetro esencial que condiciona la capacidad de infiltración y los procesos de evaporación en el sustrato de la cuenca.

De los 10 parámetros 7 son asociados a procesos de evaporación y los tres restantes afectan a la generación de escorrentía. El método de modificación usado en 9 de los 10 parámetros fue **absval** (valor absoluto) y el **pctcbg** (cambio porcentual) solo en el parámetro **CN2**.

Al determinar los parámetros con mayor incidencia en el comportamiento de la cuenca, se establece una base sólida para el ajuste del modelo. Esta priorización de variables facilita una calibración precisa y una validación coherente, optimizando la capacidad predictiva del SWAT frente a las condiciones locales.

5.1.2. Modelación en la cuenca del rio Mariño

El ajuste del modelo se llevó mediante una serie de 300 simulaciones iterativas, integrando los parámetros más sensibles con mayor impacto hidrológico. Los resultados obtenidos para el periodo de calibración evidencian una estrecha relación entre Qobs y Qsim. La sincronía observada en los hidrogramas ratifica que el modelo es una herramienta fiable para simular el régimen hídrico, manteniendo una adecuada correspondencia con la estacionalidad histórica. El desempeño fue validado mediante métricas estadísticas, obteniendo un rendimiento NSE=0.49, un KGE=0.68, un RMSE=88.46, un PBIAS= 16.80%; y R^2=0.49.

En cuanto al grafico de dispersión de calibración, la aparente relación lineal inversa entre Qsim y Qobs responde al orden de representación de los datos y no afecta la precisión del modelo, la cual se respalda con el análisis del histograma de frecuencias.

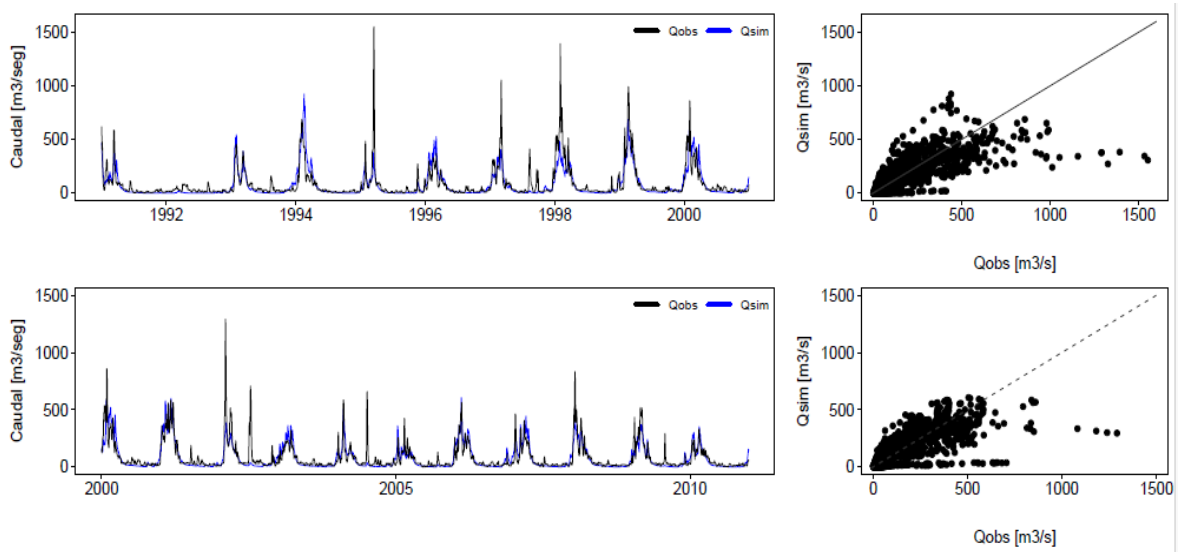
Para la validación (2001-2010), tanto el histograma como el grafico de dispersión confirman la robustez del modelo, mostrando una estrecha alineación entre ambas series y manteniendo su capacidad predictiva bajo condiciones diferentes. Obteniendo los valores

de las métricas de rendimiento NSE=0.58; KGE=0.77; RMSE=72.33; PBIAS= 9.50; y R2=0.58.

Los resultados obtenidos en ambos periodos (calibración y validación) evidencian una respuesta consistente del modelo a través del tiempo. Esta estabilidad garantiza la confianza en el uso de estas simulaciones para estudios hidrológicos avanzados y el diseño de estrategias de manejo hídrico en el ámbito local.

Figura 12

Histograma y grafico de dispersión de Calibración y validación de la cuenca Santa Rosa



Nota. El análisis gráfico se estructura en cuatro secciones: la parte superior izquierda ilustra la evolución temporal de los caudales (hidrograma) durante la calibración, mientras que la derecha muestra su respectiva correlación mediante un gráfico de dispersión. En la parte inferior, se repite esta configuración para el periodo de validación, permitiendo verificar la persistencia de la precisión del modelo.

Para el periodo de calibración (1992-2000), el histograma de caudales en la figura 13 muestra una estrecha correspondencia entre caudal observado (Qobs) y el caudal simulado (Qsim), evidenciando que el modelo captura adecuadamente la estacionalidad y magnitud de los eventos hidrológicos. Obteniendo los valores de las métricas de rendimiento NSE=0.49; KGE=0.68; RMSE=88.46; PBIAS= 16.80; y R2=0.49.

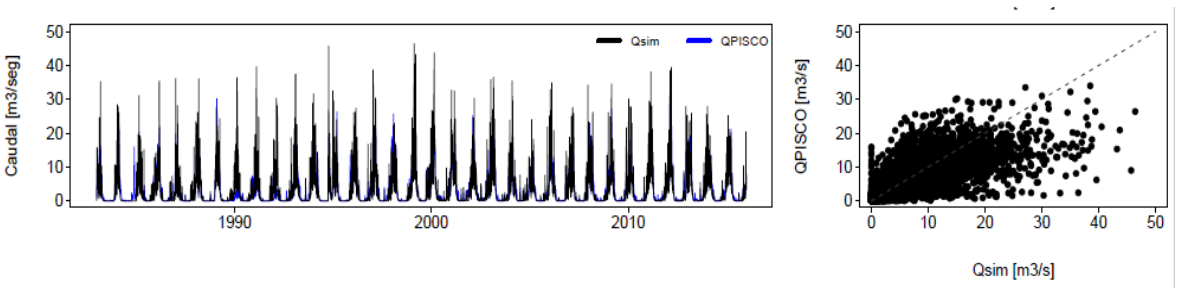
En cuanto al grafico de dispersión de calibración, la aparente relación lineal inversa entre Qsim y Qobs responde al orden de representación de los datos y no afecta la precisión del modelo, la cual se respalda con el análisis del histograma de frecuencias.

Para la validación (2001-2010), tanto el histograma como el grafico de dispersión confirman la robustez del modelo, mostrando una estrecha alineación entre ambas series y manteniendo su capacidad predictiva bajo condiciones diferentes. Obteniendo los valores de las métricas de rendimiento NSE=0.58; KGE=0.77; RMSE=72.33; PBIAS= 9.50; y R2=0.58.

La consistencia de los indicadores de desempeño entre la calibración y validación evidencia la solidez estructural del modelo. Dicha estabilidad temporal asegura que las proyecciones sean representativas de la dinámica hidrología local, validando su uso estratégico en la formulación de políticas de gestión y aprovechamiento del agua en las cuencas Santa Rosa y Mariño.

Figura 13

Histograma y grafico de dispersión de caudales simulado y caudal de Pisco en la cuenca del rio Mariño



Nota. Los resultados de validación para la cuenca del rio Mariño muestran, a la izquierda, el comportamiento de los caudales simulados frente a los observados y, a la derecha, la dispersión y el coeficiente de determinación de este proceso.

La figura 14 presenta el histograma de caudales correspondientes al intervalo de validación (1983-2015). En este se contrastan los caudales simulados (Qsim)- obtenidos mediante el modelo hidrológico SWAT, previamente calibrado y validado en la cuenca

santa rosa y transferido a la cuenca del rio Mariño, y el caudal de referencia (QPisco), obtenido a partir de datos oficiales del SENAMHI.

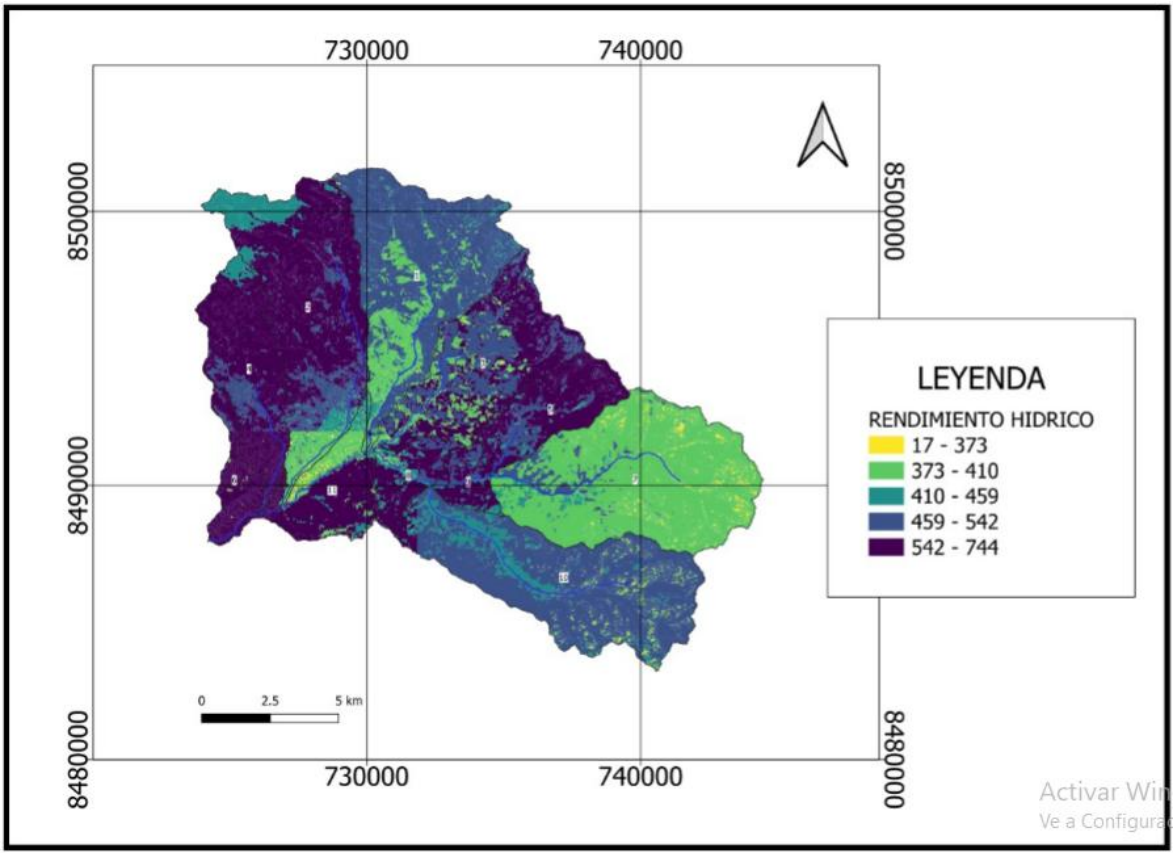
El modelo SWAT mostro un desempeño satisfactorio en la simulación del régimen hídrico, logrando una sincronización precisa con las curvas de ascenso y recesión de los hidrogramas observados. La solidez de la simulación queda respaldada por los indicadores estadísticos obtenidos: un coeficiente de Kling-Gupta (KGE) de 0.75, una eficiencia de Nash-Sutclife (NSE) de 0.51 y un coeficiente de determinación de (R2) de 0.51. así mismo, el PBIAS de 2.60% indica una mínima desviación volumétrica, mientras que el RMSE se situó en 3.33 m3/s. Esto refleja que el modelo capturo adecuadamente la estacionalidad y magnitud de los eventos hidrológicos en la cuenca.

El diagrama de dispersión revela una correlación lineal positiva cercana a la recta de perfecta concordancia, lo que ratifica la capacidad del modelo para replicar con precisión la magnitud de los caudales observados. Por lo cual podemos decir que el modelo es adecuado en condiciones de régimen medio.

A continuación, se exponen los registros de los flujos determinantes y los estados hidrodinámicos simulados. Esta caracterización es fundamental para comprender la distribución del recurso hídrico y la respuesta de la cuenca ante las condiciones climáticas modeladas.

Figura 14

Distribución de rendimiento hídrico en la cuenca del rio Mariño periodo (1983-2015)

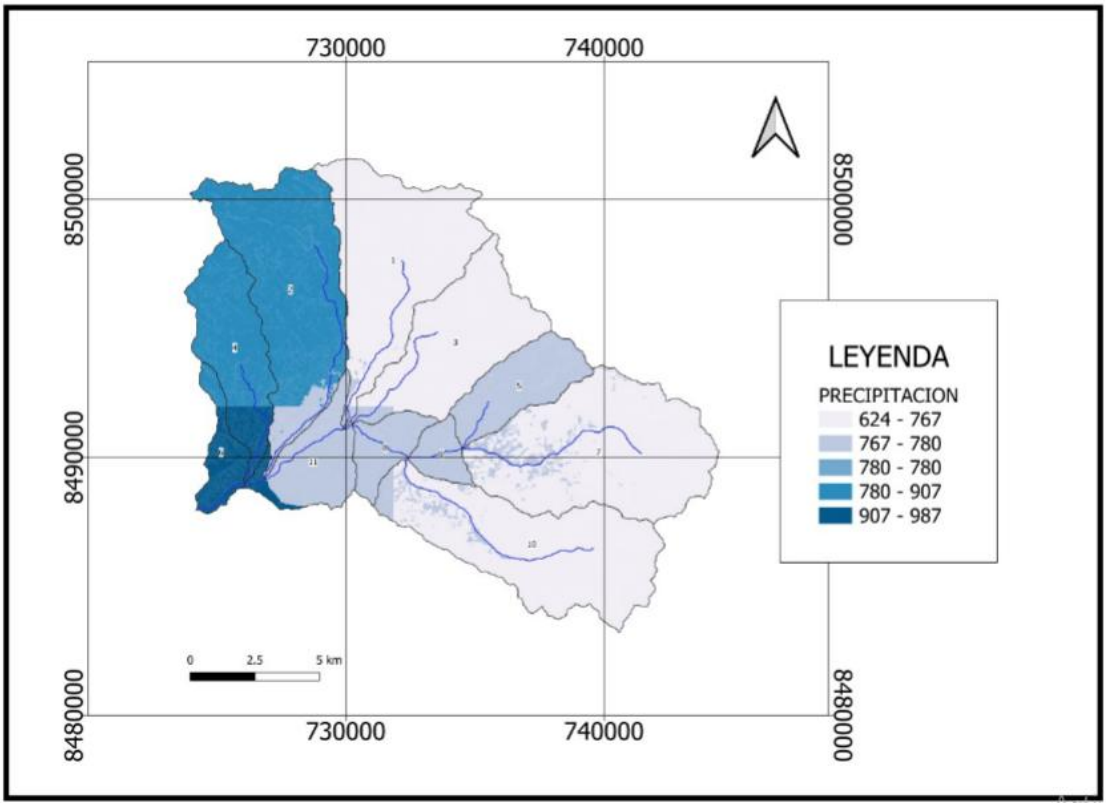


Nota. Elaboración propia

La figura 14 exhibe la variabilidad espacial del rendimiento hídrico de la cuenca del rio Mariño mediante una escala cromática de cinco categorías. Esta clasificación permite diferenciar los niveles de productividad hídrica, que oscilan entre un rango mínimo de 17-373 mm/año (en tonalidades amarillas) y un máximo de 542-744 mm/año (en color morado). Dicha representación cartográfica fundamental para eliminar las áreas con mayor capacidad de generación es correntia y recarga potencial en la cuenca.

