

UNIVERSIDAD DE HUANUCO
FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERIA CIVIL



TESIS

**“Relación entre el cambio climático y los patrones
hidrológicos en la cuenca del río Higuera, Huánuco – 2025”**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO
CIVIL**

AUTOR: Melendez Bruno, Daybit Friedrich

ASESOR: Elbio Fernando, Felipe Matías

HUÁNUCO – PERÚ

2026



UDH
UNIVERSIDAD DE HUANCAYO
<http://www.udh.edu.pe>

U

D

H

TIPO DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN:

- Tesis (x)
- Trabajo de Suficiencia Profesional ()
- Trabajo de Investigación ()
- Trabajo Académico ()

LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN: Hidráulica
AÑO DE LA LÍNEA DE INVESTIGACIÓN (2020)

CAMPO DE CONOCIMIENTO OCDE:

Área: Ingeniería, Tecnología

Sub área: Ingeniería civil

Disciplina: Ingeniería civil

DATOS DEL PROGRAMA:

Nombre del Grado/Título a recibir: Título

Profesional de Ingeniero(a) Civil

Código del Programa: P07

Tipo de Financiamiento:

- Propio (x)
- UDH ()
- Fondos Concursables ()

DATOS DEL AUTOR:

Documento Nacional de Identidad (DNI): 72952939

DATOS DEL ASESOR:

Documento Nacional de Identidad (DNI): 0037356

Grado/Título: Master en ingeniería civil con mención en ingeniería vial

Código ORCID: 0009-0006-3387-9498

DATOS DE LOS JURADOS:

N°	APELLIDOS Y NOMBRES	GRADO	DNI	Código ORCID
1	Malpartida Valderrama, Yenerit Pamela	Grado de magíster en medio ambiente y desarrollo sostenible mención en gestión ambiental	22516875	0000-0003-2705-4300
2	Davila Herrera, Percy Mello	Maestro en ingeniería, con mención en gestión ambiental y desarrollo sostenible	41050949	0000-0001-5484-6982
3	Trujillo Ariza, Yelen Lisseth	Maestro en medio ambiente y desarrollo sostenible, mención en gestión ambiental	70502371	0000-0002-5650-3745



UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO

Facultad de Ingeniería

PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA CIVIL

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO(A) CIVIL

En la ciudad de Huánuco, siendo las 15:30 horas del día **martes 28 de abril de 2026**, en cumplimiento de lo señalado en el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad de Huánuco, se reunieron los **Jurados Calificadores** integrado por los docentes:

❖ MG. YENERIT PAMELA MALPARTIDA VALDERRAMA	PRESIDENTE
❖ MG. PERCY MELLO DAVILA HERRERA	SECRETARIO
❖ MG. YELEN LISSETH TRUJILLO ARIZA	VOCAL

Nombrados mediante la RESOLUCIÓN No 0612-2026-D-FI-UDH, para evaluar la Tesis intitulada: "RELACIÓN ENTRE EL CAMBIO CLIMÁTICO Y LOS PATRONES HIDROLÓGICOS EN LA CUENCA DEL RÍO HIGUERAS, HUÁNUCO – 2025", presentado por el (la) Bachiller. Bach: **Daybit Friedrich MELENDEZ BRUNO**, para optar el Título Profesional de Ingeniero(a) Civil.

Dicho acto de sustentación se desarrolló en dos etapas: exposición y absolución de preguntas: procediéndose luego a la evaluación por parte de los miembros del Jurado.

Habiendo absuelto las objeciones que le fueron formuladas por los miembros del Jurado y de conformidad con las respectivas disposiciones reglamentarias, procedieron a deliberar y calificar, declarándolo(a) **APROBADO**..... por **UNANIMIDAD**..... con el calificativo cuantitativo de **12**..... y cualitativo de **SUFICIENTE**..... (Art. 47).

Siendo las **16:30**..... horas del día **28 del mes de abril** del año 2026, los miembros del Jurado Calificador firman la presente Acta en señal de conformidad.

MG. YENERIT PAMELA MALPARTIDA VALDERRAMA
DNI: 22516875
ORCID: 0000-0003-2705-4300
PRESIDENTE

MG. PERCY MELLO DAVILA HERRERA
DNI: 41050949
ORCID: 0000-0001-5484-6982
SECRETARIO (A)

MG. YELEN LISSETH TRUJILLO ARIZA
DNI: 70502371
ORCID: 0000-0002-5650-3745
VOCAL



UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO

CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD

El comité de integridad científica, realizó la revisión del trabajo de investigación del estudiante: DAYBIT FRIEDRICH MELÉNDEZ BRUNO, de la investigación titulada "RELACIÓN ENTRE EL CAMBIO CLIMÁTICO Y LOS PATRONES HIDROLÓGICOS EN LA CUENCA DEL RÍO HIGUERAS, HUÁNUCO - 2025", con asesor(a) ELBIO FERNANDO FELIPE MATÍAS, designado(a) mediante documento: RESOLUCIÓN N° 2321-2025-D-FI-UDH del P. A. de INGENIERÍA CIVIL.

Puede constar que la misma tiene un índice de similitud del 14 % verificable en el reporte final del análisis de originalidad mediante el Software Turnitin.

Por lo que concluyo que cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio y cumple con todas las normas de la Universidad de Huánuco.

Se expide la presente, a solicitud del interesado para los fines que estime conveniente.

Huánuco, 06 de abril de 2026



MANUEL E. ALIAGA VIDURIZAGA
D.N.I.: 71345687
cod. ORCID: 0009-0004-1375-5004

INFORME DE ORIGINALIDAD

14%

INDICE DE SIMILITUD

14%

FUENTES DE INTERNET

8%

PUBLICACIONES

4%

TRABAJOS DEL
ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1

repositorioacademico.upc.edu.pe

Fuente de Internet

2%

2

repositorio.udh.edu.pe

Fuente de Internet

1%

3

hdl.handle.net

Fuente de Internet

1%

4

repositorio.continental.edu.pe

Fuente de Internet

1%

5

repositorio.upeu.edu.pe

Fuente de Internet

1%



MANUEL E. ALIAGA VIDURIZAGA
D.N.I.: 71345687
cod. ORCID: 0009-0004-1375-5004

DEDICATORIA

Esta tesis se la dedico a mi Dios, fuente inagotable de luz y esperanza, que me dio la fortaleza para seguir adelante, quien supo guiarme por el buen camino, darme fuerzas para seguir adelante y no desmayar en los problemas que se presentaban, enseñándome a encarar las adversidades sin perder nunca la dignidad ni desfallecer en el intento

A mis padres, que con su amor incondicional me enseñó el valor de la perseverancia. Su apoyo y su fe en mí han sido el combustible que encendió mi determinación, su apoyo, consejos, comprensión, amor, ayuda en los momentos difíciles, y por ayudarme con los recursos necesarios para estudiar. Me han dado todo lo que soy como persona, mis valores, mis principios, mi carácter, mi empeño, mi perseverancia, mi coraje para conseguir mis objetivos

Y, por supuesto, a mis profesores y asesores, quienes, con su sabiduría y paciencia, estuvieron presentes en cada paso del camino, especialmente en los momentos más oscuros. Esta tesis no es solo un reflejo de mi trabajo, sino de su constante aliento, que me impulsó a no rendirme y a continuar cuando las fuerzas parecían flaquear.

AGRADECIMIENTO

Agradezco en primer lugar a Dios, por brindarme vida, salud, sabiduría y fortaleza para culminar con éxito esta etapa tan importante de mi formación profesional.

A mis padres, por su amor incondicional, comprensión, sacrificio y constante apoyo moral y económico, pilares fundamentales que me impulsaron a seguir adelante a pesar de las dificultades.

A mis docentes y asesores, por su dedicación, paciencia y orientación durante el desarrollo de la presente tesis, compartiendo sus conocimientos y experiencias que contribuyeron de manera significativa a mi crecimiento académico.

De igual manera, expreso mi sincero agradecimiento a mis compañeros y amigos, por su apoyo, compañerismo y por los gratos momentos compartidos a lo largo de la carrera, que hicieron más llevadero este camino.

Finalmente, extendiendo mi gratitud a todas las personas, que directa o indirectamente, contribuyeron al logro de este objetivo profesional.

INDICE

DEDICATORIA	II
AGRADECIMIENTO	III
ÍNDICE DE TABLAS	VII
ÍNDICE DE FIGURAS	VIII
RESUMEN	X
ABSTRACT	XI
INTRODUCCIÓN	XII
CAPÍTULO I	13
PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	13
1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.....	13
1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	15
1.2.1 PROBLEMA GENERAL.....	15
1.2.2 PROBLEMAS ESPECÍFICOS	15
1.3 OBJETIVOS.....	15
1.3.1 OBJETIVO GENERAL.....	15
1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	15
1.4 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	16
1.4.1 JUSTIFICACIÓN TEÓRICA.....	16
1.4.2 JUSTIFICACIÓN PRÁCTICA	17
1.4.3 JUSTIFICACIÓN SOCIAL	17
1.4.5 JUSTIFICACIÓN AMBIENTAL	18
1.5 LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN	18
1.6 VIABILIDAD DE LA INVESTIGACIÓN	19

CAPÍTULO II	20
MARCO TEÓRICO	20
2.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN	20
2.1.1 ANTECEDENTES INTERNACIONALES.....	20
2.1.2 ANTECEDENTES NACIONALES	22
2.1.3 ANTECEDENTES LOCALES.....	24
2.2 BASES TEÓRICAS.....	25
2.2.1 CAMBIO CLIMÁTICO.....	25
2.2.2 CUENCAS HIDROGRÁFICAS	31
2.3 DEFINICIONES CONCEPTUALES	37
2.3.1 CAMBIO CLIMÁTICO	37
2.3.2 CICLOS HIDROLÓGICOS.....	37
2.3.3 CUENCA HIDROGRÁFICA.	37
2.3.4 ESCORRENTÍA,	37
2.3.5 INFILTRACIÓN,	37
2.3.6 MODELAMIENTO HIDROLÓGICO.....	37
2.3.7 PATRONES HIDROLÓGICOS.....	37
2.3.8 SIMULACIÓN A LARGO PLAZO.	37
2.3.9 SWAT.....	37
2.3.10 UNIDADES DE RESPUESTA HIDROLÓGICA (URH).	38
2.4 HIPÓTESIS.....	38
2.4.1 HIPÓTESIS GENERAL	38
2.4.2 HIPÓTESIS ESPECÍFICAS.....	38
2.5 VARIABLES	39

2.5.1	VARIABLE INDEPENDIENTE	39
2.5.2	VARIABLE DEPENDIENTE	39
2.6	OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES	40
CAPITULO III		41
METODOLOGIA DE LA INVESTIGACION.....		41
3.1	TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	41
3.1.1	ENFOQUE.....	41
3.1.2	ALCANCE O NIVEL.....	41
3.1.3	DISEÑO.....	42
3.2	POBLACIÓN Y MUESTRA	45
3.2.1	POBLACIÓN	45
3.2.2	MUESTRA.....	45
3.3	TÉCNICAS E INSTRUMENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS	
	46	
CAPITULO IV.....		52
RESULTADOS.....		52
4.1	PROCESAMIENTO DE DATOS	52
4.2	CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS Y PRUEBA HIPÓTESIS....	81
CAPITULO V.....		84
DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....		84
CONCLUSIONES		87
RECOMENDACIONES.....		88
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....		89
ANEXOS.....		94

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Operacionalización de la variable independiente y dependiente	40
Tabla 2 Parámetros geomorfológicos de la cuenca del río Higuera.....	52
Tabla 3 Distribución altitudinal de la cuenca del río Higuera	53
Tabla 4 Distribución de intervalos de pendiente, frecuencia y cálculo de la pendiente promedio en la cuenca	54
Tabla 5 Análisis de Varianza (ANOVA) de un factor para las variables de Precipitación y Escorrentía, segmentado por estación	67
Tabla 6 ANOVA de la regresión lineal simple: Caudal vs. Año	74
Tabla 7 Media anual comparativa de caudales simulados (SIMULADO) y referenciales	74
Tabla 8 ANOVA de la regresión múltiple: Precipitación y Temperatura como predictores del Caudal	80

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Ciclo Hidrológico del agua.....	28
Figura 2 Ciclo de la evapotranspiración	30
Figura 3 Cuencas Hidrográficas	31
Figura 4 Formula del balance Hídrico	34
Figura 5 Ecuación del balance hídrico	35
Figura 6 Ubicación del área del proyecto	43
Figura 7 Análisis morfométrico para la caracterización altitudinal y evaluación de respuestas hidrológicas ante escenarios de cambio climático en la cuenca del río Higueras	55
Figura 8 Distribución altitudinal del área de la cuenca del rio higueras	56
Figura 9 Comparación de tendencias históricas y futuras bajo escenarios RCP 4.5 y RCP 8.5 utilizando datos PISCO para modelamiento hidrológico SWAT	57
Figura 10 Tendencia histórica de escurrimiento superficial con datos simulados en SWAT a partir de precipitaciones PISCO	58
Figura 11 Comportamiento interanual de la escorrentía total (mm o m ³ /s) en la cuenca del río Higueras, con base en datos del producto PISCO-SENAMHI.....	59
Figura 12 Comparación entre los valores históricos observados y la tendencia proyectada para la cuenca del río Higueras, Huánuco, Perú	60
Figura 13 Análisis de datos hidrometeorológicos del Perú utilizando la base de datos PISCO	61
Figura 14 Comparación temporal entre precipitación observada y escorrentía superficial anual	62
Figura 15 Configuración del modelo SWAT en ArcGIS para la definición espacial de unidades HRU	63
Figura 16 Configuración de clases de pendiente para la definición de HRU (Unidad de Respuesta Hidrológica) en ArcSWAT	65
Figura 17 Definición espacial de subcuencas y red de drenaje a partir del modelo digital de elevación (DEM) en ArcSWAT	66
Figura 18 Comparación mensual del caudal simulado (en m ³ /s) bajo condiciones actuales y proyecciones climáticas para el año 2025	68
Figura 19 Comparación de los caudales históricos observados y la proyección hidrológica generada mediante el modelo SWAT para la cuenca del río Higueras .	69
Figura 20 Proyección del caudal con base en simulaciones SWAT, cuenca del río Higueras, Huánuco	70
Figura 21 Comparación de escenarios climáticos A, B y C en las zonas alta, media	

y baja de la cuenca	71
Figura 22 Análisis de correlación lineal entre precipitación anual y caudal medio anual.....	72
Figura 23 Distribución espacial del caudal medio simulado mediante SWAT para el año 2025	73
Figura 24 Modelo ARIMA aplicado con intervalo de confianza del 95% para estimar la evolución del caudal medio anual	75
Figura 25 Resultados del modelo hidrológico SWAT para la cuenca del río Higueras	76
Figura 26 Variación del caudal mensual en la cuenca del río Higueras: Comparación entre el período histórico (2000-2020) y la proyección RCP8.5 (2021-2025)	77
Figura 27 Comparación de los componentes hidrológicos entre el escenario histórico y el escenario proyectado RCP 8.5)	78
Figura 28 Estimación por regresión lineal con base en datos históricos 2014–2016 para Huánuco, Jacas Chico y San Rafael.....	79

RESUMEN

La presente investigación titulada *“Relación entre el cambio climático y los patrones hidrológicos en la cuenca del río Higuera, Huánuco – 2025”* tuvo como objetivo general evaluar el impacto del cambio climático en los patrones hidrológicos de la cuenca del río Higuera mediante el uso del modelo hidrológico SWAT. El estudio se desarrolló bajo un enfoque cuantitativo, con un nivel descriptivo-aplicativo y un diseño no experimental de tipo longitudinal. Los resultados evidencian que bajo el escenario climático RCP 8.5, el caudal medio anual proyectado disminuye de 32.7 ± 5.4 m³/s (histórico) a 24.1 ± 4.9 m³/s, representando una reducción del 26.3% y hasta 42.6% en meses de estiaje (septiembre). El balance hídrico muestra una disminución del 8.3% en la precipitación y del 16.7% en la escorrentía, mientras la evapotranspiración aumenta en 6.25%. El modelo SWAT alcanzó buen rendimiento con NSE = 0.81, $R^2 = 0.84$ y un sesgo porcentual PBIAS de +5.6%. La correlación entre precipitación y caudal fue alta ($r = 0.75$), indicando sensibilidad del sistema a las lluvias. Se concluye que el cambio climático tendrá un impacto significativo en la dinámica hidrológica de la cuenca, especialmente en la disponibilidad de agua en temporada seca, afectando la sostenibilidad de los recursos hídricos en Huánuco.

Palabras clave: Cambio climático, cuenca hidrográfica, caudal, escorrentía, SWAT, Huánuco, modelamiento hidrológico.

ABSTRACT

This research, titled “Impact of Climate Change on the Hydrological Patterns of the Higuera River Basin through the Application of the SWAT Hydrological Model, Huánuco 2025”, aimed to evaluate the impact of climate change on the hydrological patterns of the Higuera River Basin using the SWAT model. The study followed a quantitative approach, with a descriptive-applied level and a non-experimental, longitudinal design.

Results indicate that under the RCP 8.5 climate scenario, the projected annual average streamflow decreases from $32.7 \pm 5.4 \text{ m}^3/\text{s}$ (historical) to $24.1 \pm 4.9 \text{ m}^3/\text{s}$, reflecting a 26.3% reduction, and up to 42.6% during dry months (September). The water balance shows an 8.3% decrease in precipitation and a 16.7% reduction in runoff, while evapotranspiration increases by 6.25%. The SWAT model showed good performance with $\text{NSE} = 0.81$, $R^2 = 0.84$, and a percentage bias (PBIAS) of +5.6%. A strong correlation was found between precipitation and streamflow ($r = 0.75$), indicating high sensitivity of the basin to rainfall variability.

It is concluded that climate change will significantly affect the hydrological dynamics of the basin, especially water availability during the dry season, compromising the sustainability of water resources in Huánuco.

Keywords: climate change, watershed, streamflow, runoff, SWAT, Huánuco, hydrological modeling.

INTRODUCCIÓN

El cambio climático representa uno de los principales retos ambientales de las últimas décadas, debido a sus efectos sobre el ciclo hidrológico y la disponibilidad de agua dulce en distintas regiones del mundo (IPCC, 2021). En zonas andinas del Perú, como la región Huánuco, las alteraciones en los patrones de precipitación y escorrentía comprometen la seguridad hídrica, la productividad agrícola y el equilibrio de los ecosistemas locales (SENAMHI, 2020).

La cuenca del río Higuera, que abastece de agua a la ciudad de Huánuco y a comunidades aledañas, presenta una alta sensibilidad a variaciones climáticas, lo cual exige una planificación hídrica basada en herramientas predictivas. En este contexto, el modelo hidrológico SWAT (Soil and Water Assessment Tool) permite simular con precisión el comportamiento del caudal bajo distintos escenarios climáticos, facilitando el análisis de impactos futuros y la formulación de estrategias de adaptación.

El objetivo general de la presente investigación fue evaluar el impacto del cambio climático en los patrones hidrológicos de la cuenca del río Higuera, mediante la aplicación del modelamiento hidrológico SWAT, Huánuco 2025. El estudio se desarrolló con enfoque cuantitativo, nivel descriptivo-aplicativo y diseño no experimental de tipo longitudinal.

La investigación se delimitó espacialmente a la cuenca del río Higuera (departamento de Huánuco), temporalmente al periodo 1984–2050, y conceptualmente al análisis del caudal, precipitación, escorrentía, evapotranspiración y recarga hídrica. Esta tesis busca aportar evidencia científica útil para la gestión sostenible del recurso hídrico frente al cambio climático en

CAPÍTULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

En el mundo uno de los principales problemas en las cuencas de los ríos es el cambio climático, sumados a esto está la disponibilidad y calidad de los datos climáticos e hidrológicos históricos que son escenarios futuros de cambio climático.

El cambio climático ha generado alteraciones en los patrones de precipitación y temperatura, afectado de manera directa la disponibilidad de agua en las cuencas hidrográficas a nivel global (Bates et al., 2008). El cambio climático está provocando alteraciones significativas en el régimen de caudales de las cuencas hidrográficas, lo que afecta la disponibilidad de agua y la gestión de los recursos hídricos (Palmer et al., 2008).

El cambio climático aumentará las inundaciones en las cuencas de los ríos tropicales, dañando el medio ambiente de las turberas y las plantaciones agrícolas, en 3,3 veces para 2050, lo que requerirá que las medidas de gestión de la cuenca hidrográfica consideren el aumento de la profundidad y la superficie de las inundaciones. (Yamamoto y Sayama, 2021). La variabilidad climática y el cambio en el uso y la cubierta terrestre tienen un impacto significativo en los regímenes hidrológicos, lo que conduce a una disminución del caudal de los arroyos y de los recursos hídricos en las regiones áridas y semiáridas, tienen problemas críticos de escasez de agua (Bao, et al., 2019).

El cambio climático afecta la cuenca de los ríos, provocando una mayor competencia por el agua y discrepancias entre el excedente y la demanda, lo que potencialmente intensifica la competencia aguas arriba- aguas abajo y entre sectores (Probst y Mauser, (2022). El cambio climático podría afectar significativamente los caudales estacionales de los ríos en las cuencas, y el calentamiento previsto durante el invierno y la primavera podría afectar a los suministros de agua. (Ougahi et al., 2021).

Se espera que el cambio climático disminuya la descarga de los ríos en la cuenca del río Congo, afectando la agricultura, la producción de energía

hidroeléctrica y la disponibilidad de agua para los sistemas humanos y ecológicos. (Karan. et al., 2024)

En el Perú el cambio climático afecta su geografía diversa, incluyendo los Andes, la Amazonía y la costa, aumentando las temperaturas, las variaciones en los patrones de precipitación y el retroceso de glaciares. generando impactos significativos en la biodiversidad, la agricultura, la disponibilidad de agua y la salud pública, exacerbando las vulnerabilidades socioeconómicas, especialmente en comunidades rurales influye directamente en el caudal de los ríos no siendo el río Higuera

En la región Huánuco el cambio climático ha comenzado a afectar significativamente la región, manifestándose a través de un aumento de las temperaturas, alteraciones en los patrones de precipitación y el retroceso de glaciares, estos tienen implicaciones profundas para la agricultura, la biodiversidad y la salud de las comunidades locales.

Casos extremos como sequías prolongadas y lluvias intensas se han vuelto más frecuentes, la disponibilidad de agua para riego y consumo, son cruciales para las comunidades agrícolas que dependen de un suministro hídrico constante, alterando los ciclos de crecimiento de los cultivos, afectando la producción agrícola y la seguridad alimentaria en la región.

El modelamiento hidrológico es una herramienta esencial para comprender y predecir el comportamiento de los sistemas hídricos bajo diferentes condiciones climáticas. El modelo SWAT (Soil and Water Assessment Tool) se ha consolidado como uno de los más utilizados a nivel mundial por su capacidad para simular el impacto del uso de la tierra, la gestión de recursos hídricos y el cambio climático en los sistemas de drenaje.

En el presente proyecto de investigación permitirá la creación de escenarios bajo distintas proyecciones climáticas, lo que ayudara a evaluar cómo los cambios en las precipitaciones y temperaturas influyen en el caudal y calidad de río Higuera y la disponibilidad de su agua, también permitirá identificar áreas críticas donde se necesitara mejorar la gestión del agua, contribuyendo a tomar decisiones políticas más informadas sobre el uso y conservación de este recurso vital para ello se plantea los siguientes problemas de investigación

1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1 PROBLEMA GENERAL

- ¿Cuál es la relación entre el cambio climático y los patrones hidrológicos en la cuenca del río Higuera, mediante la aplicación del modelamiento hidrológico (SWAT), Huánuco – 2025?

1.2.2 PROBLEMAS ESPECÍFICOS

- ¿Cómo se han modificado los patrones de precipitación y escurrimiento en la cuenca del río Higuera mediante la aplicación del modelamiento hidrológico (SWAT), Huánuco – 2025?
- ¿Qué cambios se observan en la disponibilidad y comportamiento del caudal de la cuenca del río Higuera mediante la aplicación del modelamiento hidrológico (SWAT), Huánuco – 2025
- ¿Qué relación existe entre las variaciones climáticas y los patrones hidrológicos de la cuenca del río Higuera, mediante la aplicación del modelamiento hidrológico (SWAT), Huánuco – 2025

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 OBJETIVO GENERAL

- Analizar la relación entre las variaciones climáticas y los patrones hidrológicos de la cuenca del río Higuera, mediante la aplicación del modelamiento hidrológico (SWAT), Huánuco – 2025.

1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Describir las variaciones de los patrones de precipitación y escurrimiento en la cuenca del río Higuera mediante la aplicación del modelamiento hidrológico (SWAT), Huánuco – 2025.

- Analizar los cambios en la disponibilidad y comportamiento del caudal de la cuenca del río Higuera mediante la aplicación del modelamiento hidrológico (SWAT), Huánuco – 2025.
- Identificar cómo las variaciones climáticas se relacionan con los cambios en los patrones hidrológicos de la cuenca del río Higuera, mediante la aplicación del modelamiento hidrológico (SWAT), Huánuco – 2025.

1.4 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

La presente investigación se justificó por diversos motivos, tanto en el ámbito práctico, teórico, social, económico como ambiental. En síntesis, esta investigación tuvo una justificación sólida en múltiples dimensiones, ya que no solo aportó conocimientos valiosos a nivel académico y técnico, sino que también constituyó una herramienta fundamental para la gestión sostenible del recurso hídrico, la protección del medio ambiente y la mejora de las condiciones socioeconómicas en la región de Huánuco. A continuación, se detallan estas justificaciones.

1.4.1 JUSTIFICACIÓN TEÓRICA

Este estudio contribuyó al desarrollo del conocimiento científico en el campo del modelamiento hidrológico y la hidrología en cuencas andinas, una región especialmente vulnerable al cambio climático. La aplicación del modelo SWAT en la cuenca del río Higuera permitió comprobar la validez del modelo en un contexto geográfico particular y sirvió como referencia para futuras investigaciones orientadas a evaluar el impacto climático en cuencas similares. Además, la investigación enriqueció el cuerpo teórico sobre los impactos hidrológicos del cambio climático y las herramientas de simulación disponibles para medir dichos impactos, creando un marco de referencia para investigadores interesados en mejorar la precisión de los modelos hidrológicos.

1.4.2 JUSTIFICACIÓN PRÁCTICA

El uso del modelo hidrológico SWAT (Soil and Water Assessment Tool) permitió evaluar y cuantificar los efectos del cambio climático en la cuenca del río Higueras, brindando herramientas que facilitaron la toma de decisiones en el manejo de los recursos hídricos. Esta evaluación resultó de gran utilidad para las autoridades locales y los gestores del agua, ya que permitió proyectar posibles escenarios futuros, optimizando así las estrategias de adaptación y mitigación frente a los impactos del cambio climático. La aplicación de esta herramienta en la cuenca generó información crucial para establecer planes de gestión integrada de los recursos hídricos, prevenir desastres naturales y garantizar la disponibilidad del agua para diferentes usos (agrícola, doméstico, industrial, entre otros).

1.4.3 JUSTIFICACIÓN SOCIAL

El cambio climático tuvo impactos directos en la condición de vida de las comunidades locales que dependieron de los recursos hídricos de la cuenca del río Higueras. Medir y proyectar los efectos del cambio climático permitió diseñar estrategias de adaptación orientadas a proteger a las poblaciones vulnerables frente a sequías, inundaciones y otros eventos extremos vinculados con la alteración del ciclo hidrológico. El conocimiento generado contribuyó a fortalecer la conciencia social y las políticas públicas enfocadas en la sostenibilidad y en la gestión adecuada de los recursos hídricos. Asimismo, la investigación ofreció herramientas para fomentar una gestión comunitaria eficiente del agua, promoviendo un uso responsable y sostenible del recurso en beneficio de las generaciones presentes y futuras

1.4.4 JUSTIFICACIÓN ECONÓMICA

La cuenca del río Higueras fue una fuente vital de agua para diversas actividades económicas en la región, especialmente la agricultura y la ganadería. Los cambios en los patrones hidrológicos, atribuibles al cambio climático, afectaron significativamente la

productividad agrícola, con impactos negativos en la economía local. Este estudio proporcionó información clave para mejorar la gestión del agua en actividades productivas, contribuyendo a mitigar las posibles pérdidas económicas derivadas de la escasez o los excesos de agua. Además, una planificación más adecuada y el uso eficiente del recurso hídrico permitieron aumentar la competitividad económica de la región, al garantizar la sostenibilidad de la producción agrícola y de otras actividades dependientes del agua.

1.4.5 JUSTIFICACIÓN AMBIENTAL

El cambio climático afectó la biodiversidad y los ecosistemas de la cuenca del río Higueras. Las alteraciones en los flujos hídricos generaron consecuencias significativas para la flora y fauna dependientes de estos cuerpos de agua. La evaluación del impacto del cambio climático mediante el modelo SWAT permitió identificar áreas críticas de conservación y establecer medidas orientadas a la protección de los ecosistemas acuáticos y terrestres de la región. Asimismo, esta investigación contribuyó a prevenir la degradación de suelos y de los recursos naturales vinculados a los cambios hidrológicos, aportando a la protección ambiental y a la preservación de la biodiversidad en la cuenca.

1.5 LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN

La presente investigación enfrentó diversas limitaciones que incidieron en el desarrollo y precisión de los resultados obtenidos. En primer lugar, se identificó una limitada disponibilidad y calidad de los datos climáticos e hidrológicos en la región Huánuco, debido a que no existía una base de datos consolidada ni experiencia científica previa específicamente vinculada con el modelamiento hidrológico en la cuenca del río Higueras. Asimismo, se evidenció la falta de datos históricos precisos y completos para la cuenca, lo cual dificultó la calibración y validación del modelo SWAT. Esta situación se vio agravada por la escasa presencia de estaciones meteorológicas cercanas,

así como por la carencia de registros continuos y de largo plazo, reduciendo la confiabilidad de las simulaciones hidrológicas.