Figura 15

Distribución de precipitación en la cuenca del rio Mariño periodo (1983-2015)

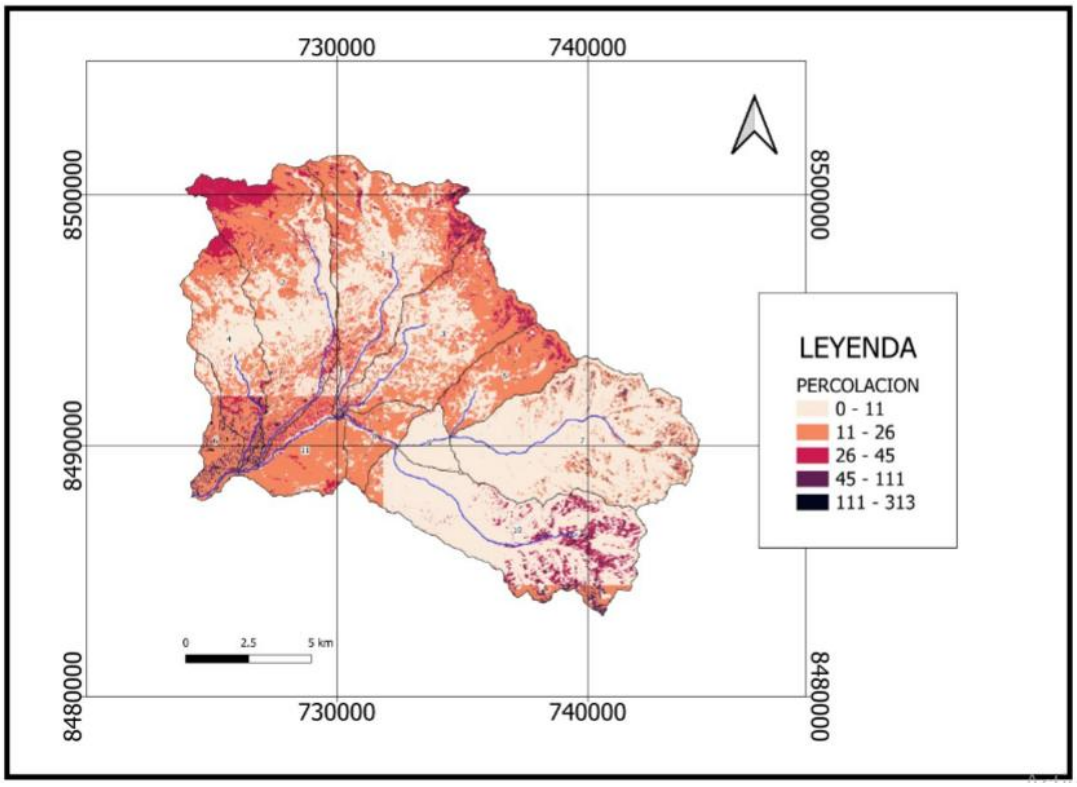


Nota. Elaboración propia

La caracterización pluviométrica del área de estudio se presenta en la figura 15, donde se categorizan en una escala de colores que clasifica los valores en cinco rangos, desde el más bajo (627-776 mm/año), se distinguen de color blanco humo, mientras que las zonas de mayor intensidad (907-987 mm/año), se representan en azul marino. Este parámetro constituye el insumo crítico para modelar la es correntia superficial, estimar la recarga acuífera y determinar la disponibilidad del recurso hídrico en la cuenca.

Figura 16

Distribución de percolación en la cuenca del rio Mariño periodo (1983-2015)

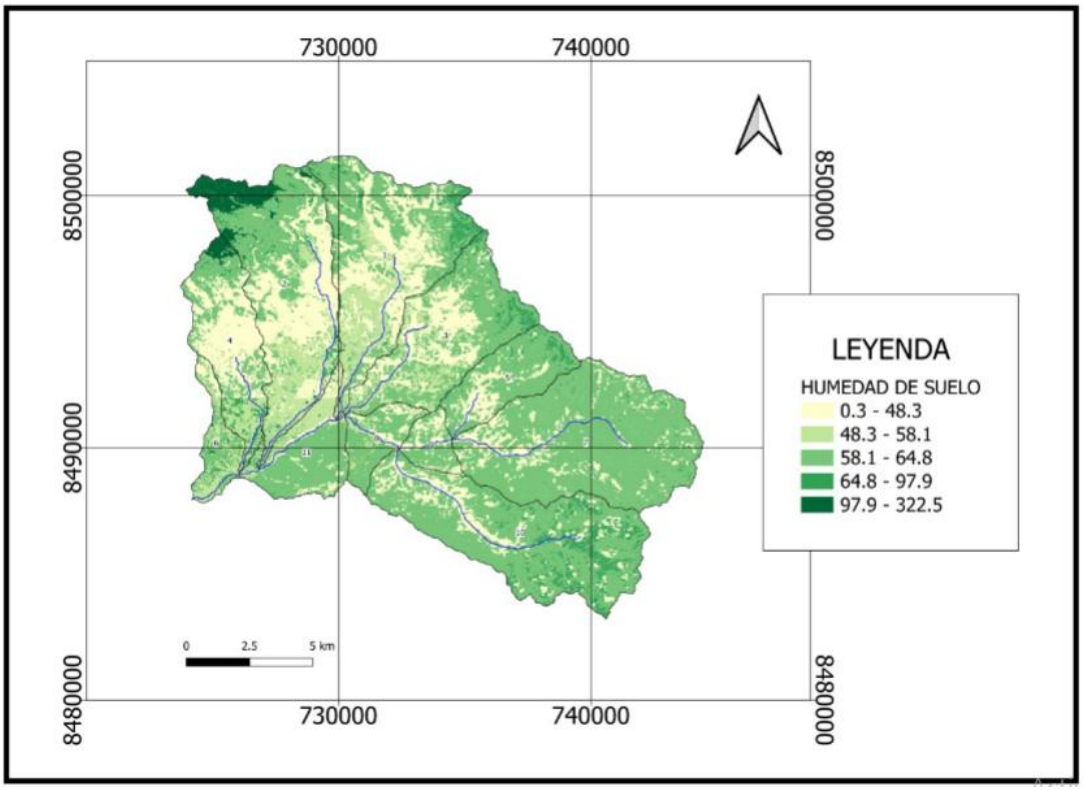


Nota. Elaboración propia

En la figura 16 se representa la variabilidad geográfica de la percolación profunda dentro de la unidad hidrográfica. La clasificación, dividida en cinco niveles, utiliza una escala cromática que resalta los contrastes entre las zonas de mínima recarga (0-11 mm/año, en tonalidades crema), y los sectores con mayor flujo vertical de agua (111-313 mm/año, en color negro). Este indicar es crucial para cuantificar la recarga natural de los acuíferos y delimitar las zonas de mayor potencial para el almacenamiento hídrico subterráneo en la cuenca

Figura 17

Distribución de humedad del suelo en la cuenca del rio Mariño periodo (1983-2015)

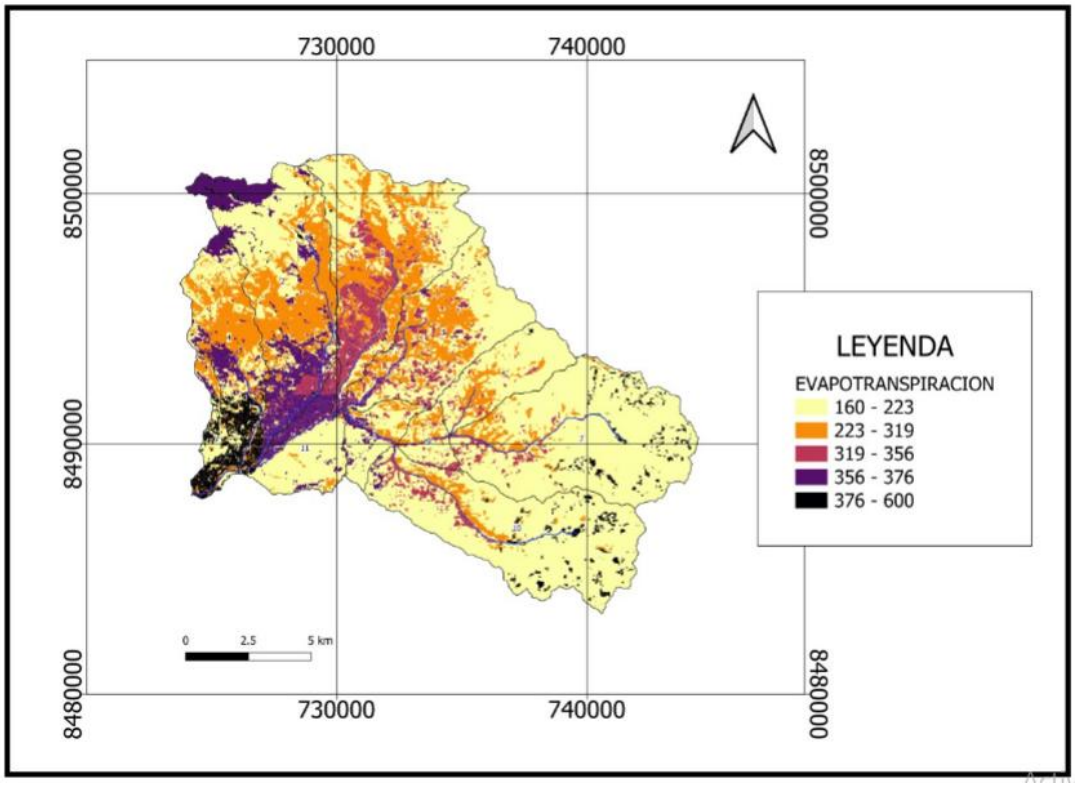


Nota. Elaboración propia.

La figura 17 ilustra la variabilidad geográfica de la humedad del suelo en la unidad hidrográfica del rio Mariño. Mediante una categorización de cinco niveles, el mapa resalta las áreas con menor reserva hidria (0.3-48.3 mm, en tono melón) y aquellas con mayor saturación (97.9-322.5 mm, en verde petróleo). Esta información es crucial para la zonificación de áreas vulnerables a sequias o inundaciones, además de facilitar la ubicación de los sectores estratégicos para la recarga de los acuíferos locales.

Figura 18

Distribución de evapotranspiración en la cuenca del rio Mariño periodo (1983-2015)

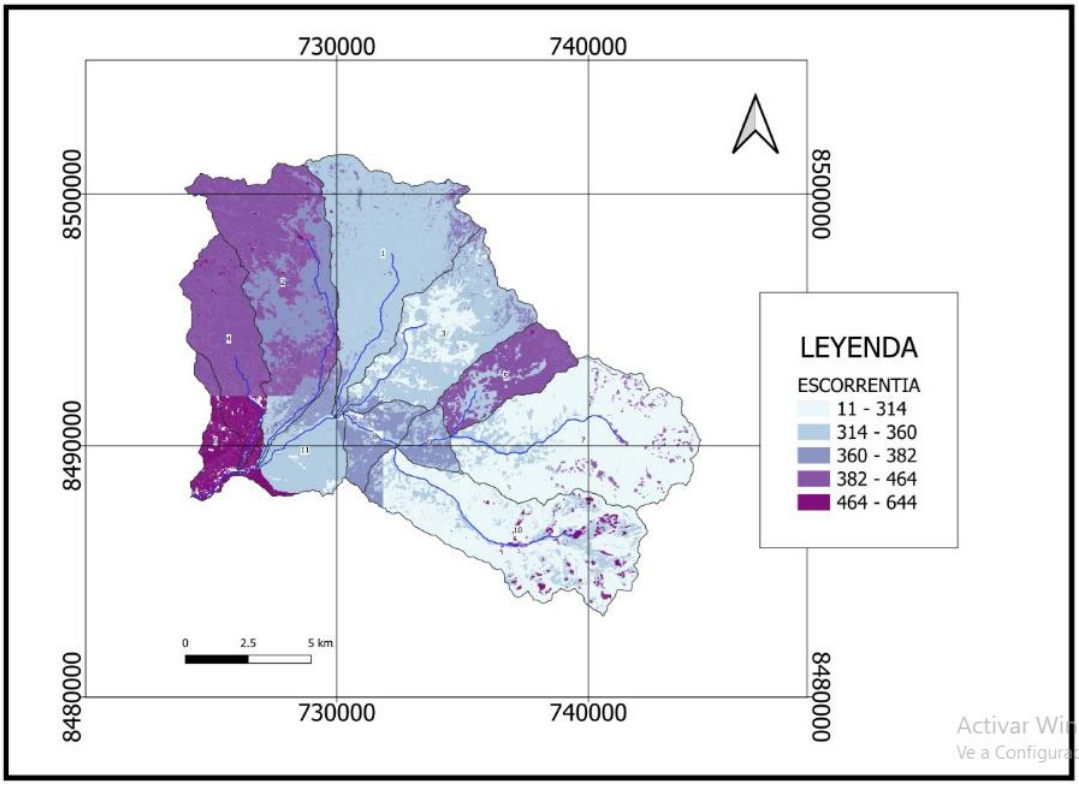


Nota. Elaboración propia.

El mapa de la figura 18 muestra una distribución espacial de la evapotranspiración en la cuenca del río Mariño, utilizando una escala de colores, los valores más bajos (160-223 mm) representados por el color melón, corresponden a zonas con mayor elevación, mientras los valores más altos (97.9-322.5 mm), de color negro, se ubican en zonas cálidas de menor altitud y nubosidad. Estos datos permiten ajustar el modelo de balance hídrico al identificar las áreas con mayor demanda evaporativa debido a las condiciones climáticas locales.

Figura 19

Distribución de escorrentía en la cuenca del rio Mariño periodo (1983-2015)



Nota. Elaboración propia.

En la figura 19 vemos un mapa de la distribución espacial de la escorrentía en la cuenca del rio Mariño, representando mediante una escala de colores que varía desde 11 mm/año (zonas de baja descarga) hasta 644 mm/año (áreas de mayor generación de escurrimiento). Estos datos nos permiten identificar las zonas con mayor producción de escorrentía superficial en la cuenca.

5.1.3. Demanda de agua

5.1.3.1. Demanda de agua actual

Proyección de la población

La estimación de la población actual y sus proyecciones de crecimiento dentro de la cuenca del rio Mariño se realizó utilizando como fuente primaria las estadísticas demográficas del INEI. Completamente, para definir los parámetros de consumo per cápita (dotaciones) y el catastro de conexiones domésticas, se incorporó la información técnica

suministrada por la EPS EMUSAP ABANCAY S.A., asegurando que los cálculos de la demanda hídrica se ajustan a la realidad operativa local.

El estudio delimito su alance a la población urbana de los distritos de Abancay y Tamburco situados en la cuenca del rio Mariño, permitiendo una estimación precisa de las dotaciones actuales y futuras necesarias para el servicio de saneamiento.

Tabla 6

Población de la provincia de Abancay

año del censo	población total	población urbana Abancay	población urbana Tamburco	tiempo
1993	46,997	44795	2202	14
2007	51,462	45864	5598	10
2017	72,277	63106	9171	

Nota: INEI

Calculo de la tasa de crecimiento

Primero se recurrió a los datos oficiales de los últimos censos poblaciones realizados por el INEI a nivel provincial de Abancay con los siguientes años: 1993, 2007 y 2017, considerando para ambos distritos, del sector urbano.

El análisis de la tasa de crecimiento poblacional para Abancay, se obtuvo mediante diversos modelos de estimaciones como son: interés simple (r = 2.32%); geométrico (r = 1.97%): exponencial (r = 1.95%). Tras analizar el comportamiento histórico de estas tasas, se consideró por optar el método de crecimiento geométrico debido a su estabilidad y presión para realizar proyecciones demográficas de corto y largo plazo, factores clave para estimar la demanda futura de agua en la cuenca.

Tabla 7

Tasa de crecimiento poblacional

Localidad	Censos			Tasa De Crecimiento
	1993	2007	2017	
Provincia de Abancay	46997	51462	72277	**1.97%**

Nota. Elaboración propia

5.1.5.2. Demanda de agua futura

Enfoque metodológico para el cálculo de la demanda futura

Para el cálculo de la proyección de crecimiento poblacional se ha realizado diferentes metodologías. Así mismo se optó por el promedio de las tazas de crecimiento de cada método.

Por otro lado, se ha establecido como población inicial al año 2023, puesto que se tiene datos emitidos por la EPPS EMUSAP ABANCAY, siendo este el dato oficial y tomando como año base la del 2025 con las fórmulas y métodos empleados considerando la base de población del año 2023.

a) Método del cálculo de interés simple.

   Ecuación: Pf= Po (1+ r t)

b) Método del cálculo poblacional geométrica.

   Ecuación: Pf = Po (1+r) ^t

c) Método del cálculo poblacional exponencial

   Ecuación: Pf = Po (e) ^rt

Proyección de la población del distrito de Abancay.