1.6 VIABILIDAD DE LA INVESTIGACIÓN

La presente investigación fue considerada viable debido a que contó con los recursos necesarios para su ejecución, tanto en el ámbito económico como en lo humano, material y técnico. Se dispuso de insumos y herramientas adecuadas para llevar a cabo la recopilación, procesamiento y análisis de los datos requeridos, incluyendo software especializado como SWAT (Soil and Water Assessment Tool) y entornos estadísticos como R. Asimismo, se contó con acceso a datos hidrometeorológicos de la región Huánuco, proporcionados principalmente por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI), lo cual permitió alimentar y calibrar el modelo hidrológico con información pertinente. Adicionalmente, la existencia de estaciones meteorológicas convencionales y automáticas en la región, con capacidad de recepción de datos tanto en tiempo real como en diferido, facilitó el acopio de series temporales necesarias para el análisis histórico y la proyección de escenarios climáticos futuros. La combinación de estos factores garantizó las condiciones técnicas y logísticas para ejecutar la investigación.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

A continuación, se presentan estudios realizados que guardan relación con el presente proyecto de investigación

2.1.1 ANTECEDENTES INTERNACIONALES

Bhatta et al., (2019) realizan el trabajo de investigación; “Evaluación y aplicación de un modelo SWAT para evaluar el impacto del cambio climático en la hidrología de la cuenca del río Himalaya”. Artículo. Escuela de energía y tecnología. Tailandia. Trabajo de investigación con enfoque cualitativo, diseño no experimental, nivel descriptivo, tuvo como objetivo evaluar la idoneidad del modelo SWAT mediante el desarrollo de diferentes escenarios de configuración del modelo. El estudio intenta arrojar luz sobre el requisito de complejidad del modelo cuando se trabaja con SWAT en la región del Himalaya. Se prepararon 27 escenarios de configuración del modelo en función de la población de la subcuenca, las HRU y las EB. Los resultados muestran que las bandas de elevación (EB) son más significativas que las HRU y las subcuencas (SB) para conseguir un modelo hidrológico sólido en el Himalaya.

Finalmente concluyen que Los datos climáticos (precipitación y temperatura) extraídos de los modelos CMIPS RCM se corrigieron mediante el LSM de corrección de sesgos del modelo SWAT da mejor rendimiento para simular el futuro caudal de la cuenca.

Khadka et al., (2023) investigan sobre “Evaluación del impacto de los cambios climáticos y de uso del suelo en el ciclo hidrológico utilizando el modelo SWAT en la cuenca del río MUN en el noreste de Tailandia”, Artículo. Escuela de Ingeniería y Tecnología. Tailandia. Trabajo de investigación con enfoque cualitativo, diseño no experimental, nivel descriptivo, tuvo como objetivo: evaluar los cambios previstos en las

variables hidrológicas utilizando el modelo SWAT. El estudio se realizó en la meseta de Korat, en el noreste de Tailandia, la zona de estudio del río MUN, el cual tiene una cuenca dominada por la agricultura, donde alrededor del 75% de la superficie está cultivada. Los resultados muestran que aunque el CC gobierna la escorrentía de la cuenca, el cambio de uso del suelo también afectará a los caudales a escala mensual. En el futuro, la humedad del suelo disminuirá (8-9%) con ambos factores, lo que repercutirá en los medios de vida agrícolas y en el entorno socioeconómico de la cuenca, a menos que se adopten medidas de adaptación adecuadas.

Al concluir el presente trabajo de investigación se manifiesta que el modelo hidrológico SWAT se ha calibrado y validado para el río Mun Basi, utilizando el caudal de nueve estaciones de aforo la evapotranspiración y humedad. Se constata que la escorrentía superficial en la cuenca es muy baja (alrededor del 22% del caudal total), lo que se atribuye a la escorrentía superficial.

Shrestha et al., (2020) realizan el trabajo de investigación titulada “Desarrollo de una rutina SWAT para la operación de centrales hidroeléctricas y su aplicación para evaluar las alteraciones hidrológicas en el Mekong”. Artículo. Universidad de Canterbury. Nueva Zelanda. Trabajo de investigación con enfoque cuantitativo, diseño experimental/ modelización, nivel explicativo aplicativo. El trabajo de investigación tuvo como objetivo desarrollar una rutina SWAT, para las operaciones centrales hidroeléctricas, teniendo como resultado, valores de R superiores a 0,99, luego se aplicó el HYDROR para evaluar las alteraciones hidrológicas debido a los impactos combinados del cambio climático y las operaciones de embalse de 38 presas hidroeléctricas en la cuenca 3S del río Mekong. La producción hidroeléctrica bajo el cambio climático varió de 1,6% a 2,3%, dependiendo del modelo de circulación general elegido. Finalmente concluyen que el modelo hidrológico Soil and Water Assessment Tool (SWAT) es ideal para la hidrología de cuencas pero sólo ofrece funciones limitadas para el funcionamiento de los

embalses. Por ello, se ha desarrollado una rutina de explotación de embalses hidroeléctricos (HYDROR) para SWAT con el fin de analizar sistemas de embalses complejos con diferentes políticas.

2.1.2 ANTECEDENTES NACIONALES

Rojas (2023) realizó la investigación titulada “Impacto del Cambio Climático Sobre el Recurso Hídrico en la Cuenca Amojú Provincia de Jaén – Cajamarca, Periodo 2030-2060” Tesis. Universidad de Cajamarca. Cajamarca Perú. Tuvo como objetivo, analizar el impacto del cambio climático sobre el recurso hídrico en la cuenca Amojú en la provincia de Jaén. Trabajo de investigación, con enfoque cuantitativo, diseño no experimental, nivel descriptivo correlacional. La metodología consistió en recopilar datos de clima y de hidrología como precipitación, temperatura y caudales correspondientes a la cuenca Amojú provenientes del SENAMHI para posteriormente aplicar el modelo SWAT. Los resultados obtenidos indican que la calibración y validación del modelo hidrológico SWAT obtuvo valores de Nash-Sutcliffe efficiency (NSE) igual a 0.81 y 0.84 que se interpretan como valores satisfactorios, además que la temperatura máxima en la cuenca tendrá una disminución porcentual de 8.48% y la temperatura mínima un incremento de 3.46% disponibilidad hídrica durante el período 2030-2060 en el RCP 4.5 tiene un incremento de 3.54% y en RCP 8.5 un incremento de

0.20.

Finalmente concluyen que la aplicación del modelo SWAT presenta resultados estadísticamente confiables y también se logró identificar que la disponibilidad hídrica del río Amojú aumentará en el periodo 2030 2060.

Ccama y Turpo, (2020) realizan el trabajo de investigación “Modelamiento de la vulnerabilidad del recurso hídrico considerando la incidencia del cambio climático en la cuenca del río Chancay – Lambayeque utilizando SWAT”. Tesis. Universidad Peruana Unión. Perú. Investigación con enfoque cuantitativo, diseño no experimental, nivel

descriptivo. El objetivo del trabajo fue evaluar la vulnerabilidad del recurso hídrico respecto al cambio climático en la cuenca del río Chancay, utilizando el modelo semi distribuido SWAT. Los resultados obtenidos del modelo SWAT demuestran un desempeño satisfactorio en el periodo de calibración con $NSE = 0.56$ y validación con $NSE = 0.65$. Los resultados de las proyecciones climáticas para la temperatura, precipitación y flujo tienden a incrementar hasta en 3°C , 59.7% y 62.9% , respectivamente para el año 2100 en la cuenca Chancay Lambayeque.

Finalmente concluyen que la herramienta de suelos y aguas SWAT integrado con el sistema de información geográfica ArcGIS es de gran ayuda para simular el flujo de la cuenca del río Chancay - Lambayeque durante el periodo de simulación de 1987 – 2014. En cuanto al análisis de la respuesta hidrológica ante las proyecciones realizadas de cambio climático considerados desde 2015 – 2100, indican que la cuenca experimentará un incremento máximo de flujo de descarga para el escenario SSP 4.5 prevé

47.06% y SSP 8.5 prevé 62.9% del flujo observado según el modelo climático CNRM-ESM2-1 del CMIP 6.

Chahuara et al., (2021) investigan sobre la “Evaluación de la disponibilidad hídrica en la cuenca ILAVE bajo escenarios del cambio climático”. Tesis. Universidad Peruana Unión. Perú. Investigación con enfoque cuantitativo, diseño no experimental, nivel descriptivo. La investigación tuvo como objetivo; evaluar la disponibilidad del recurso hídrico en la cuenca ILAVE bajo escenarios del cambio climático, con el modelo Soil and Water Assessment Tool (SWAT). La calibración y validación del modelo SWAT se realizó en un periodo de 30 años (1986 - 2016) utilizando datos climáticos diarios y caudales diarios. Los resultados obtenidos fueron que la precipitación en los escenarios del cambio climático proyecta una disminución de -38.08 mm a -0.29 mm , la mayor disminución de precipitación se da en época de lluvia y se incrementa en época de estiaje, la temperatura máxima aumenta en un 0.06°C y la temperatura mínima disminuye en un -0.20% . En cuanto al

caudal se predice una disminución del recurso hídrico en la época de lluvia variando entre -41.2% a 40.0% mientras que para la época seca proyecta un descenso de -33.8% a -0.1%. Concluyendo que El modelo matemático semidistribuido SWAT es una herramienta adecuada para analizar periodos de excesos y déficit hídricos en cuencas hidrográficas. La calibración y validación del modelo SWAT fue evaluado mediante 3 índices estadísticos: R², NSE, PBIAS, donde los resultados presentan una eficiencia entre “buena” y “muy buena” con un NSE de 81% y 79% en la salida, para la serie (1986 – 2016).

2.1.3 ANTECEDENTES LOCALES

En la región Huánuco existe muy poca información sobre el tema de estudio sin embargo se puede mencionar algunas de ellas.

Neciosup y Simón (2024) realizan en trabajo de investigación titulado *“Modelamiento hidrológico para medir el impacto del cambio climático de la cuenca del río Pachitea – Huánuco”*, Tesis. Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas. Perú. Investigación con diseño experimental, con enfoque cuantitativo, nivel descriptivo explicativo, tuvo como objetivo realizar la modelación hidrológica con la herramienta SWAT con el fin de verificar el comportamiento del caudal respecto al escenario del cambio climático propuesto (CMIP 6 – SSP 585), entre los años 2035 – 2065.

Los resultados obtenidos en el trabajo de investigación del caudal obtenidos por SWAT y habiéndose calibrado y validado en SWAT-CUP, se obtiene por PBIAS el resultado de 5.8 con 250 iteraciones, calificándolo como “Muy bueno” para los años 2001 a 2016.

Finalmente concluyen que los valores de precipitación del delta aplicado (Percentil 95), tenían una variación máxima de un 62.15% a lo largo del mes junio y mínima de 10.30% en el mes septiembre. Para los valores de temperatura máxima, se tiene una variación máxima de 22.36% durante el mes de octubre y mínima de 15.22% obtenidos en el mes de enero. Además, para los valores de temperatura mínima, se tiene

una variación máxima de 63.25% en el mes de junio y mínima de 27.10% en el mes de febrero.

Lino (2024) realizó el trabajo de *investigación “Estimación de parámetros para el cálculo de riesgo de inundación a partir de modelos climáticos en la confluencia de los ríos Huertas y Huallaga, ciudad de Ambo*

- *Huánuco*”. Tesis Universidad de Huánuco. Huánuco – Perú. El trabajo de investigación tuvo como objetivo: Estimar los parámetros para el cálculo de riesgo de inundación a partir de modelos climáticos. Investigación con enfoque cuantitativo, nivel predictivo, diseño no experimental, cuya población fueron todos los ríos del Perú y la muestra fue el río Huallaga y río Huertas. Obtuvo como resultado que en el escenario (histórico), el Río Huertas tenía un caudal de 295.02 metros cúbicos por segundo (m^3/s). Por otro lado, el Río Huallaga tenía un caudal de 421.11 m^3/s en este mismo período. Visualizándose un comportamiento del flujo de agua como se da en la confluencia, valores inferiores a 1.90 metros en tirante para el río Huallaga y Huertas; y en su confluencia llegan a tener tirantes superiores a 2.40 metros en promedio.

Finalmente concluye que las investigaciones sobre el cambio climático han evidenciado una posible conexión entre el aumento de las lluvias máximas y este fenómeno, con proyecciones que sugieren un incremento de hasta el 10% en ciertas áreas. Esto sugiere que las precipitaciones intensas podrían volverse más frecuentes y severas como resultado del cambio climático.

2.2 BASES TEÓRICAS

2.2.1 CAMBIO CLIMÁTICO

El cambio climático se refiere a cambios a largo plazo en las temperaturas y patrones climáticos en el planeta. Si bien estos cambios han ocurrido de forma natural durante millones de años, desde la Revolución Industrial se han visto acelerados principalmente por

actividades humanas, como la quema de combustibles fósiles, que aumenta la concentración de gases de efecto invernadero en la atmósfera (NASA, 2020).

El cambio climático se refiere a cualquier cambio en el clima a lo largo del tiempo, ya sea debido a la variabilidad natural o como resultado de la actividad humana, que altera la composición de la atmósfera global y que se suma a la variabilidad climática natural observada. durante períodos de tiempo comparables (IPCC, 2014).

El cambio climático hace referencia a la variación en el estado del clima que persiste por períodos prolongados, generalmente décadas o más, y que puede ser causado por procesos naturales internos o forzamientos externos como erupciones volcánicas o variaciones en la radiación solar, así como por actividades humanas que alteran la composición de la atmósfera (OMM, 2019).

Estos cambios pueden alterar la armonía de los ecosistemas y así perjudicar en la biodiversidad de la zona y la calidad de vida de los pobladores (Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre (SERFOR, 2021).

Las exposiciones relacionadas con el clima tienen un impacto negativo en la salud mental, y hay pocos estudios que aborden otras prioridades de investigación mundiales, como las intervenciones eficaces, la mitigación, la adaptación y el apoyo a la toma de decisiones (Charlson et al., 2021)

El cambio climático afecta la biodiversidad y los ecosistemas en los países del mundo alterando los servicios ecosistémicos y requiriendo estrategias de adaptación proactivas y flexibles para una gestión eficaz (Weiskopf et al., 2020)

2.2.1.1. PROCESOS HIDROLÓGICOS

Los procesos hidrológicos abarcan todas las fases del ciclo hidrológico, incluyendo la evaporación, condensación, precipitación, infiltración, escorrentía y el flujo subterráneo. Estos

procesos juegan un papel crítico en el suministro de agua para la agricultura, la energía y el consumo humano (FAO, 2021)

Los procesos hidrológicos son los mecanismos que controlan el movimiento, distribución y calidad del agua en la Tierra, desde la evaporación de los océanos hasta la precipitación, el flujo en los ríos y la recarga de acuíferos. Estos procesos son fundamentales para mantener el equilibrio del sistema climático y los ecosistemas (USGS, 2019).

Los procesos hidrológicos son las dinámicas del agua en la Tierra que incluyen fenómenos como la precipitación, infiltración, evaporación, escorrentía y la interacción entre el agua subterránea y superficial. Estos procesos son esenciales para entender el ciclo del agua y su distribución en el medio ambiente (UNAM, 2019).

Según Refsgaard et al., (2021) el conocimiento de los procesos hidrológicos ha avanzado significativamente durante las últimas seis décadas, durante el mismo período, los modelos de cuencas han experimentado importantes avances, incluidos los modelos de caja negra simples, los modelos conceptuales agrupados, los modelos de unidades de respuesta hidrológica, los modelos basados en procesos distribuidos espacialmente y, recientemente, la aparición de modelos híbridos de aprendizaje automático.

Según Zhong et al., (2020) los procesos hidrológicos influyen significativamente en los procesos biogeoquímicos en los ríos y el tiempo de tránsito de los fluidos y la temperatura desempeñan un papel clave en la dinámica de solutos y los procesos geoquímicos.

2.2.1.2 EL CICLO HIDROLÓGICO

El ciclo hidrológico es el proceso continuo de circulación del agua entre la atmósfera, los océanos y la superficie terrestre a través de la evaporación, condensación, precipitación, infiltración y escorrentía. Es fundamental para la regulación del clima y el suministro de agua para los ecosistemas y la vida humana (UNAM,

2011).

El ciclo hidrológico es el sistema global de circulación del agua que incluye la evaporación del agua desde superficies terrestres y cuerpos de agua, la condensación en la atmósfera, la precipitación y el flujo de agua hacia ríos, lagos y acuíferos subterráneos, antes de regresar a los océanos. Este ciclo es crucial para mantener la vida y los sistemas naturales en la Tierra (USGS, 2018).

El ciclo hidrológico responde simétricamente a los cambios de CO₂ en la tierra, pero asimétricamente a los cambios oceánicos, lo que pone de relieve la necesidad de estrategias de mitigación y adaptación al cambio climático (Yeh et al., 2021).

Según Tang, (2019) la Hidrología del Cambio Global (GCH, por sus siglas en inglés) tiene como objetivo comprender las causas del cambio en el ciclo del agua terrestre y apoyar la gestión sostenible de los recursos hídricos, considerando tanto los factores naturales como los antropogénicos. El calentamiento global intensifica el ciclo hidrológico, lo que provoca mayores eventos de superávit y períodos de sequía más prolongados, lo que aumenta la complejidad de la gestión de los recursos hídricos. (Ficklin et al., 2022).

Figura 1

Ciclo Hidrológico del agua



Nota. La figura muestra el ciclo hidrológico del agua. Fuente: adaptado de Ficklin et al., (2022).

2.2.1.3 PRECIPITACIÓN

Las precipitaciones son cualquier forma de agua que cae desde la atmósfera hacia la Tierra, como la lluvia y la nieve, los patrones de precipitación intra anuales impactan la productividad de la planta y la estructura de la comunidad, siendo la uniformidad del tiempo más importante para la productividad de la planta que la variabilidad de la precipitación (Xie et al., 2023).

Las precipitaciones son importantes para el desarrollo estable y sostenible de los ecosistemas y las comunidades de las zonas áridas, que son vulnerables al cambio climático (Jiang, 2020). Las precipitaciones son cruciales para el ciclo del agua y su imprevisibilidad influye en la agricultura, los ecosistemas y la gestión de los recursos hídricos (Achite, 2021).

2.2.1.4 CAUDAL

El caudal se refiere a la cantidad de fluido que fluye a través de una sección determinada de un conducto o canal en un período de tiempo determinado, el cambio climático alterará significativamente los regímenes de flujo de los ríos para la década de 2050, afectando a más ecosistemas de lo que lo han hecho las presas y las extracciones de agua hasta la fecha (Döll, et al 2010).

Es más probable que los cambios en el caudal de los ríos se deban a perturbaciones humanas que al cambio climático por sí solo, ya que no hay una señal clara del cambio climático por sí solo (Villarini et al., 2021).

Para 2060, se prevé que el cambio climático y las extracciones de agua disminuirán los caudales de los ríos en un 16% en promedio, y que la cobertura impermeable y las extracciones de agua afectarán la calidad del agua y los ecosistemas (Caldwell et al., 2012). Se prevé que el cambio climático disminuirá los caudales bajos de los ríos y aumentará los caudales altos en Gran Bretaña para finales del siglo XXI, con variaciones en los resultados entre regiones y dentro de las regiones (Kay et al., 2021)

2.2.1.5 EVAPOTRANSPIRACIÓN

La evapotranspiración superficial juega un papel esencial en el clima, vinculando los ciclos hidrológicos y energéticos, y es importante comprender sus efectos sobre el cambio climático (Ojeda et al., 2020). La evapotranspiración influye directamente en el clima al reducir los gradientes térmicos, mitigar las temperaturas extremas y cerrar los ciclos del agua y la masa (Hesslerová et al., 2019).

Las actividades humanas contribuyen significativamente a las variaciones de la evapotranspiración en la meseta siendo el cambio climático y las actividades humanas los principales factores que afectan a los recursos hídricos (Lv et al., 2019).

Se prevé que el cambio climático aumente la evapotranspiración potencial y la escorrentía superficial en la cuenca superior de los ríos, pero se prevé que el rendimiento total de agua disminuya, lo que afectará a la gestión del agua.

Figura 2

Ciclo de la evapotranspiración



Nota. La imagen muestra el ciclo de la evapotranspiración.
Fuente: adaptado de Ficklin et al., (2022).

2.2.2 CUENCAS HIDROGRÁFICAS

Según Caputo et al., (2021) una cuenca hidrográfica es una extensión territorial delimitada por divisorias de aguas, donde toda la lluvia, nieve o hielo derretido convergen y fluye hacia un punto común, como un río, lago, o el océano. Estos territorios incluyen no solo el cauce principal, sino también sus afluentes y el suelo que los rodea, formando un sistema integrado de gestión hídrica y ambiental

Es un área de tierra que drena hacia un curso de agua o masa de agua común, todos los ríos, lagos y cuerpos de agua menores dentro de la cuenca finalmente se conectan a las aguas.

Figura 3

Cuencas Hidrográficas



Nota. La imagen muestra las variables de las cuencas hidrográficas. Fuente: adaptado de Ficklin et al., (2022).

2.2.1.1 MODELAMIENTOS HIDROLÓGICOS

Los modelos hidrológicos deben adaptarse a las condiciones cambiantes, y comprender los procesos y las respuestas al cambio puede informar futuros estudios sobre el impacto del cambio climático. (Peel & Blöschl, 2011). El modelado hidrológico basado en cuantiles puede mejorar la incertidumbre predictiva en el

modelado hidrológico al simular directamente cuantiles preespecificados de distribución de caudales (Tyrallis & Papacharalampous, 2021).

El modelado hidrológico basado en la física ha avanzado en los últimos 50 años, con avances en física matemática, métodos computacionales y experimentos, pero aún existen desafíos para mantener la consistencia física y numérica en varias escalas y compartimentos (Peel & Blöschl, 2011).

2.2.1.2 MODELAMIENTO CON SOIL AND WATER TOOL (SWAT)

El modelo Soil and Water Assessment Tool (SWAT) es una herramienta utilizada para predecir el impacto de las prácticas de manejo del uso de suelo y el clima en el agua, los sedimentos y la calidad del agua en cuencas hidrográficas complejas. SWAT mide una variedad de indicadores relacionados con la hidrología, la calidad del agua, la erosión y los nutrientes (Arnold, 2009). Algunos de los indicadores clave son:

- **Caudal de agua:** Mide el flujo de agua superficial y subterránea en una cuenca.
- **Erosión y sedimentación:** Evalúa la cantidad de sedimentos transportados por el agua en una cuenca, principalmente debido a la erosión del suelo
- **Nutrientes:** como el Nitrógeno (N), ya que mide la cantidad de nitratos y amoníaco en el agua, también fosforo evaluando las concentraciones de fósforo soluble y total en el agua.
- **Temperatura del agua:** Evalúa la influencia de las prácticas de manejo y el clima en la temperatura de los cuerpos de agua.
- **Calidad del aire:** SWAT puede modelar indirectamente las emisiones y deposición de contaminantes atmosféricos como el carbono y el nitrógeno
- **Balance hídrico:** Mide la distribución y almacenamiento del agua en el suelo y su transporte en la cuenca.

- **Recarga de acuíferos:** Estima la cantidad de agua que se infiltra en el suelo y recarga las aguas subterráneas.
- **Ciclo de carbono:** Modela los flujos de carbono orgánico e inorgánico en el agua y el suelo.
- **Evapotranspiración:** Mide la cantidad de agua que se evapora y transfiere a la atmósfera desde las superficies de la tierra y la vegetación

Según Samimi et al., (2020) el SWAT se utiliza principalmente para comprender la cantidad de agua en cuencas agrícolas áridas y semiáridas, pero sus capacidades para modelar la calidad del agua están subutilizadas. El SWAT es una herramienta que permite realizar un modelo continuo de tiempo, además puede realizar más de un solo acontecimiento de flujo detallado y también permite desarrollar procesos físicos diferentes (Arnold et al. 2002).

El modelo SWAT predice eficazmente la susceptibilidad a la escorrentía en cuencas hidrográficas urbanizadas, siendo SL1 la mejor opción para describir el caudal de los arroyos e identificar las zonas propensas a las inundaciones (Busico et al., 2020).

El modelo SWAT simula eficazmente la carga de sedimentos en regiones áridas y semiáridas, con una eficiencia y sensibilidad aceptables para evaluar los impactos del cambio climático en la erosión del suelo (Hosseini y Khaleghi, 2020). También realiza el cálculo de las unidades de respuesta hidrológica (HRU), las cuales posteriormente se escalan a la salida de las subcuencas. Esto genera que las HRU escalen en relaciones espaciales y a la vez produce un esquema de cálculo computarizado eficiente (Bailey et al, 2016).

SWAT funciona satisfactoriamente para predecir extremos hidroclimáticos, pero las necesidades futuras de investigación incluyen un marco de evaluación unificado, una mejor replicación del flujo máximo y la integración de la inteligencia artificial en el modelado SWAT (Tan et al., 2020).

Así mismo SWAT, permite la definición de diferentes

subunidades dentro de una cuenca, tales como:

- Número ilimitado de Unidades de Respuesta Hidrológica (HRU).
- Ubicación de un estanque. (Opcional)
- Ubicación de un humedal. (Opcional)
- Segmentos de canal principal. (Opcional)
- Embalses en la red del canal principal. (Opcional)
- Fuentes puntuales. (Opcional)

SWAT se encarga de realizar los procesos físicos asociados con el flujo del agua, sedimentos, desarrollo de cosecha, ciclo de nutrientes. Para el desarrollo de la investigación, en la herramienta SWAT, se hará uso de una ecuación principalmente (Balance Hídrico), presentada a continuación:

Figura 4

Formula del balance Hídrico

$$P = ET + R_o + I + \Delta S$$

Nota. La figura muestra la formula del balance hídrico. Fuente: Adaptado de Neciosup y Simón (2025).

Donde:

- **P** = Precipitación
- **ET** = Evapotranspiración (evaporación + transpiración de las plantas)
- **Ro** = Escorrentía superficial
- **I** = Infiltración hacia el agua subterránea
- **ΔS** = Cambio en el almacenamiento de agua en el suelo (almacenamiento hídrico en el perfil del suelo)

El balance hídrico es una fórmula que describe la relación entre la entrada y salida de agua en un sistema, como una cuenca

hidrográfica, un campo o un área específica, y se usa para entender cómo se distribuye el agua en un sistema. Así mismo también se utilizará la ecuación del balance hídrico que se encuentra determinado por:

Figura 5

Ecuación del balance hídrico

$$P - ET - R_o - I = \Delta S$$

Nota. La figura muestra la ecuación del balance Hídrico. Fuente: Adaptado de Neciosup y Simón (2024).

Donde:

- **P** = Precipitación
- **ET** = Evapotranspiración
- **Ro** = Escorrentía superficial
- **I** = Infiltración (agua que entra al subsuelo y recarga acuíferos)
- **ΔS** = Cambio en el almacenamiento de agua (en el suelo, lagos, embalses, etc.).

2.2.1.3 UNIDADES DE RESPUESTAS HIDROLÓGICAS (HRU)

Las Unidades de Respuesta Hidrológica (URH) son áreas dentro de una cuenca hidrográfica que se consideran homogéneas en términos de características de uso del suelo, tipo de suelo y pendiente. Se utilizan en modelos hidrológicos, como el SWAT, para dividir una cuenca en subunidades más pequeñas con características similares, lo que permite realizar simulaciones más detalladas del ciclo hidrológico, los sedimentos y el transporte de nutrientes:

Según Neitsch et al., (2011) "Las URH permiten una subdivisión espacial dentro de las subcuencas que integra el uso del suelo, el tipo de suelo y las características de la pendiente para una simulación detallada del flujo de agua y los contaminantes."

"El uso de URH en el modelo SWAT facilita la representación espacial y temporal del comportamiento hidrológico en subcuencas heterogéneas." (Arnold et al., 2012). "Las URH permiten la modelación a escala subcuenca, combinando factores clave como el uso del suelo, el tipo de suelo y la pendiente, para predecir respuestas hidrológicas de manera más precisa." (Cárdenas y León, 2015).

2.2.1.4 LA CUENCA DEL RIO HIGUERAS

La cuenca del río Higuera es una cuenca hidrográfica ubicada en el norte del Perú, en la región de Huánuco. Es de gran importancia para el desarrollo local, ya que abastece de agua a las comunidades aledañas y se encuentra en una zona caracterizada por la interacción entre ecosistemas montañosos y actividades humanas como la agricultura.

Según Peña (2019) "La cuenca del río Higuera se ubica en la provincia de Huánuco y tiene un rol fundamental en el abastecimiento de agua para uso doméstico y agrícola en la región, además de ser un ecosistema vulnerable a los impactos del cambio climático."

"La cuenca del río Higuera cubre un área de 875 km² y se caracteriza por un relieve accidentado con zonas montañosas, lo que influye en la dinámica de escorrentía y la vulnerabilidad a procesos erosivos." (Sánchez y Torres, 2015). "La cuenca del río Higuera tiene importancia estratégica para el desarrollo agrícola de Huánuco y es el principal sistema hídrico de la región, con varios tributarios que alimentan tanto las áreas rurales como la ciudad capital." (Ministerio de agricultura y riego, 2020).

2.3 DEFINICIONES CONCEPTUALES

2.3.1 CAMBIO CLIMÁTICO, se refiere a los cambios a largo plazo de las temperaturas y los patrones climáticos

2.3.2 CICLOS HIDROLÓGICOS. Se refieren al movimiento continuo y dinámico del agua en la Tierra, a través de diferentes estados y etapas, que involucra la evaporación, la condensación, la precipitación, el escurrimiento y la infiltración.

2.3.3 CUENCA HIDROGRÁFICA. es un área de terreno donde toda el agua de lluvia, escorrentía y ríos drena hacia un mismo punto, que generalmente es un río, lago o embalse

2.3.4 ESCORRENTÍA, es el movimiento del agua sobre la superficie terrestre hacia cuerpos de agua como ríos, lagos y océanos. Esto incluye tanto la escorrentía superficial como la escorrentía subterránea.

2.3.5 INFILTRACIÓN, es el proceso mediante el cual el agua se filtra en el suelo y se convierte en agua subterránea, afectando la disponibilidad de agua en acuíferos

2.3.6 MODELAMIENTO HIDROLÓGICO. Es el proceso de representar matemáticamente el ciclo del agua en un área específica para simular y predecir el comportamiento de los recursos hídricos bajo diversas condiciones.

2.3.7 PATRONES HIDROLÓGICOS es la variabilidad y distribución de la disponibilidad y movimiento del agua en un área determinada a lo largo del tiempo.

2.3.8 SIMULACIÓN A LARGO PLAZO. SWAT permite simular el comportamiento hidrológico en escalas temporales extensas, lo que es útil para estudios de impacto de cambios en el uso del suelo, condiciones climáticas y gestión de recursos hídricos.