Tasa=1.97%

Po base= 76359

Tabla 8

Proyección de la población de la provincia de Abancay

AÑOS	AÑO	P. CENSO	INTERES SIMPLE	GEOMETRICA	EXPONENCIAL
	2023	**76359**	**76359**	**76359**	**76359**

	2024	78132	77865	77860
BASE	**2025**	79904	79400	79390
0	2026	81677	80965	80950
1	2027	83450	82562	82541
2	2028	85223	84189	84163
3	2029	86995	85849	85817
4	2030	88768	87542	87503
5	2031	90541	89268	89223
6	2032	92313	91028	90976
7	2033	94086	92823	92764
8	2034	95859	94653	94587
9	2035	97631	96519	96446
10	2036	99404	98422	98341
11	2037	101177	100363	100274
12	2038	102950	102342	102244
13	2039	104722	104359	104254
14	2040	106495	106417	106302
15	2041	108268	108515	108391
16	2042	110040	110655	110521
17	2043	111813	112836	112693
18	2044	113586	115061	114908
19	2045	115359	117330	117166
20	2046	117131	119643	119469
21	2047	118904	122002	121816
22	2048	120677	124408	124210
23	2049	122449	126860	126651
24	2050	124222	129362	129140
25	2051	125995	131912	131678
26	2052	127767	134513	134266
27	2053	129540	137165	136904
28	2054	131313	139870	139595
29	2055	133086	142627	142338
30	2056	134858	145440	145135
31	2057	136631	148307	147988
32	2058	138404	151231	150896
33	2059	140176	154213	153861
34	2060	141949	157254	156885
35	2061	143722	160354	159968
36	2062	145495	163516	163112
37	2063	147267	166740	166317
38	2064	149040	170027	169585
39	2065	150813	173379	172918
40	2066	152585	176798	176316
41	2067	154358	180284	179781
42	2068	156131	183838	183314
43	2069	157903	187463	186917
44	2070	159676	191159	190590

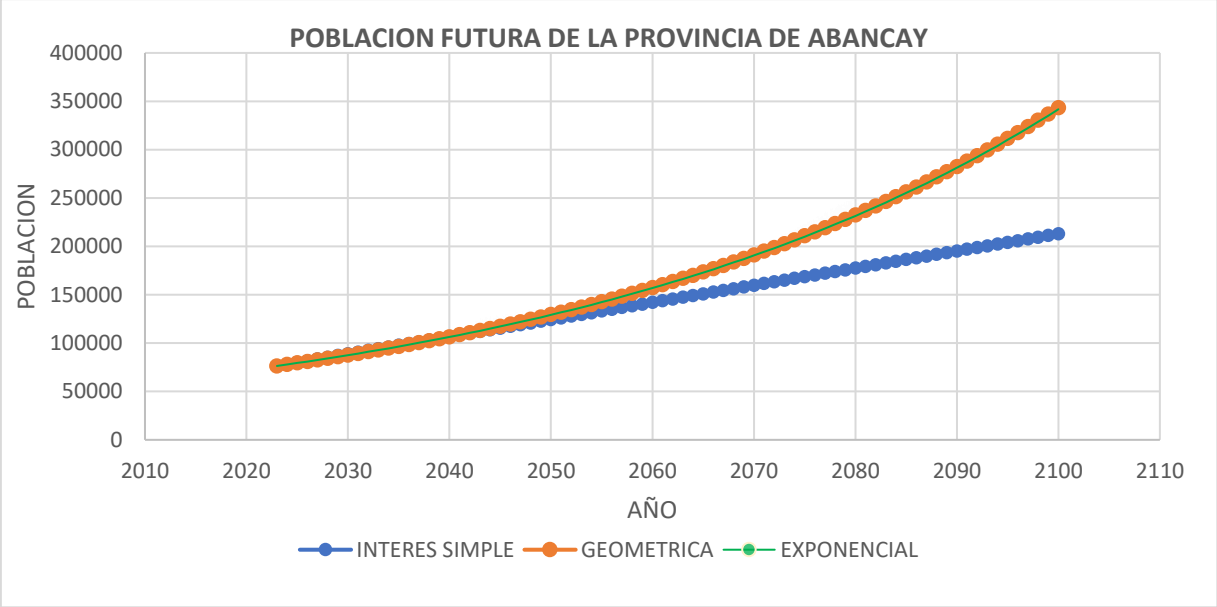
45	2071	161449	194928	194335
46	2072	163222	198771	198154
47	2073	164994	202691	202049
48	2074	166767	206687	206019
49	2075	168540	210762	210068
50	2076	170312	214918	214196
51	2077	172085	219155	218405
52	2078	173858	223476	222697
53	2079	175631	227882	227074
54	2080	177403	232375	231536
55	2081	179176	236957	236086
56	2082	180949	241629	240726
57	2083	182721	246393	245457
58	2084	184494	251251	250280
59	2085	186267	256205	255199
60	2086	188039	261256	260214
61	2087	189812	266407	265328
62	2088	191585	271660	270542
63	2089	193358	277016	275858
64	2090	195130	282478	281280
65	2091	196903	288047	286807
66	2092	198676	293727	292444
67	2093	200448	299518	298191
68	2094	202221	305423	304051
69	2095	203994	311445	310026
70	2096	205767	317586	316118
71	2097	207539	323847	322331
72	2098	209312	330233	328665
73	2099	211085	336744	335124

Nota. Elaboración propia

Al contrastar los diferentes métodos de proyección, se observó que los métodos exponencial y geométrico tienden a sobre estimar la población futura a largo plazo. Ante este escenario, se optó por el método de interés simple como la herramienta de cálculo más representativa para la provincia de Abancay. Este modelo permite una estimación del crecimiento urbano en los distritos de Tamburco y Abancay con un menor margen de error ante proyecciones de larga duración.

Figura 20

Curva de crecimiento poblacional de la zona urbana de la ciudad de Abancay



Nota. Elaboración propia

Análisis de la demanda para el consumo humano

Dotación domestica

Con el propósito de alinear el estudio con el reglamento nacional de edificaciones (RNE), específicamente en el ítem 1.4 de la norma OS.100, la cual exige que la determinación de la dotación domestica se sustente en estudios de consumo específicos. En tal sentido, la metodología adoptada para esta investigación busca dar cumplimento a este marco legal. Justificando técnicamente los valores de consumo empleados para la población de la cuenca del rio Mariño.

De acuerdo con reglamento nacional de edificaciones estipula que, ante la ausencia de estudios de consumo locales, se adoptaran valores referenciales según la clasificación climática. Para sistemas con conexiones domiciliarias, se establece una dotación de 180 l/hab/día en regiones clima frio y de 220 l/hab/día para climas templados o cálidos. Bajo este criterio, dado que la ciudad de Abancay posee un clima templado, se seleccionó una dotación base de 220 l/hab/día para el cálculo de la demanda poblacional.

Tomando en cuenta la densidad de personas por conexión de la información proporcionada por la EMUSAP ABANCAY de 3.173 de personas por conexiones y las

categorías de dotación, la misma que está señalada en el diagnostico presentado, los consumos asignados por categoría serían los siguientes:

Tabla 9

Consumos asignados por categoría

Categorías	**Dotación**			
Domestico	14.84	m3/mes/cnx	120	Lt/hab/dia
Comercial	24.36	m3/mes/cnx	190	Lt/hab/dia
Industrial	27.84	m3/mes/cnx	210	Lt/hab/dia
Estatal	181.24	m3/mes/cnx	1360	Lt/hab/dia
social	66.43	m3/mes/cnx	500	Lt/hab/dia

Nota. Fuente datos de Emusap.

En el cuadro N° 9, se aprecia las dotaciones por categorías, en las cuales la ciudad de Abancay no cuenta con zonas comerciales, zonas industriales, estatales y sociales, por lo cual la dotación de consumo humano corresponde a 120 lt/hab/dia.

Tabla 10

Demanda poblacional

Descripción	**Unidad**	**Datos**
Población Actual	Habitantes	76359
Número de Viviendas	Viviendas	24065
Densidad	Hab./Viv.	3.17
Tasa de Crecimiento	%	1.97%
Porcentaje de Perdidas	%	25%

Nota: elaboración propia.

Tabla 11

Demanda de consumo de agua

AÑO		POBLACION	VIVIENDAS SERVIDAS POR CATEGORIAS				CONSUMO DE AGUA (LT/DIA)		DEMANDA AGUA			
			CONEXIONES DOMESTICAS		**TOTAL, CONEXIONES**		**CONSUMO DOMESTICO**	**CONSUMO TOTAL CONECTADO**	**Qp (lt/s)**	**Qp (m3/año)**	**Qmd (lt/s)**	**Qmh (lt/s)**
			C/MED	**TOTAL**	**C/MED**	**TOTAL**						
2023	Base	76359	17184	17184	17184	17184	8500352.00	8500352.00	122.98	3878297280.00	159.87	245.96
2024	0	77863	17523	17523	17523	17523	8667808.93	8667808.93	125.40	3954614400.00	163.02	250.80
2025	1	79368	17861	17861	17861	17861	8835265.87	8835265.87	127.83	4031246880.00	166.18	255.66
2026	2	80872	18200	18200	18200	18200	9002722.80	9002722.80	130.25	4107564000.00	169.33	260.50
2027	3	82376	18538	18538	18538	18538	9170179.74	9170179.74	132.67	4183881120.00	172.47	265.34
2028	4	83880	18877	18877	18877	18877	9337636.67	9337636.67	135.09	4260198240.00	175.62	270.18
2029	5	85385	19215	19215	19215	19215	9505093.61	9505093.61	137.52	4336830720.00	178.78	275.04
2030	6	86889	19554	19554	19554	19554	9672550.54	9672550.54	139.94	4413147840.00	181.92	279.88
2031	7	88393	19892	19892	19892	19892	9840007.48	9840007.48	142.36	4489464960.00	185.07	284.72
2032	8	89897	20231	20231	20231	20231	10007464.41	10007464.41	144.78	4565782080.00	188.21	289.56
2033	9	91402	20569	20569	20569	20569	10174921.34	10174921.34	147.21	4642414560.00	191.37	294.42
2034	10	92906	20908	20908	20908	20908	10342378.28	10342378.28	149.63	4718731680.00	194.52	299.26
2035	11	94410	21246	21246	21246	21246	10509835.21	10509835.21	152.05	4795048800.00	197.67	304.10
2036	12	95915	21585	21585	21585	21585	10677292.15	10677292.15	154.47	4871365920.00	200.81	308.94
2037	13	97419	21923	21923	21923	21923	10844749.08	10844749.08	156.90	4947998400.00	203.97	313.80
2038	14	98923	22262	22262	22262	22262	11012206.02	11012206.02	159.32	5024315520.00	207.12	318.64
2039	15	100427	22600	22600	22600	22600	11179662.95	11179662.95	161.74	5100632640.00	210.26	323.48
2040	16	101932	22939	22939	22939	22939	11347119.88	11347119.88	164.17	5177265120.00	213.42	328.34
2041	17	103436	23277	23277	23277	23277	11514576.82	11514576.82	166.59	5253582240.00	216.57	333.18
2042	18	104940	23616	23616	23616	23616	11682033.75	11682033.75	169.01	5329899360.00	219.71	338.02
2043	19	106444	23954	23954	23954	23954	11849490.69	11849490.69	171.43	5406216480.00	222.86	342.86
2044	20	107949	24293	24293	24293	24293	12016947.62	12016947.62	173.86	5482848960.00	226.02	347.72
2045	21	109453	24632	24632	24632	24632	12184404.56	12184404.56	176.28	5559166080.00	229.16	352.56

2046	22	110957	24970	24970	24970	24970	12351861.49	12351861.49	178.70	5635483200.00	232.31	357.40
2047	23	112462	25309	25309	25309	25309	12519318.43	12519318.43	181.12	5711800320.00	235.46	362.24
2048	24	113966	25647	25647	25647	25647	12686775.36	12686775.36	183.55	5788432800.00	238.62	367.10
2049	25	115470	25986	25986	25986	25986	12854232.29	12854232.29	185.97	5864749920.00	241.76	371.94
2050	26	116974	26324	26324	26324	26324	13021689.23	13021689.23	188.39	5941067040.00	244.91	376.78
2051	27	118479	26663	26663	26663	26663	13189146.16	13189146.16	190.82	6017699520.00	248.07	381.64
2052	28	119983	27001	27001	27001	27001	13356603.10	13356603.10	193.24	6094016640.00	251.21	386.48
2053	29	121487	27340	27340	27340	27340	13524060.03	13524060.03	195.66	6170333760.00	254.36	391.32
2054	30	122991	27678	27678	27678	27678	13691516.97	13691516.97	198.08	6246650880.00	257.50	396.16
2055	31	124496	28017	28017	28017	28017	13858973.90	13858973.90	200.51	6323283360.00	260.66	401.02
2056	32	126000	28355	28355	28355	28355	14026430.84	14026430.84	202.93	6399600480.00	263.81	405.86
2057	33	127504	28694	28694	28694	28694	14193887.77	14193887.77	205.35	6475917600.00	266.96	410.70
2058	34	129009	29032	29032	29032	29032	14361344.70	14361344.70	207.77	6552234720.00	270.10	415.54
2059	35	130513	29371	29371	29371	29371	14528801.64	14528801.64	210.20	6628867200.00	273.26	420.40
2060	36	132017	29709	29709	29709	29709	14696258.57	14696258.57	212.62	6705184320.00	276.41	425.24
2061	37	133521	30048	30048	30048	30048	14863715.51	14863715.51	215.04	6781501440.00	279.55	430.08
2062	38	135026	30386	30386	30386	30386	15031172.44	15031172.44	217.46	6857818560.00	282.70	434.92
2063	39	136530	30725	30725	30725	30725	15198629.38	15198629.38	219.89	6934451040.00	285.86	439.78
2064	40	138034	31064	31064	31064	31064	15366086.31	15366086.31	222.31	7010768160.00	289.00	444.62
2065	41	139538	31402	31402	31402	31402	15533543.24	15533543.24	224.73	7087085280.00	292.15	449.46
2066	42	141043	31741	31741	31741	31741	15701000.18	15701000.18	227.16	7163717760.00	295.31	454.32
2067	43	142547	32079	32079	32079	32079	15868457.11	15868457.11	229.58	7240034880.00	298.45	459.16
2068	44	144051	32418	32418	32418	32418	16035914.05	16035914.05	232.00	7316352000.00	301.60	464.00
2069	45	145556	32756	32756	32756	32756	16203370.98	16203370.98	234.42	7392669120.00	304.75	468.84
2070	46	147060	33095	33095	33095	33095	16370827.92	16370827.92	236.85	7469301600.00	307.91	473.70
2071	47	148564	33433	33433	33433	33433	16538284.85	16538284.85	239.27	7545618720.00	311.05	478.54
2072	48	150068	33772	33772	33772	33772	16705741.79	16705741.79	241.69	7621935840.00	314.20	483.38
2073	49	151573	34110	34110	34110	34110	16873198.72	16873198.72	244.11	7698252960.00	317.34	488.22

2074	50	153077	34449	34449	34449	34449	17040655.65	17040655.65	246.54	7774885440.00	320.50	493.08
2075	51	154581	34787	34787	34787	34787	17208112.59	17208112.59	248.96	7851202560.00	323.65	497.92
2076	52	156085	35126	35126	35126	35126	17375569.52	17375569.52	251.38	7927519680.00	326.79	502.76
2077	53	157590	35464	35464	35464	35464	17543026.46	17543026.46	253.81	8004152160.00	329.95	507.62
2078	54	159094	35803	35803	35803	35803	17710483.39	17710483.39	256.23	8080469280.00	333.10	512.46
2079	55	160598	36141	36141	36141	36141	17877940.33	17877940.33	258.65	8156786400.00	336.25	517.30
2080	56	162103	36480	36480	36480	36480	18045397.26	18045397.26	261.07	8233103520.00	339.39	522.14
2081	57	163607	36818	36818	36818	36818	18212854.20	18212854.20	263.50	8309736000.00	342.55	527.00
2082	58	165111	37157	37157	37157	37157	18380311.13	18380311.13	265.92	8386053120.00	345.70	531.84
2083	59	166615	37495	37495	37495	37495	18547768.06	18547768.06	268.34	8462370240.00	348.84	536.68
2084	60	168120	37834	37834	37834	37834	18715225.00	18715225.00	270.76	8538687360.00	351.99	541.52
2085	61	169624	38173	38173	38173	38173	18882681.93	18882681.93	273.19	8615319840.00	355.15	546.38
2086	62	171128	38511	38511	38511	38511	19050138.87	19050138.87	275.61	8691636960.00	358.29	551.22
2087	63	172632	38850	38850	38850	38850	19217595.80	19217595.80	278.03	8767954080.00	361.44	556.06
2088	64	174137	39188	39188	39188	39188	19385052.74	19385052.74	280.46	8844586560.00	364.60	560.92
2089	65	175641	39527	39527	39527	39527	19552509.67	19552509.67	282.88	8920903680.00	367.74	565.76
2090	66	177145	39865	39865	39865	39865	19719966.60	19719966.60	285.30	8997220800.00	370.89	570.60
2091	67	178650	40204	40204	40204	40204	19887423.54	19887423.54	287.72	9073537920.00	374.04	575.44
2092	68	180154	40542	40542	40542	40542	20054880.47	20054880.47	290.15	9150170400.00	377.20	580.30
2093	69	181658	40881	40881	40881	40881	20222337.41	20222337.41	292.57	9226487520.00	380.34	585.14
2094	70	183162	41219	41219	41219	41219	20389794.34	20389794.34	294.99	9302804640.00	383.49	589.98
2095	71	184667	41558	41558	41558	41558	20557251.28	20557251.28	297.41	9379121760.00	386.63	594.82
2096	72	186171	41896	41896	41896	41896	20724708.21	20724708.21	299.84	9455754240.00	389.79	599.68
2097	73	187675	42235	42235	42235	42235	20892165.15	20892165.15	302.26	9532071360.00	392.94	604.52
2098	74	189179	42573	42573	42573	42573	21059622.08	21059622.08	304.68	9608388480.00	396.08	609.36
2099	75	190684	42912	42912	42912	42912	21227079.01	21227079.01	307.10	9684705600.00	399.23	614.20

La tabla N° 11, expone la trayectoria de la demanda hídrica poblacional en diversos escenarios temporales: partiendo con un caudal de 245.96 lt/s, se proyecta un incremento hasta los 493.08 lt/s en el corto plazo, llegando a requerir 614.20 lt/s para el año 2069. Bajo un enfoque de gestión de riesgos, se integró un caudal de diseño de 0.614 m3/s en las simulaciones del balance hídrico, con el propósito de examinar la capacidad de respuesta del sistema ante las presiones del cambio climático en el horizonte futuro.