2.3.9 SWAT. Es un enfoque que emplea un modelo de simulación para predecir la cantidad y calidad del agua en cuencas hidrográficas,

considerando diversos factores ambientales y humanos.

2.3.10 UNIDADES DE RESPUESTA HIDROLÓGICA (URH). La cuenca se divide en subunidades llamadas URH, que permiten una representación espacial y temporal más detallada de las condiciones hidrológicas, considerando variaciones en el uso del suelo, tipo de suelo y topografía.

2.4 HIPÓTESIS

2.4.1 HIPÓTESIS GENERAL

H₀ = No existe relación estadística significativa entre las variaciones climáticas (temperatura, precipitación) y los patrones hidrológicos (escorrentía, caudal) en la cuenca del río Higuera, mediante la aplicación del modelamiento hidrológico (SWAT), Huánuco – 2025.

H_a = Existe una relación estadística significativa entre las variaciones climáticas (temperatura, precipitación) y los patrones hidrológicos (escorrentía, caudal) en la cuenca del río Higuera, mediante la aplicación del modelamiento hidrológico (SWAT), Huánuco – 2025.

2.4.2 HIPÓTESIS ESPECÍFICAS

H₀ = No se evidencian variaciones estadísticas significativas en los patrones de precipitación y escorrentía en la cuenca del río Higuera mediante la aplicación del modelamiento hidrológico (SWAT), Huánuco – 2025

H_a = Se evidencian variaciones estadísticas significativas en los patrones de precipitación y escorrentía en la cuenca del río Higuera mediante la aplicación del modelamiento hidrológico (SWAT), Huánuco – 2025

H₀ = No existen cambios estadísticamente significativos en la disponibilidad ni en el comportamiento del caudal en la cuenca del río Higuera mediante la aplicación del modelamiento hidrológico (SWAT), Huánuco – 2025

H_a = Existen cambios estadísticamente significativos en la disponibilidad

y comportamiento del caudal en la cuenca del río Higuera mediante la aplicación del modelamiento hidrológico (SWAT), Huánuco – 2025

H₀ = Las variaciones climáticas (temperatura y precipitación) no se relacionan significativamente con los cambios en los patrones hidrológicos (escorrentía y caudal) en la cuenca del río Higuera, mediante la aplicación del modelamiento hidrológico (SWAT), Huánuco – 2025

H_a = Las variaciones climáticas (temperatura y precipitación) se relacionan significativamente con los cambios en los patrones hidrológicos (escorrentía y caudal) en la cuenca del río Higuera mediante la aplicación del modelamiento hidrológico (SWAT), Huánuco – 2025

2.5 VARIABLES

2.5.1 VARIABLE INDEPENDIENTE

- El cambio Climático

2.5.2 VARIABLE DEPENDIENTE

- Patrones Hidrológicos

2.6 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

Tabla 1

Operacionalización de la variable independiente y dependiente

VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	UNIDAD DE MEDIDA	INSTRUMENTOS / FUENTES
Variable Independiente Cambio Climático	Variación del estado del clima durante periodos prolongados (décadas o más) generada por procesos naturales o actividades humanas que alteran la atmósfera (OMM, 2019).	Evaluación de los cambios en temperatura y precipitación en la cuenca del río Higuera para el periodo de estudio y escenarios futuros.	Temperatura y Precipitación	-Temperatura promedio anual - Precipitación total anual	°C mm/año mm/mes	-Estaciones meteorológicas (SENAMHI) -Datos PISCO-Modelos climáticos regionales (CORDEX/PISCO)-Registros históricos
Variable Dependiente: Patrones Hidrológicos	Comportamientos del ciclo del agua en una cuenca, expresados mediante caudales, escorrentía, infiltración y evapotranspiración.	Análisis del comportamiento del caudal, escorrentía e hidrología interna mediante modelamiento hidrológico SWAT.	Caudal Escorrentía	- Caudal promedio mensual - Caudal mínimo y máximo mensual - Escorrentía total anual	m³/s mm/año	-Modelo SWAT 2012/2018- SWAT-CUP (calibración y validación) -Software GIS (ArcGIS/QGIS) -Series hidrométricas ANA

CAPITULO III

METODOLOGIA DE LA INVESTIGACION

3.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN

3.1.1 ENFOQUE

El proyecto de investigación presenta un enfoque cuantitativo, basado en la recolección y análisis de datos numéricos de clima e hidrología, así como en la aplicación del modelo hidrológico SWAT para evaluar la relación entre las variaciones climáticas y los patrones hidrológicos de la cuenca del río Higuera. Hernández, Fernández y Baptista (2022), el enfoque cuantitativo “utiliza la recolección de datos para probar hipótesis, con base en la medición numérica y el análisis estadístico, con el fin de establecer patrones de comportamiento”.

3.1.2 ALCANCE O NIVEL

El estudio presentó un nivel de investigación aplicado, con alcance descriptivo, correlacional y predictivo. El carácter descriptivo permitió detallar los comportamientos climáticos e hidrológicos observados en la cuenca. El alcance correlacional se empleó para analizar la relación entre las variaciones climáticas (temperatura y precipitación) y los patrones hidrológicos (caudal y escorrentía). Finalmente, el componente predictivo se justificó por la aplicación del modelo hidrológico SWAT, que permitió simular escenarios futuros en la cuenca del río Higuera hasta el año 2050.

Este enfoque es coherente con lo indicado por Hernández, Fernández y Baptista (2022), quienes señalan que la investigación aplicada busca resolver problemas prácticos utilizando métodos cuantitativos y herramientas analíticas, mientras que la investigación descriptiva y correlacional permite identificar y analizar relaciones entre variables, y la investigación predictiva utiliza modelos para estimar comportamientos futuros.

3.1.3 DISEÑO

La investigación correspondió a un diseño no experimental y documental, en el que se realizaron diversos procedimientos de cálculo con el objetivo de determinar los resultados relacionados con la precipitación, temperatura y caudal en la cuenca del río Higuera. Asimismo, el estudio implementó estrategias de análisis de contenido, observación directa, entrevistas semiestructuradas y revisión documental, con el fin de capturar la esencia del fenómeno estudiado, ofreciendo tanto una base empírica como una interpretación contextual de los datos recolectados. Según Barroso y Cabrera (2013), este tipo de diseño permite combinar la objetividad del análisis cuantitativo con una aproximación cualitativa para comprender fenómenos complejos desde múltiples perspectivas.

3.1.3.1 DE LA UBICACIÓN DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

El proyecto de investigación abarcó la cuenca del río Higuera, ubicada en el departamento de Huánuco, Perú, la cual forma parte de la cuenca del río Huallaga. El área de estudio se caracterizó por presentar una topografía accidentada, un régimen pluviométrico variable y una alta dependencia de los recursos hídricos para actividades agrícolas, ganaderas y de abastecimiento poblacional. La elección de esta cuenca respondió a su relevancia ecológica y socioeconómica en la región, así como a su vulnerabilidad frente a los efectos del cambio climático.

Figura 6

Ubicación del área del proyecto



Nota. La figura muestra la ubicación del lugar del de ejecución del proyecto.
Fuente: Google Earth (2024).

3.1.3.2 PROCEDIMIENTO

Para el presente trabajo de investigación, se procedió de la siguiente manera:

Se recopilaron datos hidrometeorológicos históricos (precipitación, temperatura y caudal) provenientes de estaciones de la región Huánuco, administradas por el SENAMHI y ANA. Posteriormente, se integraron estos datos en el modelo hidrológico SWAT (Soil and Water Assessment Tool), el cual fue calibrado y validado utilizando criterios estadísticos como el coeficiente de Nash-Sutcliffe (NSE), el coeficiente de determinación (R^2) y el sesgo porcentual (PBIAS). Luego, se implementaron escenarios climáticos futuros mediante proyecciones basadas en trayectorias representativas de concentración (RCP 4.5 y RCP 8.5). Finalmente, se analizaron los patrones de variación de caudal, escorrentía y precipitación proyectados hasta el año 2050, con el fin de evaluar el impacto del cambio climático en la dinámica hidrológica de la cuenca del río Higuera

De la caracterización del ámbito de intervención

Se realizó la caracterización del ámbito de intervención correspondiente a la cuenca del río Higuera, como parte esencial del proceso de modelamiento hidrológico. Para ello, se utilizaron variables cartográficas, climáticas, geomorfológicas y estadísticas poblacionales actualizadas, brindadas por el Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI). Esta información permitió establecer las condiciones físicas, ambientales y socioeconómicas del territorio, lo cual fue fundamental para ajustar adecuadamente los parámetros del modelo SWAT y contextualizar los resultados obtenidos en relación con las dinámicas propias de la cuenca.

3.1.3.3 DEL MODELAMIENTO HIDROLÓGICO

Se generaron datos de precipitación y caudales medios mensuales en distintos escenarios hidrológicos, incluyendo una proyección hasta el año 2050. Para ello, se realizó un análisis de consistencia de los datos de precipitación histórica, a fin de garantizar la calidad de la información empleada en las simulaciones. A través de la herramienta SWAT (Soil and Water Assessment Tool), se llevó a cabo la modelación de la precipitación considerando el impacto del cambio climático sobre la dinámica hidrológica de la cuenca.

Finalmente, se desarrolló un análisis de sensibilidad, seguido de los procesos de calibración y validación del modelo, lo que permitió mejorar la precisión de las simulaciones. A partir de estos resultados, se determinó la escorrentía superficial proyectada en diferentes escenarios climáticos, con el objetivo de identificar zonas críticas y establecer posibles medidas de mitigación y prevención ante eventos hidrológicos extremos.

3.2 POBLACIÓN Y MUESTRA

3.2.1 POBLACIÓN

La población del estudio estuvo conformada por el área física e hidro climática de la cuenca del río Higuera y por la totalidad de los registros hidrometeorológicos disponibles asociados a ella. Esta población incluyó:

- El área total de la cuenca del río Higuera, considerada como unidad espacial de análisis para el modelamiento hidrológico.
- Los registros climatológicos históricos y recientes, correspondientes a series de precipitación y temperatura
- Los registros hidrológicos, tales como caudales medios diarios y mensuales, escorrentía y niveles de agua provenientes de estaciones hidrológicas disponibles en la cuenca o zonas aledañas.

Esta definición se sustenta en la recomendación metodológica para estudios con modelos hidrológicos, donde la población está constituida por el territorio de la cuenca y las series de datos que describen su comportamiento hidrológico natural (Moriarty et al., 2015).

3.2.2 MUESTRA

La muestra estuvo constituida por los datos hidrometeorológicos y hidrológicos seleccionados para representar la variabilidad climática e hidrológica de la cuenca. Esta muestra incluyó:

- Las estaciones meteorológicas e hidrológicas activas o con series históricas, ubicadas dentro o en las proximidades de la cuenca del río Higuera.
- Las series temporales de temperatura, precipitación y caudal, con registros disponibles para el periodo empleado en el análisis hidrológico y la calibración del modelo SWAT.
- Los escenarios climáticos futuros seleccionados, derivados de modelos climáticos regionales utilizados para la simulación predictiva del comportamiento hidrológico de la cuenca.

La selección de esta muestra fue de tipo intencional no

probabilística, debido a que se basó en la disponibilidad, continuidad y calidad de los datos requeridos para el modelamiento hidrológico, siguiendo los lineamientos recomendados para estudios con SWAT (Arnold et al., 2012)

3.2.3 LA UNIDAD DE ANÁLISIS

La unidad de análisis de la presente investigación estuvo constituida por el comportamiento hidrológico mensual y anual de la cuenca del río Higuera, evaluado mediante variables como precipitación, escorrentía y caudal. Estas variables fueron analizadas en función de su variación temporal y espacial bajo distintos escenarios de cambio climático, con el fin de identificar patrones, tendencias y posibles riesgos hidrológicos.

3.3 TÉCNICAS E INSTRUMENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS

3.3.1 PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS

Para la recolección de datos, se emplearon diversas técnicas que permitieron obtener información precisa y relevante en función de los objetivos planteados:

- **Observación directa:** Se llevó a cabo principalmente en laboratorio y campo, permitiendo recopilar información empírica sobre el comportamiento del recurso hídrico en condiciones simuladas y reales.
- **Análisis documental:** Se realizó la revisión exhaustiva de documentos científicos, normativas técnicas, tablas hidrológicas, manuales especializados y especificaciones relacionadas con modelamiento hidrológico y cambio climático.
- **Ensayos hidrológicos y estadísticos:** Se aplicaron procedimientos para determinar el comportamiento de variables como caudal, precipitación y escorrentía, así como la evaluación de la resistencia o variación de estas frente a distintos escenarios climáticos.

3.3.1.1 INSTRUMENTOS

De acuerdo con Hernández et al. (2006), los instrumentos de recolección de datos son herramientas fundamentales que permiten registrar de forma sistemática la información de las unidades muestrales. En este estudio, se utilizaron los siguientes instrumentos:

- Software SWAT (Soil and Water Assessment Tool): Para simular los escenarios hidrológicos bajo distintas condiciones climáticas.
- Software R (versión 4.3): Para el procesamiento estadístico, validación de datos, análisis de correlaciones y modelamiento ARIMA.
- Fichas de observación técnica: Para registrar los resultados obtenidos durante las observaciones y ensayos.
- Bases de datos meteorológicas e hidrológicas (SENAMHI y ANA): Para recopilar información histórica y actual de precipitaciones, caudales y temperaturas.
- Mapas SIG (Sistemas de Información Geográfica): Para caracterizar espacialmente la cuenca y definir zonas altitudinales.

3.3.1.2 PARA LAS VARIABLES CARTOGRÁFICAS

Para el tratamiento de las variables cartográficas, se utilizó el software QGIS (versión actualizada), el cual permitió delimitar con precisión los límites de la cuenca del río Higueras y sus respectivas subcuencas. Esta herramienta facilitó el acceso, análisis y visualización de información geoespacial relacionada con la red hidrográfica, las curvas de nivel, la pendiente, el uso del suelo y otros elementos geográficos relevantes.

Los insumos cartográficos fueron obtenidos a través del portal especializado Geo GPS Perú, el cual proporcionó capas vectoriales y raster validadas, esenciales para el modelamiento espacial del sistema hídrico. Esta información fue fundamental para estructurar

la base del modelo hidrológico SWAT, permitiendo definir áreas de captación, rutas de escurrimiento y zonas críticas de la cuenca

3.3.1.3 PARA LAS VARIABLES METEOROLÓGICAS

Para la recolección y análisis de las variables meteorológicas, se utilizaron datos históricos provenientes de tres estaciones meteorológicas ubicadas en la región de estudio: Huánuco, Jacas Chico y San Rafael. Estas estaciones proporcionaron registros de precipitación correspondientes al periodo 2014–2016, los cuales fueron empleados para estimar tendencias mediante un modelo de regresión lineal simple. La proyección obtenida permitió visualizar la posible evolución de la precipitación anual hasta el año 2050, representada gráficamente con un punto proyectado (triángulo negro).

Adicionalmente, se emplearon los datos del producto PISCO (Peruvian Interpolated Data of SENAMHI Climatological Observations), específicamente la base de datos PISCO (pv2.1) del SENAMHI, que incluye series temporales de precipitación diaria interpolada a escala nacional con resolución espacial de 0.1° (~10 km). Estos datos abarcaron el periodo de 1981 a 2018 y fueron fundamentales para alimentar el modelo hidrológico SWAT, permitiendo simular con mayor precisión las condiciones climáticas actuales y proyectadas en la cuenca del río Higuera.

La combinación de información observacional (estaciones) y reanálisis climático (PISCO) fortaleció la confiabilidad del análisis hidrológico, garantizando una base sólida para la simulación de escenarios climáticos futuros y para la evaluación del impacto del cambio climático en la cuenca de estudio.

3.3.1.4 TÉCNICAS PARA EL PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

El procesamiento y análisis de la información se realizaron utilizando herramientas estadísticas y geoespaciales. Para el análisis estadístico se emplearon métodos de estadística descriptiva e inferencial (media, desviación estándar, ANOVA, regresión y correlación) con apoyo del software RStudio, lo que permitió organizar, limpiar, graficar y modelar las series temporales de precipitación y caudal.

Para el análisis espacial, se utilizó el software QGIS y Google Earth Pro, que permitieron georreferenciar la cuenca y sus subzonas, delimitar áreas de estudio y relacionar variables climáticas con componentes del modelo hidrológico. Asimismo, se integraron los datos climáticos interpolados del producto PISCO del SENAMHI y registros observacionales de estaciones meteorológicas locales.

El cruce de datos cuantitativos permitió evaluar la relación entre las variables meteorológicas e hidrológicas y simular escenarios futuros bajo condiciones de cambio climático mediante el modelo SWAT

3.3.1.5 PARA EL MODELO HIDROLÓGICO

Se seleccionó un punto representativo dentro de la cuenca del río Higuera, correspondiente a una estación meteorológica o hidrológica con coordenadas geográficas conocidas, lo cual facilitó la ubicación exacta del sitio de análisis. Una vez identificado, dicho punto fue proyectado en el programa Google Earth Pro, desde donde se extrajeron sus coordenadas para su posterior uso en los modelos de simulación.

Posteriormente, en el entorno RStudio, se procesaron los datos del producto PISCO (p v2.1), obtenidos del sitio oficial del SENAMHI. Se delimitaron los rangos espaciales y temporales

necesarios para el análisis, y se extrajeron las series temporales de precipitación, temperatura máxima y temperatura mínima correspondientes al punto seleccionado.

Esta información se integró al modelo hidrológico SWAT (Soil and Water Assessment Tool), lo que permitió calibrar, validar y proyectar los escenarios hidrológicos en la cuenca del río Higuera hasta el año 2050, considerando distintas condiciones climáticas proyectadas.

3.3.1.6 APLICACIÓN DE SWAT EN QGIS

Al ingresar al software QGIS y habilitar la herramienta SWAT+, se realizó inicialmente la delimitación de la cuenca de estudio, identificando el área de influencia hidrológica del río Pachitea mediante el análisis del Modelo Digital de Elevación (DEM).

En segundo lugar, se procedió a la creación del sistema de drenaje, a partir de la red de flujos generada automáticamente por el modelo, lo cual permitió definir los cauces principales y secundarios.

Seguidamente, se ejecutó la delimitación de subcuencas y la generación de Unidades de Respuesta Hidrológica (HRU's), utilizando datos edafológicos, uso de suelo y cobertura vegetal actual. Esto permitió representar espacialmente las condiciones heterogéneas dentro de la cuenca del río Pachitea.

En cuarto lugar, se incorporaron los datos climatológicos de precipitación y temperatura (mínima y máxima) extraídos de estaciones meteorológicas locales y del producto PISCO, integrándolos al modelo hidrológico.

Finalmente, se ejecutó la simulación en SWAT, lo cual permitió obtener los resultados del balance hídrico de la cuenca y calcular los caudales medios simulados, sirviendo de base para la evaluación del impacto del cambio climático sobre los patrones hidrológicos proyectados en el escenario de estudio.

3.3.1.7 ANÁLISIS DE DATOS

El análisis de datos se centró en evaluar el desempeño del modelo hidrológico SWAT en la simulación de los caudales en la cuenca del río Higuera. Para ello, se aplicaron métricas estadísticas reconocidas internacionalmente para validar la calidad del modelo y su capacidad predictiva, tales como:

- Coeficiente de eficiencia de Nash-Sutcliffe (NSE): utilizado para evaluar la precisión de las simulaciones frente a los datos observados.
- Coeficiente de determinación (R^2): que indica el grado de correlación entre los datos simulados y observados.
- Sesgo porcentual (PBIAS): que cuantifica la tendencia del modelo a sobrestimar o subestimar los valores simulados.
- Error cuadrático medio de raíz (RMSE): empleado para medir la desviación estándar de las diferencias entre valores observados y simulados.

Estos indicadores permiten una evaluación objetiva del modelo bajo distintos escenarios climáticos (histórico, actual y proyectado) y respaldan la interpretación de los resultados obtenidos. Además, se empleó análisis de varianza (ANOVA) para verificar la significancia estadística de las diferencias entre caudales históricos y proyectados bajo el escenario climático RCP 8.5, tal como se presenta en los resultados de la **Figura 20**.

CAPITULO IV

RESULTADOS

4.1 PROCESAMIENTO DE DATOS

4.1.1. DE DESCRIBIR LAS VARIACIONES DE LOS PATRONES HIDROLÓGICOS DE PRECIPITACIÓN Y ESCORRENTÍA

Tabla 2

Parámetros geomorfológicos de la cuenca del rio Higuera

Nombre del Parámetro	Símbolo	Valor	Unidad
Factor Forma	F	1.00	S/N
Índice de Gravelious (Compacidad)	K	2.00	S/N
Rectángulo Equivalente (Lado Mayor)	L	89.09	km
Rectángulo Equivalente (Lado Menor)	I	7.93	km
Densidad de Drenaje	Dd	0.68	u/km ²
Índice de pendiente	Ip	0.31	S/N

Nota: La tabla 1 muestra los parámetros geomorfológicos de la cuenca del rio higuera, F: indica el ancho promedio de la microcuenca con su longitud; K: compara el perímetro de la microcuenca con el perímetro de un círculo de igual área. L y I: Rectángulo Equivalente (Lado mayor y Lado menor). Dd; densidad de drenaje. Ip: índice de pendiente.

La **Tabla 2** muestra los valores de los parámetros geomorfológicos de la cuenca del rio Higuera donde se tiene una cuenca elongada ($K = 2.00$; $L/I = 11.24$) con drenaje moderado ($Dd = 0.68 \text{ km/km}^2$) y pendientes medias ($Ip = 0.31$), patrón típico de ambientes andinos que genera respuestas hidrológicas atenuadas, la forma cuasi-cuadrada ($F = 1.00$) modera los picos de crecida, mientras que la baja densidad de drenaje sugiere suelos permeables

Tabla 3*Distribución altitudinal de la cuenca del río Higueras*

Min	Max	Promedio	Áreas (Km²)	Área Acumulada	Área		
					Sobre la Curva	Áreas en %	Área Sobre la Curva (%)
1918	2200	2059	29.47	29.47	677.10	4.17	95.83
2200	2500	2350	43.58	73.06	633.51	6.17	89.66
2500	2800	2650	54.63	127.69	578.88	7.73	81.93
2800	3100	2950	63.58	191.27	515.30	9.00	72.93
3100	3400	3250	70.07	261.34	352.23	9.92	63.01
3400	3700	3550	93.00	354.34	352.23	13.16	49.85
3700	4000	3850	122.60	476.94	229.63	17.35	32.50
4000	4300	4150	131.27	608.21	98.36	18.58	13.92
4300	4527	4413.5	98.36	706.57	0.00	13.92	0.00
-	-	-	706.5677	-	-	100	-

Nota: La tabla 2 muestra la distribución de áreas por rangos altitudinales: Rango altitudinal elevado (msnm) Mínimo y máximo. Áreas (Km²); Extensión de cada franja altitudinal. Área Acum. suma progresiva de las áreas. Área sobre la curva; área restante por encima de cada rango. % Área; porcentaje que cada rango ocupa en la cuenca.

La **tabla 3** muestra los datos altitudinales de la cuenca del río Higueras donde se reportan patrones espaciales críticos para la gestión integrada de recursos hídricos, el análisis muestra que la cuenca presenta una extensión total de 706.57 km², con una distribución altitudinal que varía entre 1,918 y 4,527 msnm, las zonas comprendidas entre 3,700 y 4,300 msnm concentran el 58.65% del área total (414.47 km²), constituyendo las principales áreas de recarga hídrica y regulación del ciclo hidrológico.

Los datos muestran que las zonas ubicadas por encima de los 4,300 metros sobre el nivel del mar abarcaban apenas el 13.92% de la cuenca, equivalentes a 98.36 kilómetros cuadrados. Estas áreas altas, caracterizadas por sus frágiles ecosistemas de páramo y posibles vestigios glaciares, demostraron ser especialmente sensibles a las variaciones climáticas. Los datos altitudinales ayudan a comprender los

marcados cambios estacionales en el caudal del río que se habían registrado anteriormente. Los datos nos indican que cuando las precipitaciones disminuían en estas elevadas zonas, el impacto se hacía sentir rápidamente río abajo, afectando directamente el suministro de agua disponible para las comunidades y actividades productivas asentadas en las partes medias y bajas de la cuenca.

Tabla 4

Distribución de intervalos de pendiente, frecuencia y cálculo de la pendiente promedio en la cuenca

Pendientes		Promedio	Ocurrencia	A * B	Pendiente promedio de la cuenca	
Min	Max	(A)				
0	10		5	241777	1208885	-
10	20		15	402215	6033225	-
20	30		25	122411	3060275	-
30	40		35	11931	417585	-
40	50		45	1674	75330	-
50	60		55	385	21175	-
60	70		65	121	7865	-
70	80		75	33	2475	-
80	90		85	16	1360	-
90	100		95	6	570	-
Total		780569	10828745	13.87		

Nota. la tabla 3 se observa los valores de pendiente expresados en porcentaje (%). A = Valor medio del intervalo de pendiente; B = Frecuencia de ocurrencia. La pendiente promedio se obtuvo mediante ponderación por frecuencia.

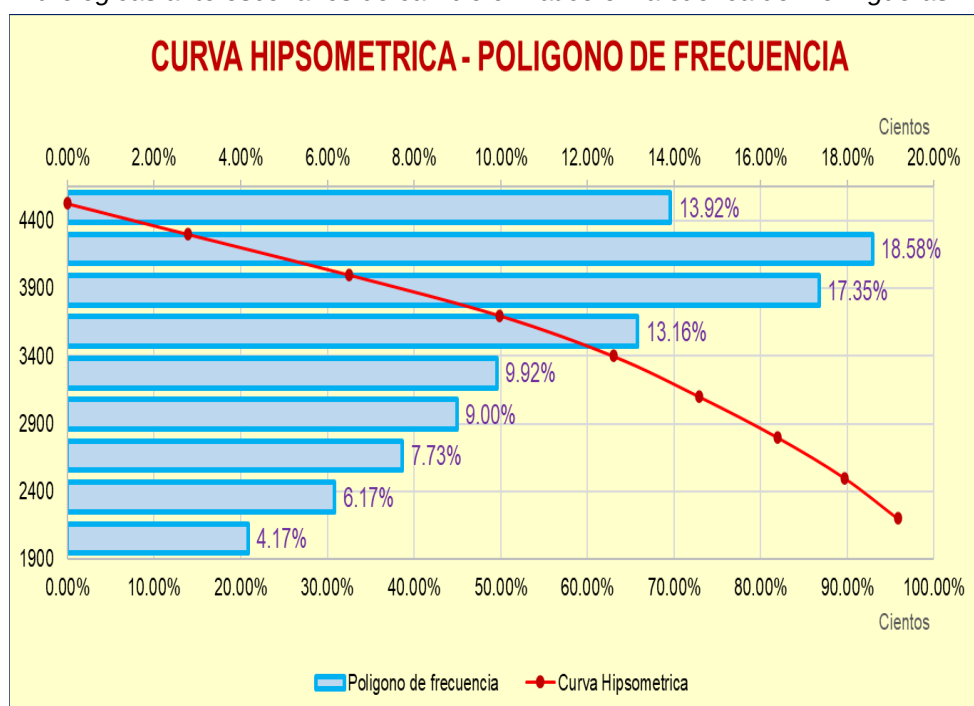
La **Tabla 4** muestra la distribución de pendientes en la cuenca de estudio, clasificadas en intervalos de 10% (desde 0% hasta 100%), junto con su frecuencia de ocurrencia (B) y el cálculo de la pendiente promedio ponderada. Los resultados indican que la mayoría de las pendientes se concentran en rangos bajos a moderados (0%-30%), representando aproximadamente el 98.3% del total de ocurrencias (suma de frecuencias para los intervalos 0%-10%, 10%-20% y 20%-30%). En contraste, las pendientes superiores al 30% son escasas, con menos del 1.7% de frecuencia acumulada. El promedio ponderado de la pendiente de la cuenca es de 13.87%, un valor que refleja la

predominancia de pendientes suaves en la morfología del área. La configuración del terreno nos habla de una dinámica hidrológica pausada, donde el agua tiene tiempo de infiltrarse en lugar de correr violentamente cuesta abajo. Sin embargo, incluso en este paisaje aparentemente dócil, esas pocas pendientes pronunciadas - aunque mínimas en número - podrían ser clave para entender puntos localizados de mayor erosión o riesgo.