5.1.5.3. Demanda de agua para riego

De acuerdo con el estudio técnico del Consorcio agua para Abancay (2023),la cuenca del rio Mariño integra 58 canales de regadío, a los que suman 6 y 11 canales en las cuencas de Sahuinto y Quelloyacu, respectivamente. Para el presente análisis, se utilizó la información de caudales mensuales en (en m3/s) proporcionada por dicha actualización del balance hídrico, asegurando la precisión en la estimación del uso agrario del agua.

Tabla 12

Consumo de agua para riego

año promedio	**situación actual**				**situación futura**			
	zona alta	zona media	zona baja	total	zona alta	zona media	zona baja	total
	m3	m3	m3		m3	m3	m3	
ENE	0.000	69.402	31.928	**0.101**	0	104.103	47.8925	**0.152**
FEB	0.000	0.000	0.000	**0.000**	0.000	0.000	0.000	**0.000**
MAR	0.000	0.000	13.045	**0.013**	0.000	0.000	19.56775	**0.020**
ABR	803.046	310.315	278.811	**1.392**	1,255.269	465.473	418.216	**2.139**
MAY	454.974	314.095	161.817	**0.931**	711.186	471.143	243.496	**1.426**
JUN	283.045	235.901	170.626	**0.690**	442.437	353.851	257.337	**1.054**
JUL	487.687	261.881	214.024	**0.964**	762.320	392.821	323.386	**1.479**
AGO	788.326	393.353	260.037	**1.442**	1,232.259	590.029	392.688	**2.215**
SEP	778.542	411.603	285.203	**1.475**	1,216.966	617.404	430.692	**2.265**
OCT	520.570	313.682	194.076	**1.028**	813.721	470.524	293.166	**1.577**
NOV	1,115.625	423.317	257.564	**1.797**	1,743.872	634.975	387.539	**2.766**
DIC	737.633	296.856	160.237	**1.195**	1,153.019	445.285	240.355	**1.839**
total	**10,054.259**	**5,645.248**	**5,123.485**	**11.27**	**5,800.993**	**3,257.132**	**2,956.090**	16.93

Nota: la tabla de la demanda de agua para riego – se obtuvo de: (Consorcio agua para Abancay, 2023)

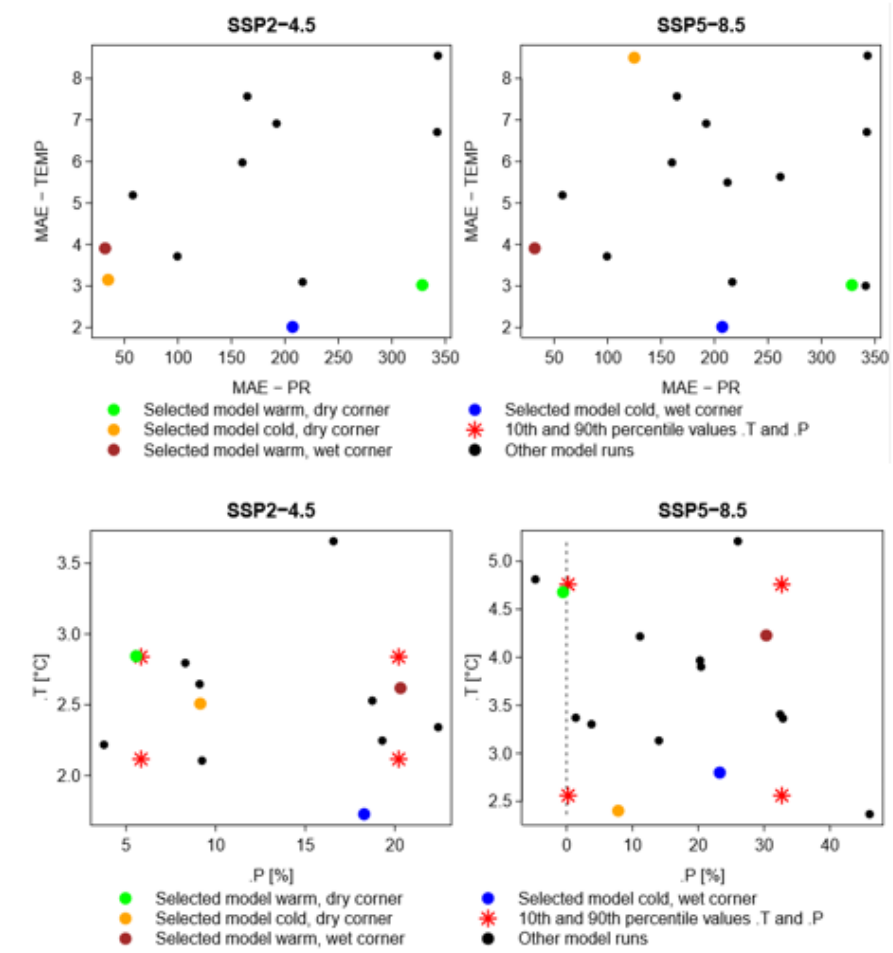
5.1.6. Cambio climático

Como etapa inicial para la proyección de escenario futuros, se obtuvieron los modelos de circulación global del repositorio CMIP6 (Coupled Model Intercomparison Project Phase 6). La información fue procesada en formato NetCDF (Network Common Data Form), permitiendo la extracción y manejo de grandes volúmenes de datos climáticos multidimensionales necesarias para el análisis de la cuenca.

La selección de los modelos globales (GCM) se basó en la metodología descrita por Dhaubanjar, iniciado con un filtrado exhaustivo de todas las ejecuciones del CMIP6 que integraban las variables de precipitación junto con temperaturas máximas y mínimas. Como resultado de este tamizaje, se seleccionaron 28 unidades de modelamiento para los escenarios SSP245 y SSP585, los cuales permiten contrastar trayectorias futuras de emisiones de carbono moderadas y altas respectivamente.

Figura 21

Selección de los GCM´s



La Figura 21 presenta, en su sección superior, cambios proyectados para la temperatura media del aire (T°C) y las precipitaciones anuales (P%) al comparar el periodo futuro (2069-2099) con el historial de referencia (1984-2014), bajo los escenarios SSP2-4.5 Y SSP5-8.5. En la sección inferior se muestra el error absoluto medio (MAE-TEMP) para ambas variables en todos los modelos de circulación. Las cruces rojas actúan como indicadores de dispersión estadística para los percentiles 10 y 90 en ambas variables climáticas.

Tabla 13

Selección de los GCM

Escenario	Cold-dry		Cold-wet		Warm-dry		Warm-wet	
SSP245	CNRM-ESM2-1	6	KACE-1-0-G	10	CanESM5-CanOE	1	CNRM-CM6-1	5
SSP585	CAMS-CSM1-0	1	KACE-1-0-G	12	CanESM5-CanOE	2	CNRM-CM6-1	7

Nota. Elaboración propia.

Seleccionamos cuatro GCM para cada escenario SSP de los conjuntos CMIP6 en función de la ponderación de dos factores: el rango de proyecciones en el conjunto y la habilidad del modelo individual para simular el clima histórico para considerar el rango completo de proyecciones proporcionadas por conjuntos confiables. Estos GCM seleccionados han sido denominados “Cold-dry”, “Cold-wet”, “Warm-dry” y “Warm-wet”, que dan referencia a los climas, en las cuales se realizó una selección de cambios anuales de cambio climático y mensuales para tener una mejor evaluación.

En las cuales se está trabajando en comparación en dos periodos del 01 de setiembre del 2035 al 01 de agosto del 2069 correspondiente al periodo 01 y del 01 de setiembre del 2069 al 01 de agosto del 2099 correspondiente al periodo 02, las cuales se muestran el siguiente recuadro:

Tabla 14

Cambio climático anual

SSP245					SSP585				
Period 1					**Period 1**				
Cold-dry	**Cold-wet**	**Warm-dry**	**Warm-wet**	**Mediana**	**Cold-dry**	**Cold-wet**	**Warm-dry**	**Warm-wet**	**Mediana**
3.11	13.11	4.96	8.71	6.83	3.9	13.42	-0.06	7.59	5.74

Period 2					**Period 2**				
Cold-dry	**Cold-wet**	**Warm-dry**	**Warm-wet**	**Mediana**	**Cold-dry**	**Cold-wet**	**Warm-dry**	**Warm-wet**	**Mediana**
9.14	18.29	5.56	20.32	13.71	7.84	23.26	-0.54	30.33	15.55

Nota: Elaboración propia

Tabla 15

Cambio climático mensual de precipitación (%) en el escenario SSP245

Period 1	**Set**	**Oct**	**Nov**	**Dic**	**Ene**	**Feb**	**Mar**	**Abr**	**May**	**Jun**	**Jul**	**Ago**
Cold-dry	-7.34	-4.28	-2.58	-6.07	13.93	22.44	8.12	-22.08	27.47	-56.72	-22.96	-31.56
Cold-wet	3.48	17.06	9.95	22.17	11.44	15.17	14.36	12.38	9.89	14.27	-6.72	4.68
Mediana	2.28	7.47	6.02	3.46	16.30	18.25	8.71	-8.33	6.95	-14.41	-8.81	0.77
Warm-dry	1.07	-2.12	4.51	9.56	20.72	-0.42	1.15	3.73	4.01	14.27	-4.24	-3.15

Warm-wet	13.75	19.16	7.52	-2.65	18.66	21.32	9.29	-20.38	-3.82	-43.09	-10.90	71.63
Period 2	**Set**	**Oct**	**Nov**	**Dic**	**Ene**	**Feb**	**Mar**	**Abr**	**May**	**Jun**	**Jul**	**Ago**
Cold-dry	13.84	11.71	-17.71	0.39	24.61	35.15	7.26	-6.16	36.11	-23.94	-4.56	-3.37
Cold-wet	3.86	20.48	24.25	23.88	21.16	16.41	16.74	23.58	8.22	0.25	12.74	8.65
Mediana	1.00	12.31	-3.58	13.05	22.97	25.78	8.10	16.83	7.28	-11.85	10.43	3.86
Warm-dry	-12.48	-7.04	-11.97	9.17	21.32	10.46	7.39	11.92	6.33	27.25	8.12	-0.93
Warm-wet	-1.87	12.91	4.81	16.93	39.05	40.41	8.80	21.74	-33.68	-54.07	119.12	47.76

Nota. Elaboración propia

Tabla 16

Cambio climático mensual de precipitación (%) en el escenario SSP585

SSP585												
Period 1	**Set**	**Oct**	**Nov**	**Dic**	**Ene**	**Feb**	**Mar**	**Abr**	**May**	**Jun**	**Jul**	**Ago**
Cold-dry	-5.45	22.75	6.50	-6.60	1.31	6.47	5.51	1.94	3.31	27.64	-10.04	-7.01
Cold-wet	6.75	14.25	12.95	13.33	13.97	13.02	15.69	17.15	9.56	14.88	8.26	12.82
Mediana	-.54	4.86	8.94	4.37	13.65	10.40	4.79	6.81	6.44	21.26	-16.05	2.91
Warm-dry	-13.63	-25.42	-16.84	10.81	14.15	7.77	2.35	7.89	-7.55	34.27	-22.06	-11.70
Warm-wet	-19.22	-4.54	11.38	-2.07	13.33	19.87	4.07	4.47	14.41	-42.17	-31.62	92.86
Period 2	**Set**	**Oct**	**Nov**	**Dic**	**Ene**	**Feb**	**Mar**	**Abr**	**May**	**Jun**	**Jul**	**Ago**
Cold-dry	16.32	24.28	20.65	-8.11	-1.09	10.94	7.93	14.22	2.26	23.77	14.26	-15.04
Cold-wet	14.45	27.59	32.75	31.34	20.90	14.13	20.90	23.23	18.08	29.49	17.45	27.66
Mediana	-0.90	14.45	15.76	19.33	24.31	15.60	15.95	18.73	5.84	26.63	15.86	4.48
Warm-dry	-39.66	-52.37	-22.83	13.19	27.72	17.07	10.99	3.16	9.41	50.22	-19.65	-42.34
Warm-wet	-16.24	4.61	10.87	25.47	65.86	35.09	38.33	27.39	-20.11	-24.40	48.32	24.00

Nota: Elaboración propia.

Tabla 17

Cambio climático mensual de temperatura en el escenario SSP245

SSP245												
Period 1	**Set**	**Oct**	**Nov**	**Dic**	**Ene**	**Feb**	**Mar**	**Abr**	**May**	**Jun**	**Jul**	**Ago**
Cold-dry	1.65	1.59	1.29	1.09	0.97	0.91	0.90	1.26	1.27	1.35	1.47	1.60

Cold-wet	0.47	0.13	0.49	0.41	0.48	0.42	0.48	0.55	0.62	0.76	0.85	0.60
Mediana	1.47	1.41	1.32	1.24	1.04	1.06	1.12	1.32	1.41	1.40	1.48	1.45
Warm-dry	1.86	1.76	1.56	1.38	1.42	1.52	1.53	1.53	1.77	1.91	1.93	1.70
Warm-wet	1.29	1.22	1.35	1.40	1.10	1.20	1.33	1.37	1.54	1.44	1.48	1.29
Period 2	**Set**	**Oct**	**Nov**	**Dic**	**Ene**	**Feb**	**Mar**	**Abr**	**May**	**Jun**	**Jul**	**Ago**
Cold-dry	3.00	2.69	2.64	2.36	2.13	1.94	2.18	2.37	2.38	2.47	2.96	2.97
Cold-wet	1.60	1.41	1.73	1.68	1.63	1.65	1.52	1.65	1.70	2.15	2.13	1.85
Mediana	2.91	2.62	2.69	2.38	2.18	2.11	2.35	2.45	2.54	2.73	2.89	2.91
Warm-dry	3.27	3.06	2.81	2.55	2.54	2.53	2.71	2.65	2.84	3.13	3.13	2.90
Warm-wet	2.81	2.54	2.73	2.40	2.23	2.27	2.51	2.52	2.70	2.98	2.82	2.91

Nota: Elaboración propia.