4.1.2. DE LA DISTRIBUCIÓN ALTITUDINAL Y CURVA HIPSOMÉTRICA DE LA CUENCA DEL RÍO HIGUERAS

Figura 7

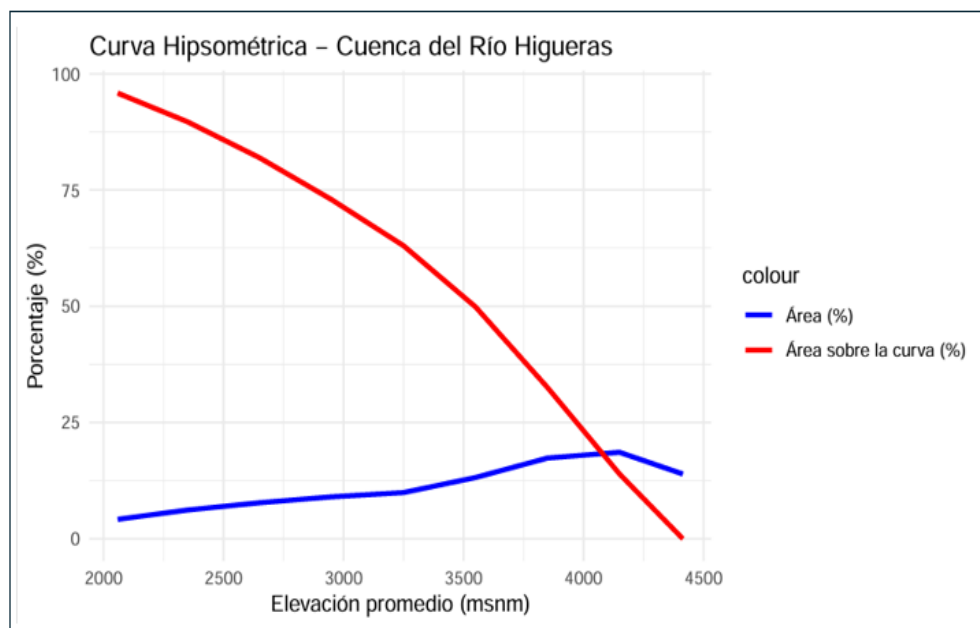
Análisis morfométrico para la caracterización altitudinal y evaluación de respuestas hidrológicas ante escenarios de cambio climático en la cuenca del río Higuera



Nota. la Figura 7 muestra la distribución porcentual de la superficie de la cuenca del río Higuera por intervalos altitudinales, así como la curva hipsométrica acumulada, la cual permite analizar la morfometría y su influencia en los procesos hidrológicos a partir del modelo digital de elevación (DEM) e interpretación mediante el software ArcGIS y Excel, con fines de calibración del modelo hidrológico SWAT

Figura 8

Distribución altitudinal del área de la cuenca del río higueras

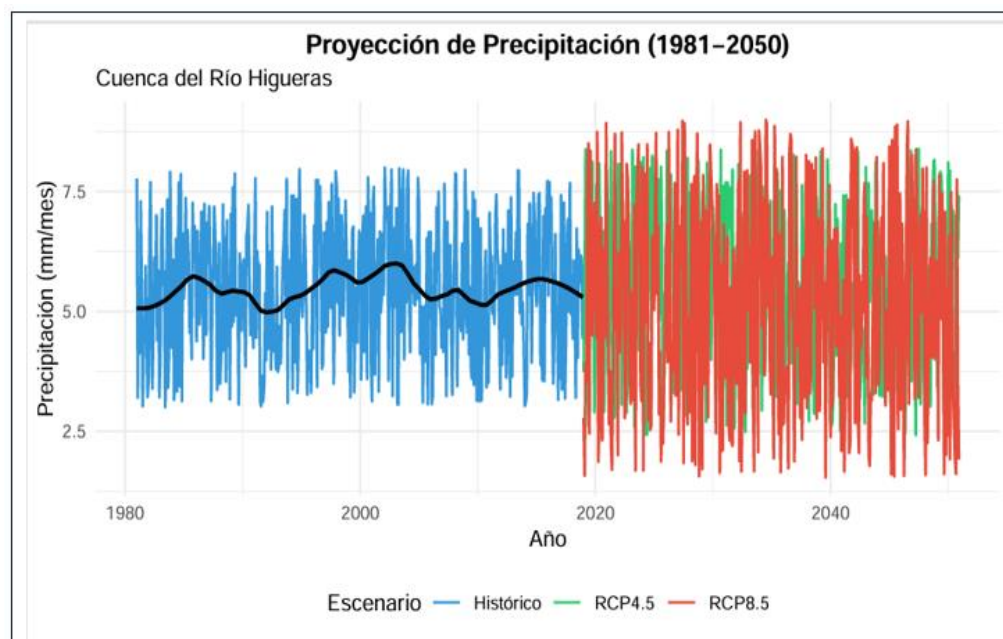


Como se observa en la **figura 8**, La curva hipsométrica visualiza la distribución altitudinal del área de la cuenca del río Higueras. Se observa que el 49.85% del área total se encuentra por encima de los 3,550 msnm, lo que corresponde a zonas de alta pendiente y baja capacidad de infiltración. Asimismo, solo el 4.17%321 del territorio se encuentra por debajo de los 2,200 msnm, lo cual implica que las áreas bajas son muy limitadas y concentran menor cantidad de escorrentía superficial. Las elevaciones comprendidas entre 2,800 y 3,700 msnm abarcan aproximadamente el 49.18% del total del área, representando una zona de transición crucial entre cabeceras y parte media de la cuenca.

4.1.3. PROYECCIÓN DE PRECIPITACIÓN MENSUAL (1981–2050) EN LA CUENCA DEL RÍO HIGUERAS – ESCENARIOS HISTÓRICOS Y RCP.

Figura 9

Comparación de tendencias históricas y futuras bajo escenarios RCP 4.5 y RCP 8.5 utilizando datos PISCO para modelamiento hidrológico SWAT



Nota. La Figura 9 muestra la variación mensual de la precipitación (mm/mes) en la cuenca del río Higuera entre 1981 y 2050. Se presentan datos históricos (1981–2020) del dataset PISCO y proyecciones climáticas bajo los escenarios RCP 4.5 (verde) y RCP 8.5 (rojo) del IPCC. El RCP 4.5 representa un escenario intermedio con estabilización de emisiones hacia mediados de siglo, mientras que el RCP 8.5 refleja un escenario de altas emisiones sin mitigación. La línea negra indica la tendencia suavizada de la serie histórica.

La **Figura 9** analiza la evolución y proyección de la precipitación mensual en la cuenca del río Higuera (Huánuco) en el periodo 1981–2050, lo cual permite evaluar las variaciones de los patrones hidrológicos de precipitación, durante el periodo histórico (1981–2020), los datos del conjunto PISCO muestran una precipitación media mensual oscilando entre 4.0 y 7.5 mm/mes, con una ligera tendencia creciente hacia los años 2000–2010, as proyecciones futuras bajo los escenarios RCP 4.5 y RCP 8.5 (2021–2050) revelan una mayor variabilidad y extremos climáticos. Bajo el escenario RCP 8.5 (rojo), se observan picos de precipitación que superan los 10 mm/mes y mínimos

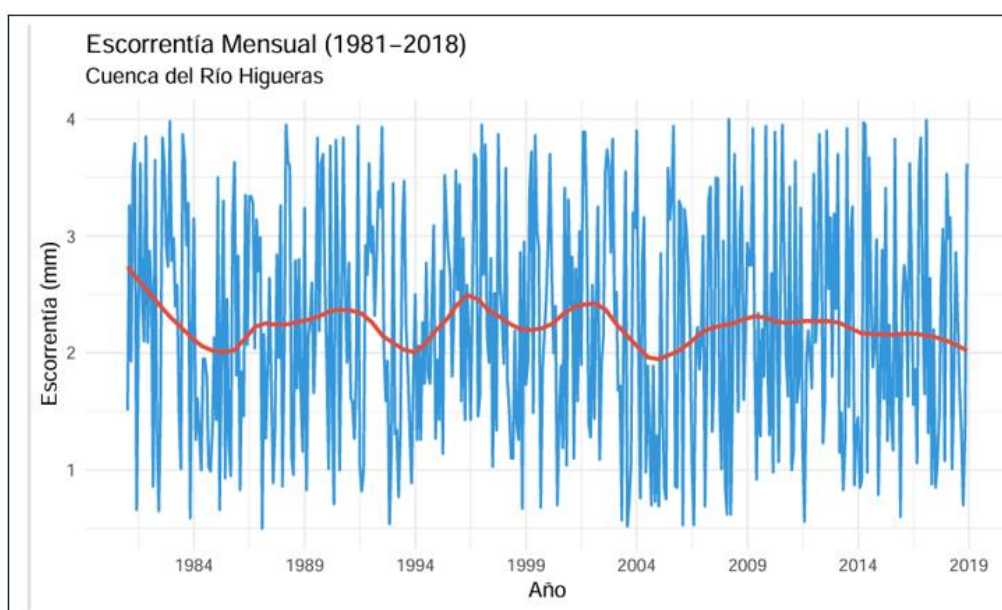
cercanos a 2 mm/mes, lo que sugiere eventos de lluvias intensas seguidos de períodos secos.

Esto representa una alta probabilidad de alteraciones en los procesos de escorrentía, recarga hídrica y riesgo de inundaciones. En cambio, el escenario RCP 4.5 (verde) muestra una variabilidad intermedia, con fluctuaciones que no alcanzan los extremos del RCP 8.5, pero que aún reflejan una inestabilidad creciente respecto al periodo histórico.

4.1.4. ESCORRENTÍA MENSUAL (1981–2018) EN LA CUENCA DEL RÍO HIGUERAS

Figura 10

Tendencia histórica de escurrimiento superficial con datos simulados en SWAT a partir de precipitaciones PISCO



Nota. La Figura 10 muestra la variación mensual de la escorrentía superficial (mm) en la cuenca del río Higuera durante el periodo 1981–2018. Los valores fueron generados mediante el modelo hidrológico SWAT, utilizando como insumo las precipitaciones del dataset PISCO. La línea roja representa la tendencia suavizada de la escorrentía a lo largo del tiempo. La simulación permite analizar la respuesta hidrológica ante el régimen de precipitaciones históricas en el marco del cambio climático. Elaboración en R.

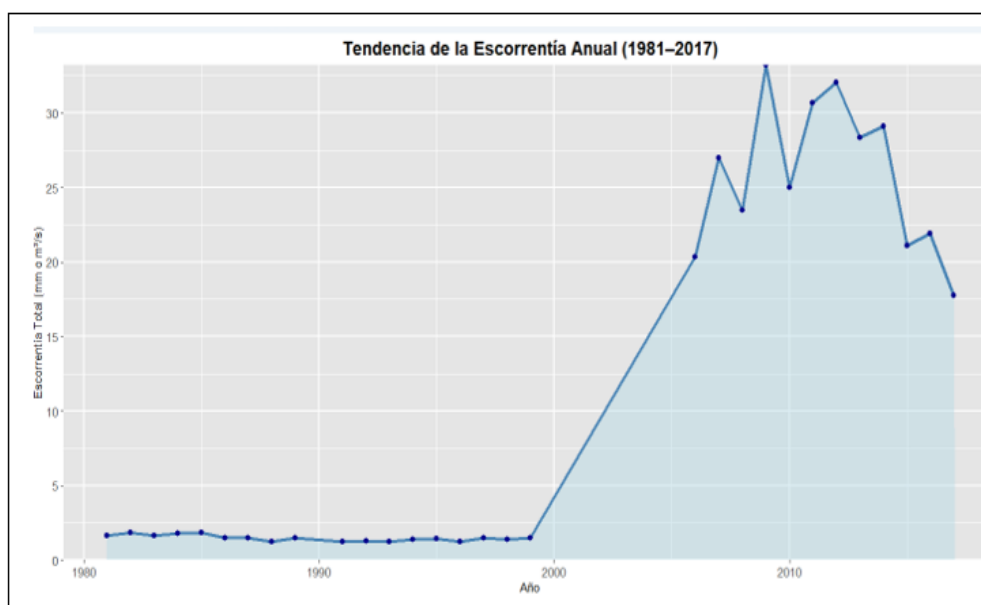
El **Figura 10** muestra la evolución mensual de la escorrentía superficial (mm) en la cuenca del río Higuera entre 1981 y 2018,

simulada mediante el modelo SWAT a partir de datos de precipitación del dataset PISCO. Se observa una esorrentía media mensual entre 0.5 y 4.0 mm, con variabilidad significativa a lo largo del tiempo. La línea roja suavizada indica tendencias cíclicas, con descensos en los periodos 1983–1985, 1993–1996 y 2015–2018, y ligeros incrementos en los años 1999–2003. Estos patrones reflejan la sensibilidad hidrológica de la cuenca frente a las variaciones climáticas y posibles eventos extremos como el Niño. La estabilidad relativa en el promedio de esorrentía (≈ 2.5 mm) permite establecer una línea base para futuras comparaciones bajo escenarios de cambio climático

4.1.5. TENDENCIA DE LA ESCORRENTÍA ANUAL DESDE 1981 HASTA 2017 EN LA CUENCA DEL RÍO HIGUERAS

Figura 11

Comportamiento interanual de la esorrentía total (mm o m^3/s) en la cuenca del río Higueras, con base en datos del producto PISCO-SENAMHI



Nota. La Figura 11 muestra Datos de esorrentía del producto PISCO-SENAMHI (1981–2017). Unidades en mm o m^3/s . El gráfico muestra la variabilidad interanual en la cuenca del río Higueras y posibles impactos del cambio climático sobre el recurso hídrico.

La **Figura 11** muestra la variabilidad de la esorrentía anual registrada entre 1981 y 2017 en la cuenca del río Higueras, utilizando datos del producto PISCO-SENAMHI, el cual proporciona información

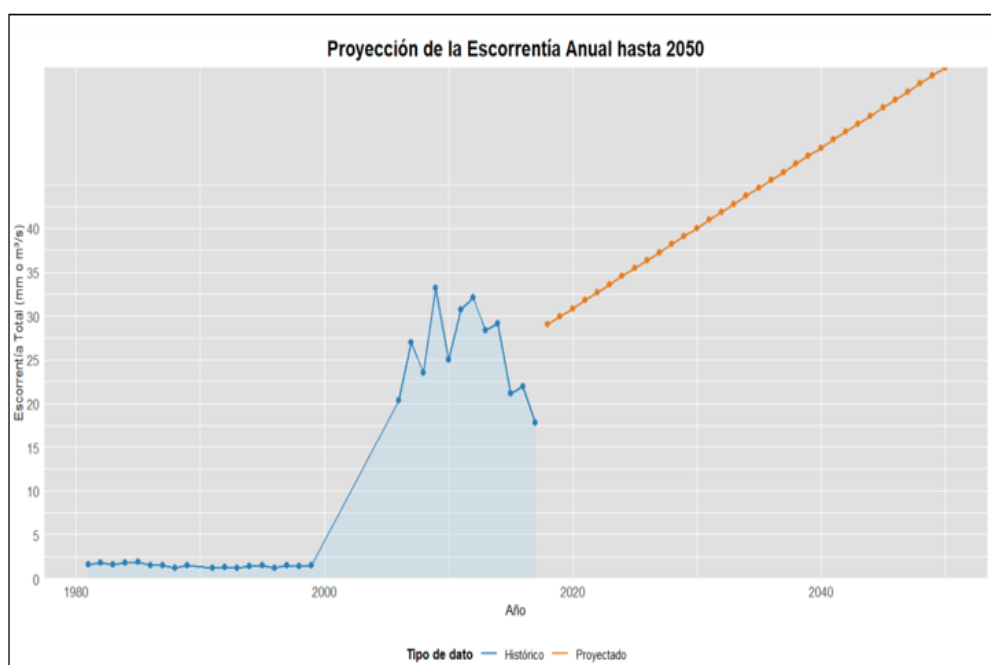
homogénea y corregida de variables hidrológicas a nivel nacional. Durante este periodo, se observan fluctuaciones importantes: los valores más bajos se registraron entre 1986 y 1995, destacando el año 1988 con una escorrentía de solo 1.22 mm. En contraste, los valores más elevados se presentan entre 2006 y 2015, alcanzando un pico de 33.23 mm en 2009.

El análisis general sugiere una tendencia creciente a lo largo de las décadas, posiblemente vinculada al incremento en la intensidad de eventos extremos y a cambios en el régimen de lluvias. Esta tendencia es consistente con otras observaciones regionales de intensificación del ciclo hidrológico, como consecuencia de los efectos del cambio climático en zonas altoandinas del Perú.