Tabla 18

Cambio climático mensual de temperatura en el escenario SSP585

						SSP585						
Period 1	**Set**	**Oct**	**Nov**	**Dic**	**Ene**	**Feb**	**Mar**	**Abr**	**May**	**Jun**	**Jul**	**Ago**
Cold-dry	1.07	0.93	0.93	1.23	1.06	1.15	1.07	1.17	1.44	1.20	1.07	1.13
Cold-wet	0.67	0.35	0.57	0.57	0.57	0.64	0.53	0.59	0.66	0.89	1.04	0.58
Mediana	1.23	1.24	1.26	1.42	1.27	1.32	1.30	1.38	1.59	1.48	1.38	1.39
Warm-dry	2.20	2.27	1.91	1.69	1.75	1.72	1.83	1.72	1.93	2.03	2.21	1.94
Warm-wet	1.39	1.55	1.59	1.60	1.48	1.49	1.52	1.59	1.73	1.76	1.68	1.64
Period 2	**Set**	**Oct**	**Nov**	**Dic**	**Ene**	**Feb**	**Mar**	**Abr**	**May**	**Jun**	**Jul**	**Ago**
Cold-dry	2.65	2.31	2.30	2.37	2.29	2.16	2.17	2.28	2.75	2.53	2.29	2.72
Cold-wet	2.68	2.49	2.79	2.88	2.88	2.82	2.56	2.68	2.72	3.02	3.06	3.01
Mediana	3.51	3.45	3.55	3.43	3.25	3.33	3.32	3.36	3.58	3.85	3.82	3.74
Warm-dry	5.46	5.96	4.59	4.07	4.11	4.14	4.34	4.34	4.41	4.81	4.72	5.18
Warm-wet	4.33	4.40	4.30	3.97	3.62	3.84	4.08	4.03	4.45	4.68	4.57	4.47

Nota: Elaboración propia

El análisis de cambio climático revela disparidades significativas entre los escenarios evaluados. Para la precipitación, el modelo SSP2-4.5 proyecta un aumento sostenido de (3% a 28%), a diferencia del SSP5-8.5, que presenta un espectro más amplio (desde una ligera disminución de -5% hasta un incremento severo de 48%). Por su parte, la temperatura media exhibe un calentamiento inequívoco en todos los modelos, alcanzando un máximo de 5.4°C en el escenario más pesimista, frente al límite superior de 3.8°C del escenario moderado. así mismo se observa que tanto la puntuación por rango y habilidad ha sido relevante para la selección de los datos de los GCM. Por ejemplo, para el caso del criterio de los modelos cold, wet corner y cold, dry corner, el GCM seleccionado,

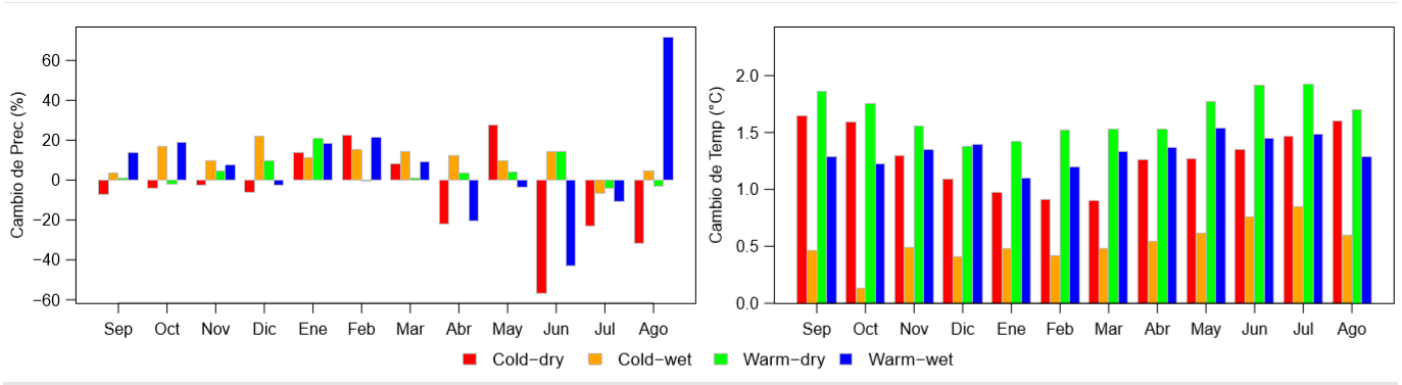
no son los más cercanos con respecto a la distancia euclidiana, lo que muestra la relevancia de la habilidad para la selección, como se muestra en la figura 18 (parte inferior), donde se comparan el rendimiento del MAE para la precipitación y la temperatura media. Así mismo, en forma general, se observa que todos los modelos seleccionados representan buenos rendimientos.

5.1.6.1. Impacto del cambio climático en la temperatura y precipitación

Los cambios porcentuales para el caso de la precipitación, muestra resultados diferentes que están relacionados a cada criterio de selección, evidenciando la incertidumbre que se tiene del impacto del cambio climático en la hidrología de la cuenca del rio Mariño.

Figura 22

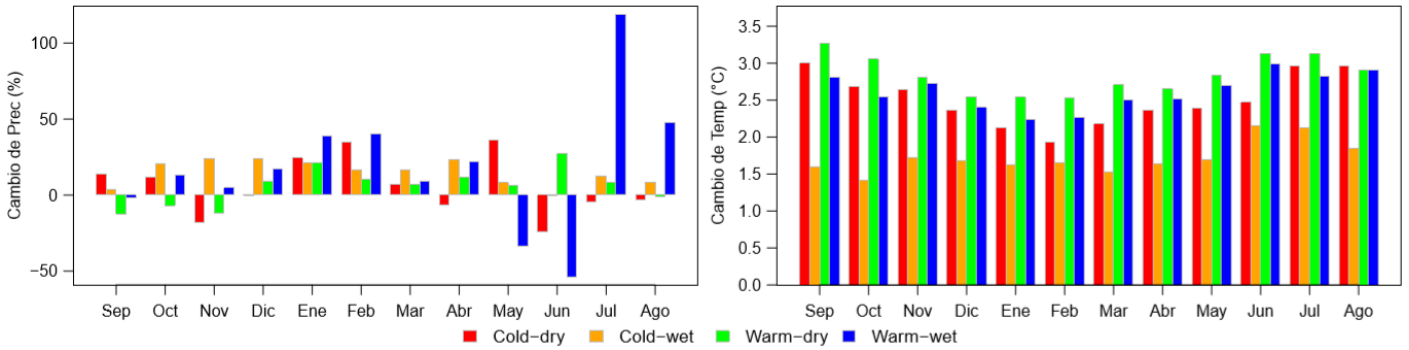
Cambios de tempera y precipitación en el escenario SSP2-4.5-periodo 1



La dinámica de la precipitación proyectada muestra un rango de variabilidad de -50% a +58%, con una disminución critica en los meses secos (junio, julio, agosto y setiembre) y un repunte de lluvias a partir de octubre. La configuración climática se ve influenciada permanentemente por el escenario cold-dry, independientemente de la estacionalidad. En cuento al factor térmico, la ausencia de los valores negativos en las variaciones indica un calentamiento global irreversible y contante, factor que condicionara la tasa de evapotranspiración en el modelo SWAT.

Figura 23

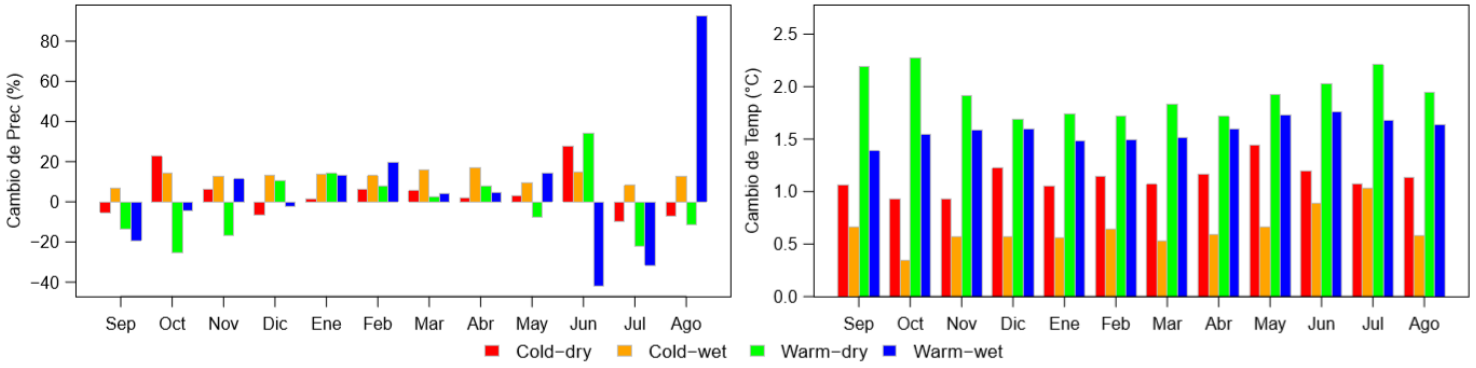
Cambios de temperatura y precipitación en el escenario SSP2-4.5-periodo 2



la distribución temporal proyectada evidencia una reducción significativa de las precipitaciones en los periodos de transición y estiaje (mayo a junio y setiembre a noviembre). Por el contrario, el intervalo comprendido entre los meses de diciembre a abril presenta variaciones positivas, lo que sugiere una intensificación de la temporada húmeda. En relación con el componente térmico, la totalidad de los registros muestra valores positivos, confirmando una tendencia de calentamiento interrumpido al largo del año.

Figura 24

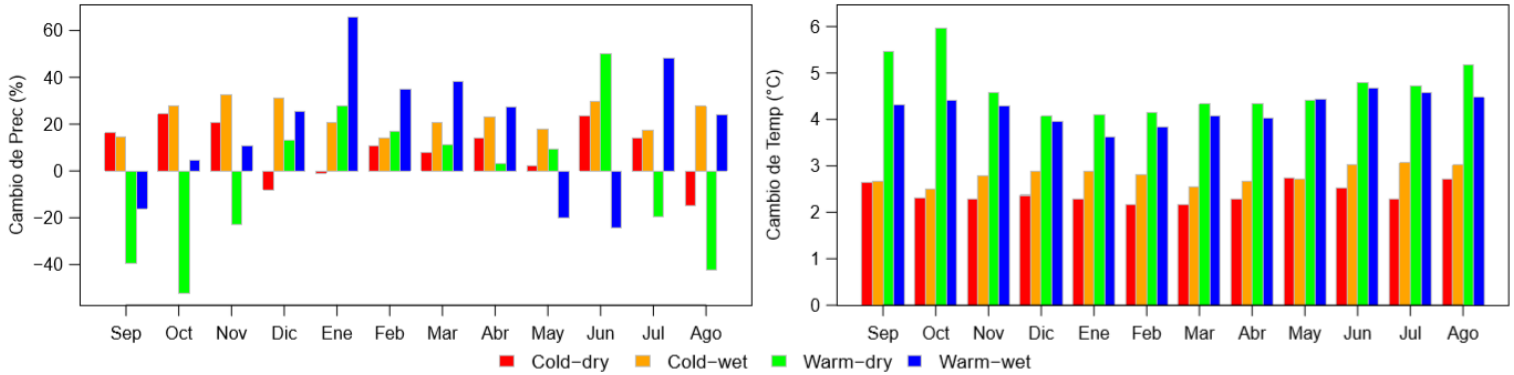
Cambios de temperatura y precipitación en el escenario SSP5-8.5-periodo 1



En la figura se muestra el incremento moderado de lluvias en los meses de diciembre a mayo, en los meses de junio a noviembre, nos indica que habrá ausencia de lluvias hasta un -40%, en cuanto a la temperatura os valores son positivos los cuales nos indican que habrá calentamiento constate en todos los meses del año.

Figura 25

Cambios de temperatura y precipitación en el escenario SSP2-4.5-periodo 2



La figura detalla una marcada estacionalidad en las proyecciones de precipitación que varían entre los 0% a 65 % los cuales, especialmente en el modelo cold-dry (frio-seco) proyecta un déficit hídrico critico entre setiembre y noviembre, con reducciones de 20% a -40% en precipitaciones, diciembre a abril habrá aumentos significativos hasta un 65% y en el modelo cold-wet habrá una máxima reducción de hasta un -20% y aun aumento de 40%. En cuento a la temperatura en los modelos warm-dry haba un aumento de 5°C a 6°C, en los meses de diciembre a febrero. En cuanto al modelo warm – wet abra aumentos menos entremos que warm-dry, picos de 4°C en verano y mínimos de 1° en invierno.

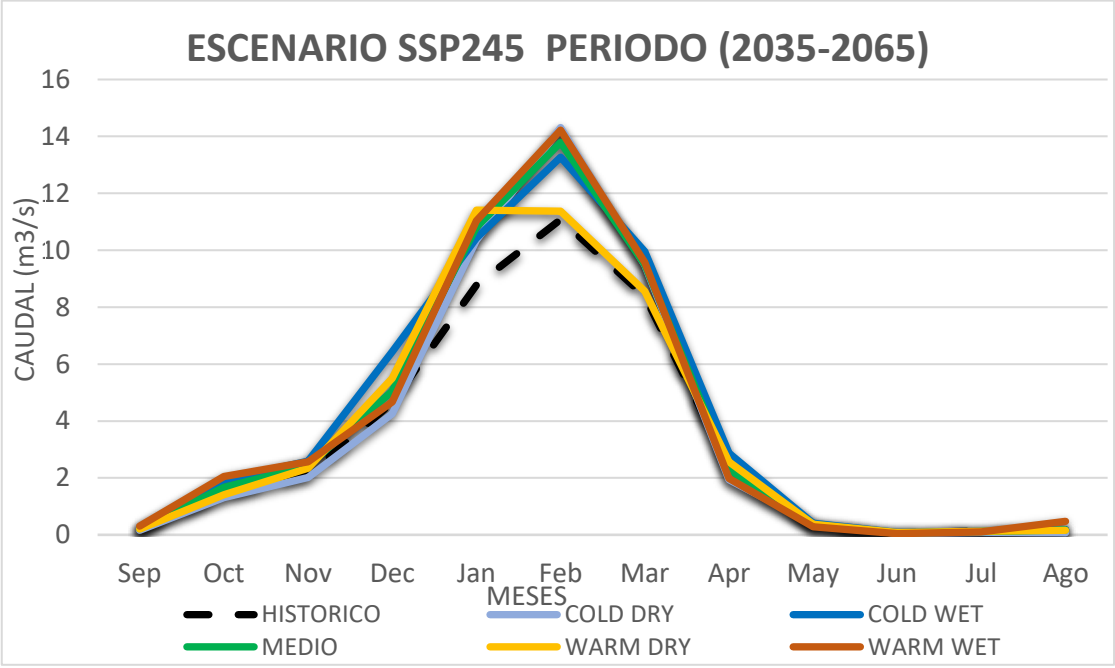
Para finalizar, se evaluaron las variaciones en la precipitación y temperatura bajo los escenarios SSP2-4.5 Y SSP5-8.5, contrastando el periodo histórico (1984 al 2014) con el horizonte futuro (2069 al 2099). Los resultados para este segundo intervalo revelan una intensificación considerable de ambas variables climáticas, proyectando un escenario de mayor pluviosidad y un incremento térmico sustancial en comparación con la línea de base.

5.1.6.2. Impacto del cambio climático en los caudales

Los resultados hallados de los cambios delta para la precipitación y temperatura, fueron configurados y corridos en el RSWAT calibrado. Los resultados fueron utilizados para determinar los porcentajes para cada criterio de selección y tramo de rio de la cuenca del rio Mariño. En las siguientes imágenes se podrá apreciar el caudal por los diferentes escenarios y periodos, que está organizado según el año hidrológico para el hemisferio sur, que comienza en el mes de setiembre y termina en el mes de agosto, ya que el análisis no sigue el año calendario, si no el ciclo natural del agua.

Figura 26

Caudales en el escenario optimista del periodo 1



La Figura N 26 ilustra la variabilidad mensual de los caudales proyectados para el horizonte 2035–2065 bajo el escenario de emisiones SSP2-4.5, comparado con el escenario histórico de referencia. Se presentan seis curvas que representan distintos tipos de condiciones climáticas: (Cold Dry, Cold Wet, Warm Dry, Warm Wet), y el valor central de la muestra (Mediana) y el escenario Histórico de referencia.

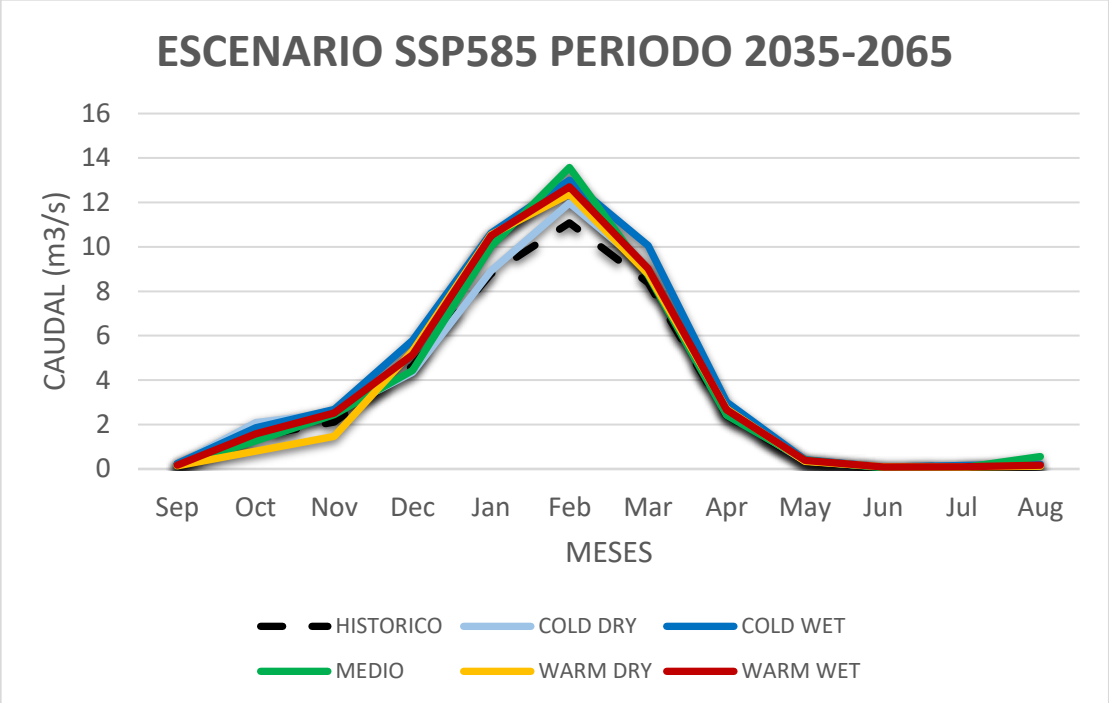
El modelo proyecta una continuidad en la estacionalidad hídrica, con una fase de estiaje severo a mitad de año y caudales pico durante el primer trimestre, alcanzando los

14 m3/s en febrero según el escenario mediano. Este comportamiento es similar al histórico, aunque con ligeros incrementos en los picos de caudal en escenarios húmedos (Cold Wet y Warm Wet) y una leve reducción en los escenarios secos.

Los escenarios Cold Wet y Warm Wet concentran los mayores caudales en la temporada lluviosa, mientras que Warm Dry representa condiciones más reducidas.

Figura 27

Caudales en el escenario optimista del periodo 1



En la Figura N.º 27 se muestra la evolución mensual del caudal bajo el escenario climático SSP585 para el período 2035–2065, comparado con el escenario histórico de referencia. Se presentan seis curvas que representan distintos tipos de condiciones climáticas: Cold Dry, Cold Wet, Warm Dry, Warm Wet, el promedio (Mediana) y el escenario Histórico.

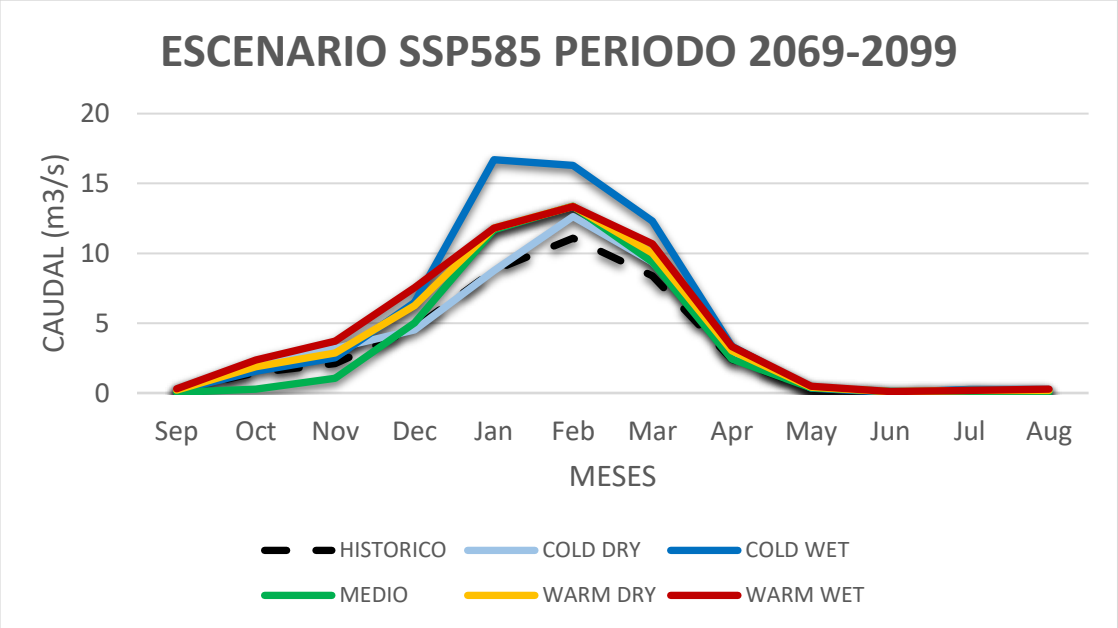
En todos los escenarios se observa que el inicio del año hidrológico (septiembre a noviembre) presenta caudales bajos, entre 0 y 2 m³/s. A partir de diciembre, el caudal comienza a incrementarse progresivamente, alcanzando su máximo en febrero, con

valores de 13,57 m³/s en el escenario medio y ligeramente superiores en los climas húmedos (Cold Wet y Warm Wet).

Después de este pico, se registra un descenso abrupto entre marzo y abril, alcanzando valores mínimos entre mayo y julio. Finalmente, a partir de agosto, el caudal inicia una ligera recuperación, marcando nuevamente el comienzo del ciclo hidrológico.

Figura 28

Caudales en el escenario pesimista del periodo 2



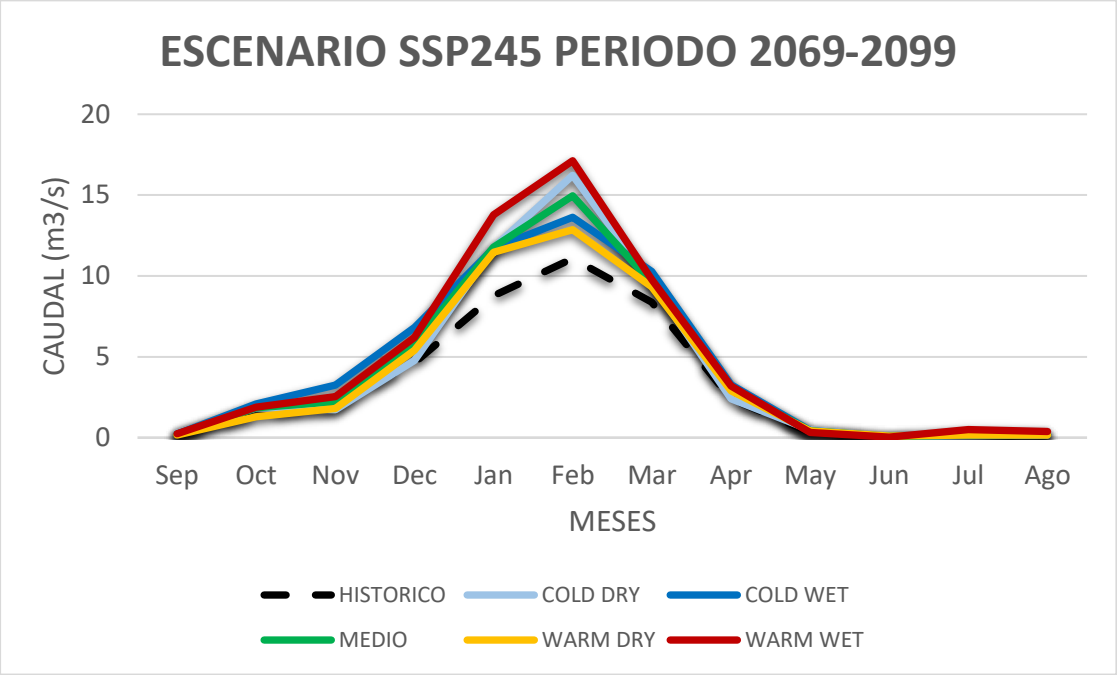
La figura N°28 presenta el comportamiento estacional del flujo hídrico promedio proyectado para el periodo del año 2069 hasta el 2099 considerando el escenario climático SSP2-4.5, esta comparativa realizada frente a los datos históricos, se grafica seis curvas las que representan distintos escenarios climáticos como el Cold Dry, Cold Wet, Warm Dry, Warm Wet. Del mismo modo se incluye la mediana de las proyecciones y la línea base histórica con el que garantizamos una mayor robustes sobre las variaciones en el régimen de caudales.

El patrón hidrológico conserva la estacionalidad característica de la cuenca, con caudales bajos durante la estación seca (junio a agosto) y máximos en la estación lluviosa (enero a marzo). El pico máximo se representa en febrero, alcanzando valores cercanos a

18 m3/s en el escenario promedio. Esto representaría un incremento notable respecto al histórico, que muestra un pico cercano a 12 m3/s.

Figura 29

Caudales en el escenario pesimista del periodo 2



En la Figura N.º 29 se muestra la evolución mensual del caudal bajo el escenario climático SSP585 para el período 2069–2099, comparado con el escenario histórico de referencia. Se presentan seis curvas que representan distintos tipos de condiciones climáticas: Cold Dry, Cold Wet, Warm Dry, Warm Wet, el promedio (Mediana) y el escenario Histórico.

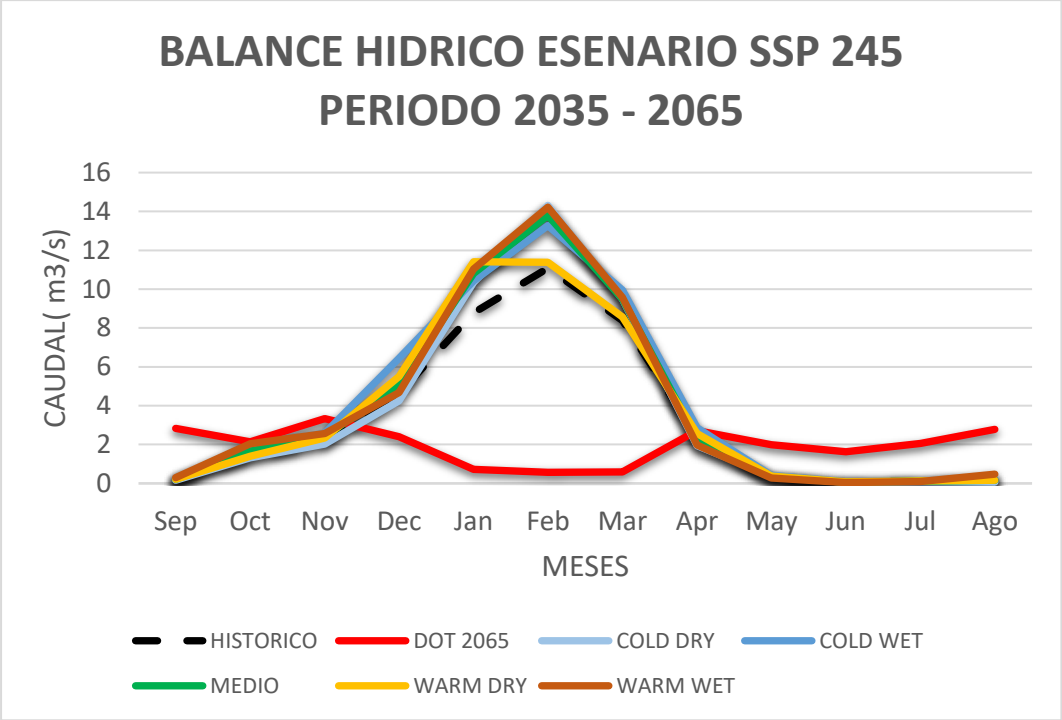
Observamos que el patrón hidrológico conserva una estacionalidad bien definida, caracterizada por mínimos caudales próximos a 0 m3/s (entre los meses de junio a agosto) y máximos durante la estación lluviosa (enero a marzo). El pico máximo se presenta en enero, alcanzando valores cercanos a 18 m3/s en escenarios húmedos Cold Wet, mientras que el escenario promedio se ubica en torno a 14 a 15 m3/s. Esto representa un incremento significativo con respecto al escenario histórico, cuyo pico es aproximadamente 11 a 12 m3/s.

5.1.7. Balance hídrico en la cuenca del rio Mariño

Se hallo considerando la oferta total en el punto de salida de la cuenca y todas las demandas de uso consuntivo aguas arriba de la cuenca.

Figura 30

Balance hídrico del escenario optimista periodo 1



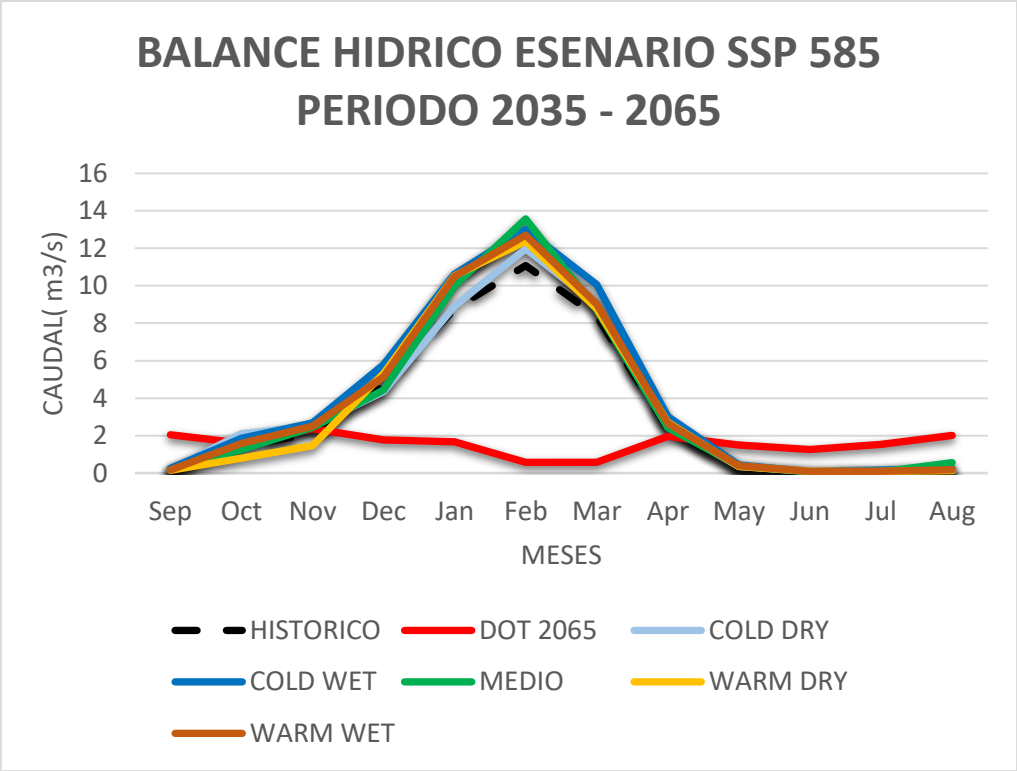
En la Figura N.º 30 muestra el comportamiento de la proyección mensual del caudal con el escenario climático SSP2-4.5 para el periodo futuro del 2035 hasta el 2065, esta evolución se comparó con el escenario histórico de referencia del cual se presentan seis curvas que representan las condiciones climáticas: Cold Dry, Cold Wet, Warm Dry, Warm Wet, el promedio (Mediana), el escenario Histórico y una curva que representa la demanda hídrica al año 2065 (DOT 2065).

El patrón hidrológico conserva una estacionalidad marcada, con caudales mínimos entre mayo y agosto (cercanos a cero) y picos máximos en febrero, alcanzando valores de hasta 14 m3/s en escenarios húmedos y promedios cercanos a 12-13 m3/s. durante la temporada húmeda (enero a marzo), los caudales proyectados superan

ampliamente la dotación, evidenciando un excedente de oferta hídrica que podría destinarse al riego, consumo y almacenamiento para usos futuros.

Figura 31

Balance hídrico del escenario optimista periodo 1



En la Figura N.º 31 se muestra la proyección mensual del caudal bajo el escenario climático SSP585 para el período 2035–2065, comparado con el escenario histórico y con la dotación de agua proyectada al año 2065 (DOT 2026), correspondiente a la demanda para riego y consumo poblacional. Se incluyen seis curvas que representan distintos tipos de condiciones climáticas: Cold Dry, Cold Wet, Warm Dry, Warm Wet y el promedio (Mediana).

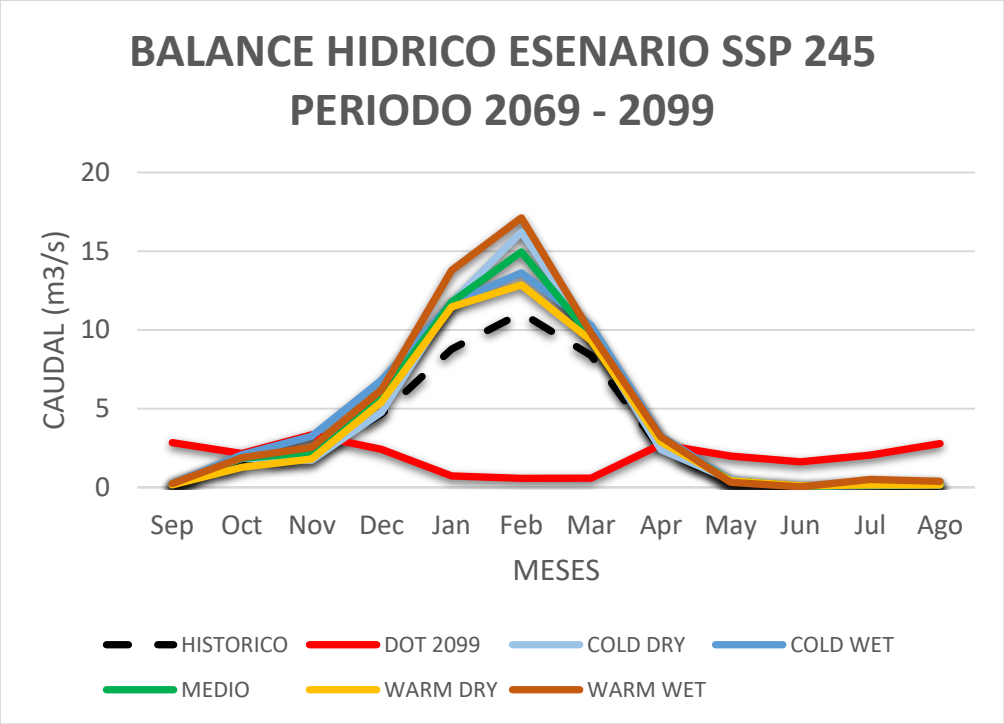
El comportamiento hidrológico proyectado mantiene un patrón estacional bien definido, caracterizado por mínimos caudales entre mayo – agosto (cercanos a cero) y máximos en febrero, alcanzado valores de 13 a 14 m3/s en escenarios húmedos y alrededor de 12 m3/s en el escenario medio. Comparado con el escenario histórico, se observa un incremento moderado en la magnitud de los caudales máximos durante la

temporada lluviosa, especialmente en escenarios húmedos, mientras que la forma de la curva estacional se mantiene similar.

La oferta y la demanda hídrica evidencia que, de enero a marzo, la oferta supera ampliamente la dotación, de mayo a agosto la dotación supera la oferta natural lo cual refleja un déficit hídrico.

Figura 32

Balance hídrico del escenario pesimista periodo 2



En la Figura N.º 32 se muestra la proyección mensual del caudal bajo el escenario climático SSP245 para el período 2069–2099, comparado con el escenario histórico y con la dotación de agua proyectada al año 2099 (DOT 2099), correspondiente a la demanda para riego y consumo poblacional. Se incluyen seis curvas que representan distintos tipos de condiciones climáticas: Cold Dry, Cold Wet, Warm Dry, Warm Wet y el promedio (Mediana).

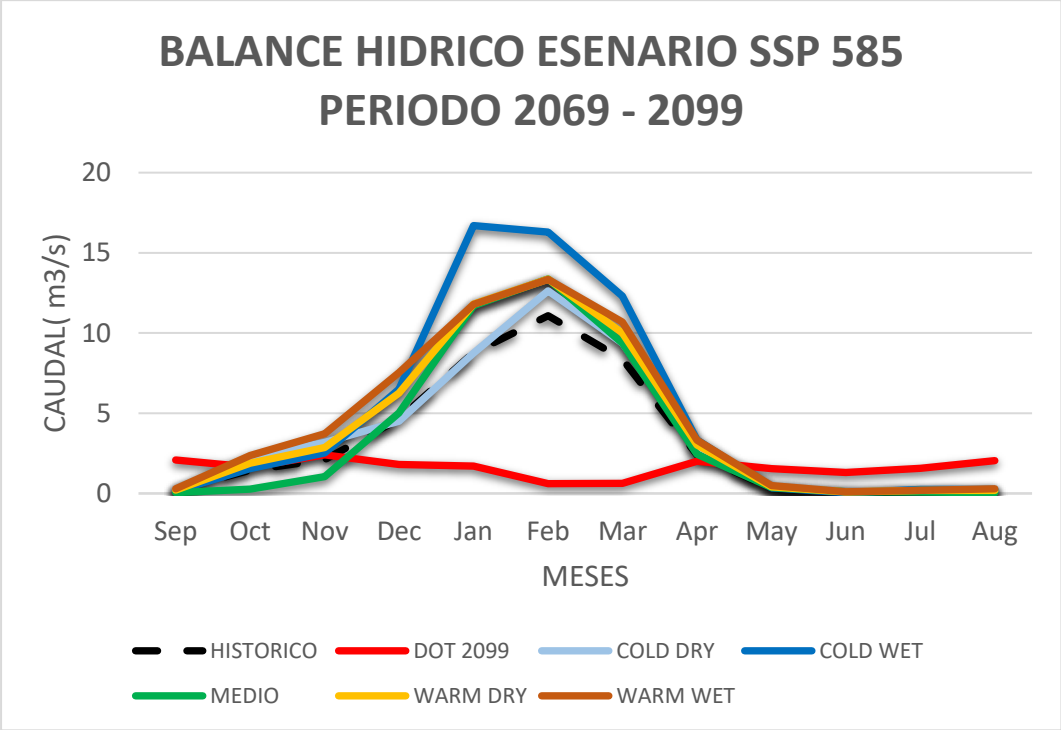
El régimen hidrológico conserva su valor de estacionalidad típica con mínimos entre mayo y agosto (caudales cercanos a cero) y un pico máximo en febrero, alcanzando valores entre 15 y 17 m3/s en escenarios húmedos y alrededor de 13-14 m3/s en el

promedio, superando notablemente al escenario histórico. Además, se evidencia una mayor amplitud entre escenarios húmedos y secos. Reflejando un aumento de la variabilidad hidrológica en el largo plazo.

Durante la temporada lluviosa (enero - marzo), la oferta hídrica supera ampliamente la dotación generando un excedente significativo que puede ser aprovechado. En contraste, durante la temporada seca (mayo – agosto), la dotación excede a la oferta, ocasionando un déficit hídrico.

Figura 33

Balance hídrico del escenario pesimista periodo 2



En la Figura N.º 33 se muestra la proyección mensual del caudal bajo el escenario climático SSP585 para el período 2069–2099, comparado con el escenario histórico y con la dotación de agua proyectada al año 2099 (DOT 2099), correspondiente a la demanda para riego y consumo poblacional. Se incluyen seis curvas que representan distintos tipos de condiciones climáticas: Cold Dry, Cold Wet, Warm Dry, Warm Wet y el promedio (Mediana).

El régimen hidrológico conserva su patrón estacional característico, con caudales más bajos entre mayo y agosto (caudales cercanos a cero), y máximos entre enero y febrero, alcanzando alrededor de 18m3/s en escenarios húmedos (Cold Wet) y entre 13 y 15 m3/s en el escenario promedio. Estos valores son considerablemente superiores a los registros históricos, confirmando un incremento sustancial en la magnitud de las avenidas máximas para finales de siglo bajo un escenario de altas emisiones. Este ensanchamiento de la brecha entre los escenarios extremos (húmedos y secos) subraya una marcada inestabilidad del ciclo hídrico, incrementando la vulnerabilidad de la cuenca ante eventos de inundación y periodos de escasez más severos.

Durante los meses lluviosos (enero – marzo), la oferta de agua supera ampliamente a la dotación proyectada. En cambio, en los meses secos (mayo – agosto), la demanda supera a la disponibilidad hídrica.

5.2. Discusión de resultados

El uso de la herramienta SWAT en la cuenca Mariño permitió permite simular el impacto del cambio climático con alta precisión. Este modelo ofreció una visión integral y detallada del comportamiento hidrológico frente a los métodos implicados, además de arrojar resultados adecuados para la planificación de los recursos de gestión.

a) Discusión con respecto al objetivo específico 1

De igual manera para la determinación de la demanda actual y futura de agua destinada al consumo humano y de riego en la cuenca del rio Mariño, inicialmente se calculó la tasa de crecimiento poblacional (r= 1.97%), este dato nos permitió proyectar la población para el año 2099 con un total de 211,085 personas. A partir de esta proyección, se estima la demanda de agua para consumo humano que son de: 245.96 lt/s para el año base (2023) y de 614.20 lt/s para el año 2099. En cuanto a la demanda de riego, se tuvo 11.27 m3/s de agua para la situación actual y de 16.93 m3/s para el escenario futuro.

Estos hallazgos son consistentes con el estudio de Carazas (2022), quien identifico que existía un superávit entre los meses de octubre y junio, así como un déficit de 29 lt/s

en el mes de julio, de 99 l/s en el mes de agosto y 118 l/s en setiembre, con una demanda total estimada de 286 lt/s. Al compara los resultados con este estudio se valida el rigor del enfoque metodológico utilizado. Los hallazgos coinciden en señalar que la escasez durante los meses de estiaje es el punto más crítico del balance hídrico, validando así la necesidad de diseñar medidas de adaptación frente al cambio climático.

b) Discusión con respecto al objetivo específico 2

Para determinar la oferta de hídrica presente y futura de la cuenca del rio Mariño, se ha realizado una evaluación de los escenarios climáticos SSP2-4.5 y el SSP5-8.5, en dos horizontes temporales (periodo 1 del 2035 al 2065 y para el periodo 2 del año 2069 al 2099), utilizando el modelo hidrológico SWAT.

Bajo el escenario optimista (SSP2-4.5), la oferta hídrica proyectada presenta picos de caudales máximos que varía entre 14 y 17 m3/s para ambos periodos. El balance entre la oferta y demanda evidencia una marcada asimetría estacional: aunque existe un superávit considerable durante el primer trimestre (enero-marzo), la situación se torna critica entre mayo y agosto, donde la demanda proyectada supera la disponibilidad natural, originando un déficit hídrico significativo. Una tendencia similar se observa en el escenario pesimista (SSP585), con ofertas fluctuantes entre 13 y 18 m3/s que, pese a los excedentes en temporada de lluvias, no logran mitigar la escasez proyectada durante los meses de estiaje.

Estos hallazgos guardan similitud con el estudio de Sierra (2022), quien tuvo una oferta de agua de 9,936 m3 y un déficit hídrico de 946.39m3 para el año actual. Los resultados de esta investigación muestran una oferta y un déficit estimados mayores, lo que podría atribuirse al uso de proyecciones de cambio climático y a una escala de análisis diferente.

c) Discusión con respecto al objetivo específico 3

Para analizar los efectos de los diferentes tipos de emisiones de gases de efecto invernadero en el balance hídrico, se llevó a cabo el análisis de la proyección de 27 modelos de circulación global de la atmosfera (GCM) para los escenarios climáticos SSP2-4.5 (moderado) y SSP5 8.5 (extremo). La investigación de limito a dos periodos temporales la primera que va desde el 2035 al 2065 y la segunda que comienza en el 2069 y culmina en el 2099. Los hallazgos para el escenario moderado nos indican que habrá incremento en la precipitación hídrica de 3% hasta el 28%, en cambio en el escenario extremo tendremos mayor incertidumbre con datos que van desde – 5% hasta el incremento de 48% en precipitaciones. En el caso de la temperatura, se dará incrementos que van desde 1.8°C a 3.8°C en el escenario moderado y de 2.2°C a 5.4°C para el escenario extremo. Para el periodo de 2035 al 2065 se proyecta que habrá una disminución de precipitaciones de los meses de julio a septiembre y un aumento entre octubre a marzo. Para el escenario moderado se estima que se incrementaran moderadamente durante las lluvias y que habrá disminución significativa en lluvias hasta el 40% de precipitaciones entre los meses de junio a noviembre.

Estos resultados concuerdan con lo reportado por Frisancho (2022), quien identifico los impactos significativos en la disponibilidad hídrica, con reducciones de hasta 3.974%. de manera similar Garay & Huanca (2022), concluye que las sequias extremas pueden ocurrir en diferentes tiempos estacionales (verano, otoño, invierno y primavera), lo que resalta la naturaleza variable y estacional de la futura escasez. Su análisis para él SOI (índice de sequía estandarizado) mostro, que en verano predomina una sequía moderada (97.965%), en otoño una sequía moderada (83.275%) acompañada de una sequía ligera (30.61%), y en invierno un 51.02% de afectación.

En conclusión, las variaciones proyectadas en los regímenes de precipitación y el aumento térmico impactaran de manera critica el balance hídrico de la cuenca del rio Mariño. El desplazamiento e intensificación de los periodos secos representan un riesgo

sustancial para la seguridad hídrica, pudiendo afectar tanto en la disponibilidad del recurso, especialmente cuando la demanda proyectada supera la oferta natural en los meses críticos.

d) Discusión con respecto al objetivo general

Con el objetivo último de la evaluación del balance hídrico presente y futuro de la cuenca, se utilizó el modelo hidrológico SWAT. El análisis se focalizo en contrastar la oferta hídrica total cuantificada en el punto de drenaje de la cuenca y todas las demandas procedentes de la población y agropecuario.

Para el escenario SSP2-4.5 (periodo 1) los resultados muestran caudales mínimos entre mayo y agosto y máximos en febrero, donde se alcanzan valores de hasta 14 m3/s. Durante la temporada húmeda (enero-marzo), los caudales promedian 12-13 m3/s, superando ampliamente la dotación requerida, lo que evidencia un excedente hídrico en estos meses. Esta evidencia se acentúa en el periodo 2 del mismo escenario, con caudales que oscilan entre 15 y 17 m3/s en condiciones húmedas. Por su parte el escenario SSP-8.5 (pesimista) proyecta para el periodo 1 caudales de 13-14 m3/s en temporada húmeda, llegando a valores de hasta los 18 m3 el periodo 2.

En concordancia con Álvarez (2023), este estudio reafirma que la precipitación y la temperatura ejercen un control superior sobre el régimen de los caudales en comparación con el uso de suelo. La disminución proyectada en la disponibilidad hídrica y la recarga de sedimentos, consiste en ambas investigaciones realizadas con el modelo SWAT, consolidando la visión del factor climático como el eje central de la variabilidad hídrica futra en la cuenca del rio Mariño.

VI. Conclusiones

El presente estudio realizo el modelamiento de la cuenca del rio Mariño, mediante el software SWAT, con la finalidad de ponderar dicho recurso hídrico. Se evaluó rigurosamente la capacidad del modelo para simular descargas en escalas temporales diarias y mensuales abarcando las fases de calibración y validación. Así mismo se integró el análisis del comportamiento del sistema bajo distintos escenarios de cambio climático, lo que permitió obtener proyecciones solidas sobre la oferta del recurso.

Por el lado de la demanda se proyecta una intensificación del uso antrópico sobre la cuenca, con un incremento sustancial en los requerimientos agua hacia el futuro. La demanda para consumo poblacional se triplicará desde los 245.96 lt/s actuales (año base 2023) hasta alcanzar los 614.20 lt/s, mientras que la demanda destinada al riego agrícola se elevará en un 50% pasando de 11.17 m3/s a 16.93 m3/s. esta intensificación genera una presión que se transforma en critica bajo la situación de los meses de estiaje, donde ya se identifica déficits en la situación actual.

Las simulaciones del modelo SWAT proyectan una tendencia decreciente en la disponibilidad hídrica bajos los escenarios climáticos evaluados (SSP2-45 Y SSP 5-8.5). el escenario optimista muestra una oferta que oscila entre 14 y 17 m3/s, mientras que el escenario pesimista exhibe un rango más extremo entre 13 y 18 m3/s, reflejando una mayor varianza entre periodos húmedos y secos. A pesar que los excedentes de enero a marzo superan la demanda, el análisis identifica un déficit estacional critico entre mayo y agosto. Estos hallazgos confirman que los incrementos en los caudales máximos durante la época de lluvias no compensaran la insuficiencia del recurso durante el estiaje.

Las proyecciones climáticas indican que habrá incremento de temperatura de (1.8°C a 5.4°C) y una fluctuación pluvial que oscilara de (-5% a 48%), estos factores nos llevan a transformar drásticamente el régimen hidrológico en la cuenca. Se prevé que habrá una reconfiguración en la temporalidad de las precipitaciones trasladando el tiempo de sequía entre los meses de junio y noviembre con reducción de hasta el 40% y concentrando el periodo de precipitación el resto del año. Esta polarización climática y el incremento del

estrés hídrico hacia finales del siglo confirman que la viabilidad y resiliencia de la cuenca se encuentra bajo amenaza persistente.

Como conclusión de la investigación, se determina que la cuenca del río Mariño presenta un alto grado de vulnerabilidad al cambio climático, proyectándose una clara tendencia a la disminución de sus recursos hídricos. Tales resultados indican la urgencia de aplicar medidas de adaptación, como la optimización del riego, el almacenamiento de agua en épocas excedentes y la gestión de la demanda para mitigar los impactos de la futura escases estacionales.

VII. Recomendaciones

De acuerdo a los análisis efectuados

- ✓ Fomentar la adopción de mecanismo legales para declarar la intangibilidad de la red de drenaje en la cuenca del rio Mariño- esta acción administrativa resulta esencial para asegurar la sostenibilidad del abastecimiento de agua protegiendo las zonas de recarga y los cauces principales de procesos de degradación ambiental.
- ✓ Implementar un programa de seguimiento de calidad y cantidad del agua en los puntos estratégicos de la Cuenca
- ✓ Promover una cultura de ahorro de agua en el sector poblacional, realizando campañas de sensibilización publica e incentivar el uso de tecnologías domesticas de bajo consumo (grifos, duchas y sanitarios ahorradores) para contrarrestar el aumento de proyectado en la demanda de consumo humano.
- ✓ Fortalecer la estructura de gobernanza del agua mediante el empoderamiento técnico de las autoridades locales y las organizaciones de usuarios. Se propone implementar un modelo de gestión integral de los recursos hídricos (GIRH) que articule a los actores clave.
- ✓ Promover la regulación hídrica desarrollando proyectos de infraestructura para el almacenamiento estacional, realizando estudios de viabilidad ambiental, técnica y social para la implementación de reservorios o represas. Estas obras permitirán la laminación de excedentes en temporada de avenidas y asegurar el suministro durante el estiaje.
- ✓ Es imperativo que entidades como el SENAMHI, autoridad nacional de agua (ANA), universidades públicas y privadas, así como también otras instituciones de la región, articulen esfuerzos para consolidad líneas de investigación la construcción de esta base de conocimientos científicos es el pilar necesario para profundizar los diagnósticos hidrológicos y dotar a la gestión hídrica de un sustento técnico que garantice la resiliencia territorial.

- ✓ Se recomienda a las futuras investigaciones orientadas a la vulnerabilidad hídrica el empleo del modelo SWAT debido a su robustez en la representación de fenómenos extremos. Su capacidad para integrar múltiples variables físicas lo convierte en un instrumento esencial para estudiar el impacto de las sequias en diversos escenarios climáticos, facilitando a las instituciones el acceso a una tecnología avanzada y son costos de licenciamiento.
- ✓ Se recomienda a EMUSAP ABANCAY, que brinden mayores facilidades a los investigadores universitarios para suministrar datos pertenecientes a estudio. Ya que la cuenca al ser una de las principales fuentes de agua usadas para cubrir la demanda de la ciudad, resulta un punto de interés para tesistas.

VIII. Referencias

Aguilar, R. ,. (2024). *Modelamiento hidrologico de cuencas andinas.* Fondo editorial de la UNSCH. https://doi.org/https://oficinas.unsch.edu.pe/vri/index.php/libros-unsch/

Allen , R. G., Pereira, L. S., Raes, D., & Smith, M. (2006). *Evapotranspiracion del cultivo, guias para la determinacion de los requerimientos de agua de los cultivos FAO.* Roma: Organizacion de las naciones unidad para la agricultura y la alimentacion.

Alvarez Ore, J. A. (2023). Aplicacion del modelo hidrologico SWAT en la cuenca alta del rio Rimac para la estimacion de caudales y sedimentos. Lima, Peru: https://hdl.handle.net/20.500.13084/7987.

ANA, (. n. (2014). Plan Nacional de Recursos Hidricos. Lima.

Arias, J. (2021). *Diseño y metodologia de la investigacion.* Arequipa-Peru.

Arnold, e. a. (1998). Large area hydrologic modeling and assessment part I model development. *Journal of the american water resourcesassociation*, 18.

Arnold, J. G., Moriasi, D. N., Gassman, P. W., & Abbaspour, K. C. (2012). SWAT: model use, calibration, and validation. *transactions of the ASBE, 4*(55), 1491-1508. https://doi.org/10.13031/2013.42256

Arriaga, E. E. (1967). Metodos de proyeccion de poblaciones algunas consideraciones sobre los mas usados. *Revista de economia y estadistica, 11*(1-2), 55-68. https://doi.org/https://doi.org/10.55444/2451.7321.1967.v11.n1-2.3617

Banco mundial. (2023). *Peru Acciones estrategicas para la seguridad hidrica.* Washington DC: Grupo banco mundial.

Behar, D. (2008). *Metodologia de la investigacion.* Shalom 2008.

Breña, P. A., & Jacobo, V. M. (2006). *Principios y fundamentos de la hidrologia superficial.* Mexico: Universidad autonoma metropolitana-Mexico.

Brouwer, C., & Heibloem, M. (1987). *Gestion del agua: necesidades de agua de riego.* Roma, Italia.

Carazas Montoya, G. (2022). Oferta y demanda de agua de riedo de los usuarios del canal Mariño de Abancay 2017-2018. Abancay, Apurimac, Peru.

Castro, M. (2008). Fundamentos, escenarios y estrategias de mitigacion del cambio climatico. *Centro de investigacion para la paz*, 5.

Colin Garcia, G., Palacios Velez, E., & Lopez Perez, A. (2024). Evaluacion del impacto del cambio climatico en el balance hidrico de la cuenca del rio Mixteco con el modelo SWAT. *impactos del cambio climatico en los caudales fluviales: dinamica hidrologica y calidad del agua, 4*(11), 24. https://doi.org/10.3390/hydrology11040045

Conde, C. (2007). *Mexico y el cambio climatico global.* Universidad nacional autonoma de Mexico. https://www.gob.mx/inecc/acciones-y-programas/que-es-el-clima

Consorcio agua para Abancay. (2023). Agua para abancay y comunidades, para siempre: desarrolando estrategias de resilencia urbana ante el cambio climatico en la microcuenca mariño. Abancay, Peru.

Cuadrat, J., & Pita, M. (2000). Climatologia. catedra geografica. *Catedra geografica*, 496.

Dhaubanjar, S., Lutz, A. F., Pradhananga, S., & Smolenaars, W. (2024). fro theoretical to sustainable potential for run-of-river hydropower development in the upper indus basin. *Applied energy, 357*. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2023.122372

Espinoza, A. M., & Zelaya, M. C. (2021). Aplicacion del modelo hidrologico SWAT en unidades hidrograficas de Nicaragua: Simulacion del escurrimieno superficial. *La*

Calera, *22*(38), 24-29. https://doi.org/https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=9028580

Fernadez Cardenas, R. D., Carrillo Soto, G. A., & Barrera Cortes, J. E. (04 de 2025). La oferta hídrica del río Zulia en Colombia ante dos escenarios del cambio climático. *Ciencia latina*. https://doi.org/https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v9i2.17308

Fernandez, C. (abril de 2017). Modelamiento hidrologico de la region hidrografica del titicaca. *Servicio nacional de metreologia e hidrologia del peru (SENAMHI)*, 50.

Frisancho Colpaert, G. L. (2022). Impactos del incremento de temperatura por el cambio climatico en el balace hidrico de microcuenca de laguna de Piuray,2000-2020. Cusco, Peru.

Frisancho Colpaert, L. G. (2022). Impacto del incremento de temperatura por el cambio climatico en el balance hidrico de Microcuenca de la laguna de Piuray,2000-2020. Cusco, Peru.

Frisancho, C. R., & Luna, M. M. (2020). Evaluacion del balance hidrico de la cuenca de la laguna de Piuray considerando el escenario mas desfavorable para el año 2040segun el modelo WEAP, con fines de abastecimiento para la ciudad de Cusco y Chinchero. Cusco, Peru.

Fundacion, A. (2021). *Causas y consecuencias del cambio climatico*. https://www.fundacionaquae.org/wiki/causas-y-consecuencias-cambio-climatico/#Causas_del_cambio_climatico

Galvez, M. (2023). GMA derecho inmobiliarios: los derechos de uso de agua en Peru. *Derecho inmobiliario y saneamiento fisico legal*, 1.

Gambin, L. J. (2025). Que son los recursos hidricos. *International business school - ENAE*. https://doi.org/https://www.enae.es/blog/que-son-los-recursos-hidricos

Garay Valdivia, M. F., & Huanca Diaz, L. C. (2022). Aplicacion de modelacion hidrologica para analizar sequias en escenarios de cambio climatico, en la sub cuenca del rio Chili Arequipa 2020-2050". Callao, Peru.

Garay Valdivia, M. F., & Huanca Diaz, L. C. (2022). Aplicacion de modelacion hidrologica para analizar sequias en escenarios de cambio climatico, en la sub cuenca del rio Chili Arequipa 2020-2050". Callao, Peru: https://hdl.handle.net/20.500.12952/7275.

Garay, O. (2009). Manual de uso consultivo del agua para los principales cultivos de los andes centrales peruanos. *Revista de investigacion agricola*, 45-58.

Gassman, P. W., Reyes Reyes, M., Green, C. H., & Arnold, J. (2007). Herramientas de evaluacion de suelo y agua:Desarrollo historico, aplicaciones y direcciones de ivestigaciones futuras. *transacciones de la ASABE, 50*(4), 1211-1250. https://doi.org/http://dx.doi.org/10.13031/2013.23637

Gassman, P., & Reyes, M. (2007). Herramienta de evaluacion del suelo y el agua: desarrollo historico, aplicaciones y futuras direcciones de investigacion. *sociedad estadounidiense de ingenieros agricolas y biologicos*, 50.

Gencat. (2020). *Cambio climatico*. https://canviclimatic.gencat.cat/es/canvi/projeccions/index.html

Gonzales, M. C., Saldarriaga, G. J., & Jaramillo, O. (2010). Estimacion de la demanda de agua. En *Conceptualizacion y dimensionamiento de la demanda hidrica sectorial* (págs. 170-228). Colombia: IDEAM. Retrieved 01 de diciembre de 2025, from Demanda hidrica: http://gobiernoagua.corpoboyaca.gov.co:2157/demanda/

Gonzalo, R. H., Dominguez Calle, E., Marin Ramirez, R., & Venegas, R. (2004). Metodologia para el calculo del indice de escaces de agua superficial. *Instituto de hidrologia meteorologia y estudios ambientales - IDEAM*, 10. Bogota, D.C, Colombia.

Goswami, P. (2017). El papel de los recursos hidricos en el conflictonArabe-Israeli.

Goyburo, A., Rau, P., & Lavado Casimiero, W. (2023). Evaluacion de la seguridad hidrica presente y futuro bajo cambios antropogenicos y climaticos utilizando el modelo WEP en la cuenca Vilcanota-Urubamba, Cusco, Peru. *7*(1439), 15. https://doi.org/https://doi.org/10.3390/w15071439

Hernandez, R. e. (2014). *Metodologia de la investigacion.* Mexico.

IDEAM, (. d. (24 de 10 de 2024). *Demanda hidrica actual y potencial.* https://www.ideam.gov.co/atencion-y-servicios-a-la-ciudadania/glosario/demanda-hidrica-actual-y-potencial

IME. (2024). *Calibraciones IME, laboratorio acreditado antes EMA Y PJLA*. https://calibracionesime.com.mx/que-es-calibracion-ime/

INECC, (. N. (10 de julio de 2017). *Mexico ante el cambio climatico*. Escenarios de cambio climatico: https://www.gob.mx/inecc/acciones-y-programas/escenarios-de-cambio-climatico-80126

INEI, (. N. (2017). https://www.gob.pe/inei/

INTERNACIONAL, A. P. (2005). International conference on poulation and development (ICPD).

IPCC. (2021). The physical science basis. Constribution of working group i to the sixth Assessment report. *Climate change* , 40-48.

Llauca Soto, H. (2021). Estudio de modelamiento hidrologico a paso diario a nivel nacional para el monitoreo de potencales inundaciones. *Servicio nacional de metereologia e hidrologia del Peru - SENAMHI*, 26. https://doi.org/https://hdl.handle.net/20.500.12542/1777

LLauca, H., Lavado Casimiro, W., Montesinos, C., & Santini, G. (2021). PISCO_HyM_GR2M: Un modelo de balance hidrico mensual. *Centro de*

investigacion y tecnologia del agua. https://doi.org/https://doi.org/10.3390/w13081048

Lopez, P., & Fachelli, S. (2015). *Metodologia de la investigaion social cuantitativa.* Barcelona, España.

Manuel Pulido et al. (2020). Balance hídrico actual y futuro en las cuencas en España, déficits estructurales e implicaciones socioeconómicas. España.

Mejia, M. J. (2006). *Hidrologia aplicada.* Lima: Universidad nacional agraria la Molina.

Monsalve, S. G. (1999). *Hidrologia en la ingenieria.* Colombia: Escuela colombiana de ingenieria.

Munilla, V. (2025). Hidrologia: que es, ramas, historia y aplicaciones. *Ecologia verde*. https://doi.org/https://ecologiaverde.elperiodico.com/hidrografia-que-es-ramas-e-importancia-6301.html

Natalia, U. (20 de Abril de 2010). Coceptos basicos y guia rapida para el usuario. *SWAT (solil and water assessment tool)*. Texas, USA.

Navarra, M. (s.f.). *El viento*. https://meteo.navarra.es/definiciones/viento.cfm

Neitsch , S. L., Arnold, J. G., Kiniry, J. R., & Williams, J. R. (2005). Soil and water assessment tool theoretical documentation. https://doi.org/https://swat.tamu.edu/media/99192/swat2009-theory.pdf

Neitsch, S. L., Arnold, J. G., Kiniry, J. R., & Williams, J. R. (2009). Documentacion teorica de la herramienta de evaluacion de suelos y agua. *Soil y water assessment tool*.

Ochoa, T. B., Cuadros Adriazola, J., Arapa Guzman, E., & Aste Cannock, N. (junio de 2022). Guia para el modelo hidrologico de la infraestructura natural. Lima, Peru.

OMM-N°. (2017). *http://www.clubdelamar.org/terminologia.htm.* http://www.clubdelamar.org/terminologia.htm

Ordoñez, G. J. (2011). "Contribuyendo al desarrollo de una cultura del agua y la gestion integral de recurso hidrico". Lima, Peru.

Orellana, R. (2013). Centro de investigacion cientifica de Yucatan A.C (CICY). *Escenarios del cambio climatico*. Mexico, Mexico.

Osorio, C. K., & Cerquera, M. N. (2020). Revision de aplicaciones del modelo SWAT para simular el transporte de agroquimicos en cuencas hidrograficas. Medellin, Colombia.

Perez, P. J., & Gardey, A. (julio de 2021). Evaluacion. *Definicion*. https://doi.org/https://definicion.de/evaluacion/

Quispe, M. R. (2022). Tendencias Demografics del Peru: proyecciones al 2050. *Desafios:Economia y Empresa., 1*(1), 67-82. https://doi.org/https://doi.org/10.26439/ddee.vi001.5382

Riahi, K., Calvin, K., & Dellink, R. (2017). Las vias socioeconomicas compartidas: trayectorias para el desarrollo humano y el cambio ambiental global. *Cambio ambiental global, 42*, 148-152. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2016.10.009

Rodriguez, J. R., Benito Capa, A., & Portela Lozano, A. (2024). *Metereologia y climatologia.* España: FECYT (fundacion española para la ciencia y tencologia).

Rose, C. (2004). *An introduction tp the enviromental physics of soil, water and watersheds.* Nueva york, reino unido: Cambridge university press.

Ruiz, M. J., Muños, A. G., Corredor Llano, X., & Melo Franco, J. Y. (2023). Nueva generacion de escenarios de cambio climatico SSP del IPCC para colombia en alta resolucion espacial utilizando modelos CMIP6bajo los estandares de prediccion de la OMM. *11*(1). https://doi.org/https://doi.org/10.21158/23823399.v11.n1.2023.3936

SENAMHI. (20 de octubre de 2021). Glosario de terminos relacionados a sequias gestion del riesgo y cambio climatico. *Proyecto Pacha-yatiña/yachay*. WWF: https://www.worldwildlife.org/threats/water-scarcity

Shulte, P. (27 de agosto de 2013). Definicion de escasez de agua, estres hidrico y riesgo de agua. *Pacific institute*. https://doi.org/https://pacinst.org/water-definitions/

Sierra Puga, J. (2022). Evaluacion de la recarga hidrica y escacez del manante Marcamarca en la microcuenca Mariño Provincia de Abancay, Region Apurimac-2019. Abancay, Aapurimac, Peru.

Sierra Puga, J. (2022). Evaluacion de la recarga hidrica y escacez del manante marcamarca en la microcuenca mariño, provincia de Abancay, region Aurimac-2019. Abancay, Apurimac, Peru.

Silva, G. (2005). La cuenca del rio Orinoco: Vision hidrografica y balance hidrico. *Revista geografica Venezolana*, 75-108.

Solarte Guerrero, J. G., Apraez Muños, J., & Ceballos Freire, A. J. (2025). *Evaluación del modelo hidrológico SWAT bajo diferentes escenarios de usos de suelo en la microcuenca Peñas Blancas, Nariño-Colombia.* Paraná, Colombia: Atena. https://doi.org/10.22533/at.ed.2652526039

Sotomayor Gonzales, P. (2020). Adapatacion de los recursos hidricos al cambio climatico: Aplicacion de los modelos hidrologicos al caso de la cuenca del rio babahoyo-Ecuador. Ecuador.

Torres, D. A. (2011). Tasas de crecimiento poblacional (r): una mirada dese el modelo matematico lineal, geometrico y exponencial. *CIDE digital, 2*(1), 143-162.

Villon, B. M. (2002). *Hidrologia.* Costa Rica: Instituto tecnologico de Costa Rica.

Viner, D. (2002). *Centro de distribucion de datos*. intergovernamental panel on climate change: https://www-ipcc--data-

org.translate.goog/guidelines/pages/gcm_guide.html?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=es&_x_tr_hl=es&_x_tr_pto=tc

Zarza, L. F. (2025). *Ciclo del agua: que son los usos del agua*. Iagua: https://www.iagua.es/respuestas/cuales-son-usos-agua

IX. Anexos

Los anexos, panel fotográfico y otros documentos están resguardados en la oficina de repositorio digital institucional en la Biblioteca Central de la Universidad Tecnológica de los Andes