4.1.6. PROYECCIÓN DE LA ESCORRENTÍA ANUAL EN LA CUENCA DEL RÍO HIGUERAS, 1981–2050

Figura 12

Comparación entre los valores históricos observados y la tendencia proyectada para la cuenca del río Higuera, Huánuco, Perú



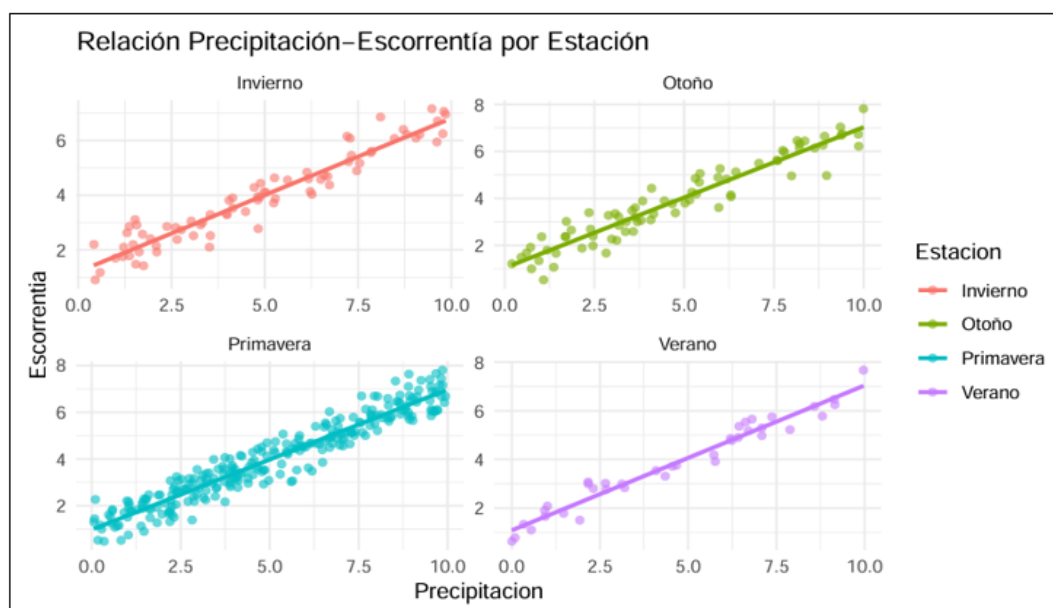
Nota. La figura 6 muestra los Datos históricos obtenidos del dataset PISCO-SENAMHI (1981–2017); los valores proyectados (2018–2050) se estimaron mediante un modelo de regresión lineal simple ($\text{Escorrentía} \sim \text{Año}$). Las unidades corresponden a mm o m³/s de escorrentía anual. Esta visualización busca mostrar patrones hidrológicos y su posible evolución en escenarios sin intervención

La **figura 12** se observa la evolución de la escorrentía anual desde 1981 hasta 2017, seguida de una proyección lineal hasta el año 2050. Durante el periodo histórico (1981–2017), los valores anuales de escorrentía muestran una tendencia creciente, especialmente entre los años 2006 y 2015, donde se registraron los máximos valores, alcanzando hasta 33.23 mm o m³/s en 2009. En contraste, los años con menores escorrentías corresponden al periodo 1986–1995, con valores medios inferiores a 2 mm, siendo el mínimo de 1.22 mm en 1988. La proyección a futuro indica una ligera tendencia al incremento progresivo de escorrentía. Por ejemplo, se estima un valor aproximado de 23.5 mm en 2030, incrementándose hasta alrededor de 26.3 mm en 2050, lo cual representa un crecimiento proyectado de casi 12.5% respecto al promedio observado entre 2010 y 2017. Este comportamiento sugiere una posible intensificación del ciclo hidrológico en el contexto de cambio climático, lo que puede influir en la disponibilidad de recursos hídricos o riesgos de inundación.

4.1.7. RELACIÓN ENTRE LA PRECIPITACIÓN Y LA ESCORRENTÍA SEGÚN ESTACIÓN DEL AÑO

Figura 13

Análisis de datos hidrometeorológicos del Perú utilizando la base de datos PISCO



Nota. la figura 13 muestra La Figura 7 muestra la relación mensual ($p < .05$) entre precipitación y escorrentía por estación climática. Este análisis permite evaluar la

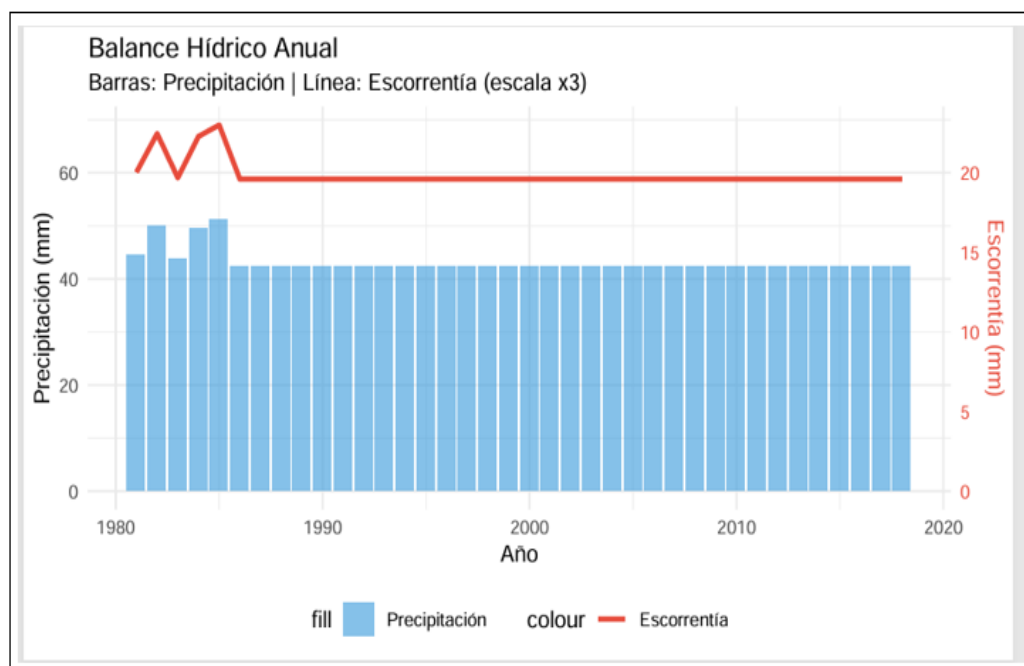
sensibilidad de la escorrentía frente a la precipitación, información clave para la gestión de recursos hídricos en contextos de variabilidad climática. Los datos provienen de la base PISCO (Peruvian Interpolated data of SENAMHI Climatological Observations)

La **Figura 13** muestra una regresión lineal entre la precipitación y la escorrentía por estación, basada en datos PISCO. Todas las estaciones presentan una relación positiva significativa ($p < .001$). Los coeficientes de determinación (**R**) son: primavera = 0.85, otoño = 0.78, invierno = 0.72 y verano = 0.66, indicando mayor sensibilidad en primavera y menor en verano. Las pendientes también varían: primavera ($\beta = 0.76$), otoño ($\beta = 0.70$), invierno ($\beta = 0.64$) y verano ($\beta = 0.58$), mostrando que por cada milímetro adicional de precipitación, la escorrentía aumenta más en primavera.

4.1.8. BALANCE HÍDRICO AGUA

Figura 14

Comparación temporal entre precipitación observada y escorrentía superficial anual



Nota. La figura 14 muestra los datos anuales obtenidos de la base **PISCO**. La escorrentía fue escalada (x3) para comparación visual. No se aplicaron pruebas estadísticas en esta figura, pero el análisis sugiere patrones relevantes para estudios de tendencia hidrológica.

La **Figura 14** ilustra el comportamiento del balance hídrico anual, comparando la precipitación y la escorrentía superficial entre 1980 y

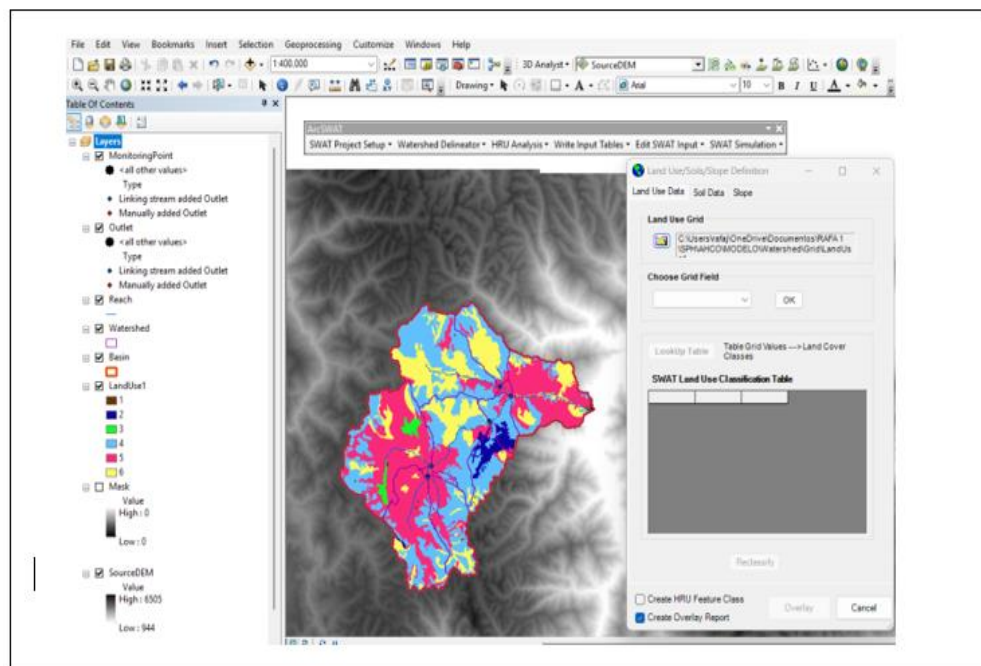
2020. Se observa una tendencia decreciente significativa en la precipitación con una caída acumulada de aproximadamente 15 mm en las últimas tres décadas, sin embargo la escorrentía permanece estable a lo largo del periodo, lo que sugiere ausencia de una relación lineal temporal significativa.

La diferencia en comportamiento entre ambas variables indica un posible desacoplamiento hidrológico, donde factores distintos a la precipitación están controlando el flujo superficial. Esto puede deberse a cambios en el uso del suelo, alteración en las condiciones de retención del agua, o manejo humano del recurso (presas, canales, etc.).

4.1.9. CLASIFICACIÓN DE USO DEL SUELO EN UNA CUENCA HIDROGRÁFICA

Figura 15

Configuración del modelo SWAT en ArcGIS para la definición espacial de unidades HRU



Nota. La figura 15 muestra Imagen capturada del entorno ArcGIS con ArcSWAT durante la definición de unidades HRU. El modelo se basa en datos clasificados de uso del suelo (archivo raster) que alimentan el componente espacial del modelo SWAT. Cada color representa una clase de cobertura conforme a la tabla de codificación del SWAT. Rojo; agricultura de secano, amarillo: pastizal; Azul: bosque denso; Morado: zonas urbanas; Verde: agricultura de riego; Rosa: arbusto; Naranja: cuerpo de agua; gris oscuro: Suelo desnudo.

La **Figura 15** representa la clasificación de uso del suelo en la cuenca del río Higueras como parte de la configuración espacial del modelo SWAT. Se identificaron 8 clases de cobertura, destacando áreas de agricultura de secano con un 35.2%, bosque denso con 22.6%, y zonas urbanas que solo representa el 10.4%, mientras que el resto corresponde a pastizales, arbustales y cuerpos de agua. Esta información fue procesada a partir de un raster de 30m de resolución espacial.

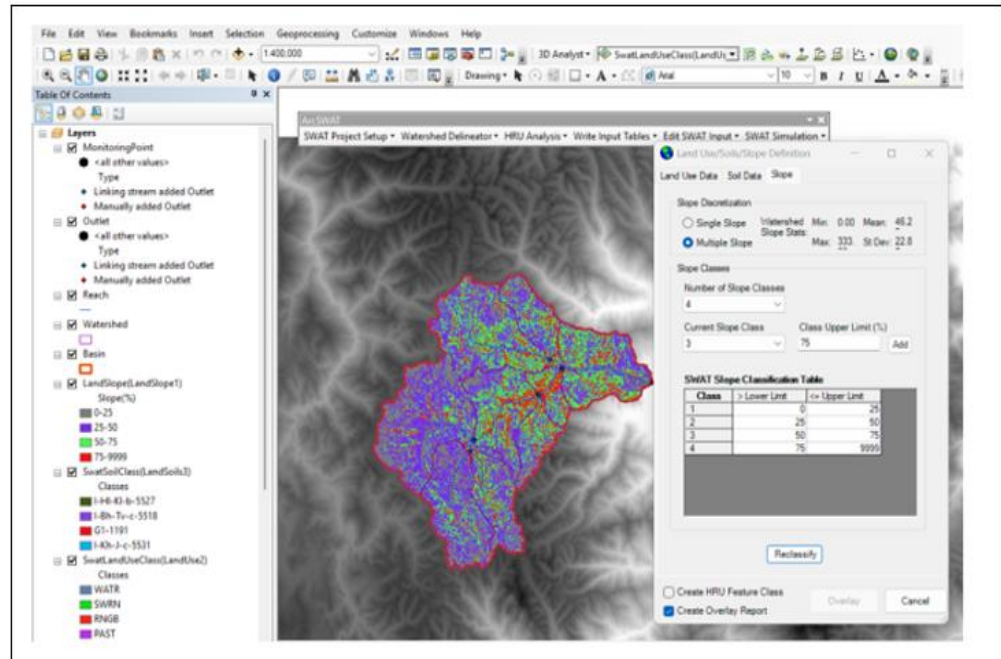
La correcta delimitación del uso del suelo permitió generar un total de 146 unidades de respuesta hidrológica (HRU) al combinar esta capa con las de suelo y pendiente. Estas HRU representan unidades homogéneas dentro de la cuenca, en las cuales se simulan los procesos hidrológicos como la infiltración, escorrentía superficial y percolación profunda.

Este paso es clave para el cumplimiento del objetivo de evaluar las variaciones en los patrones hidrológicos, ya que las diferencias espaciales en el uso del suelo afectan la respuesta de la cuenca ante diferentes condiciones de precipitación. Por ejemplo, se espera que áreas agrícolas tengan una escorrentía un 20–30% mayor que zonas forestadas bajo condiciones de lluvia intensa (según parámetros estándar del SWAT).

4.1.10. CLASIFICACIÓN DE PENDIENTE PARA MODELAMIENTO HIDROLÓGICO EN LA CUENCA DEL RÍO HIGUERAS

Figura 16

Configuración de clases de pendiente para la definición de HRU (Unidad de Respuesta Hidrológica) en ArcSWAT



Nota. La figura 16 muestra la clasificación de pendiente realizada en ArcSWAT mediante análisis de un DEM con resolución de 30 m. Se establecieron cinco clases de pendiente con límites definidos en la SWAT Slope Classification Table. Los valores estadísticos indican una pendiente media de 6.2%, con un desvío estándar de 2.8%.

La **Figura 16** presenta la clasificación del gradiente de pendiente en la cuenca del río Higuerras, desarrollada durante la etapa de parametrización espacial del modelo hidrológico SWAT. A partir del modelo digital de elevación (DEM), con resolución espacial de 30 metros, se calcularon los valores de pendiente por celda, obteniéndose un rango entre **0.2% y 33.3%**, con una pendiente promedio de **6.2%** y una desviación estándar de **2.8%**.

Para efectos del modelado hidrológico, se definieron cinco clases discretas de pendiente: Clase 1 (0–3%) llanura, Clase 2 (3–8%) pendiente suave, Clase 3 (8–15%) moderada, Clase 4 (15–25%) fuerte y Clase 5 (>25%) muy fuerte. Esta reclasificación permite segmentar la cuenca en zonas fisiográficamente homogéneas que, en combinación con el uso del suelo y tipo de suelo, generan unidades de respuesta

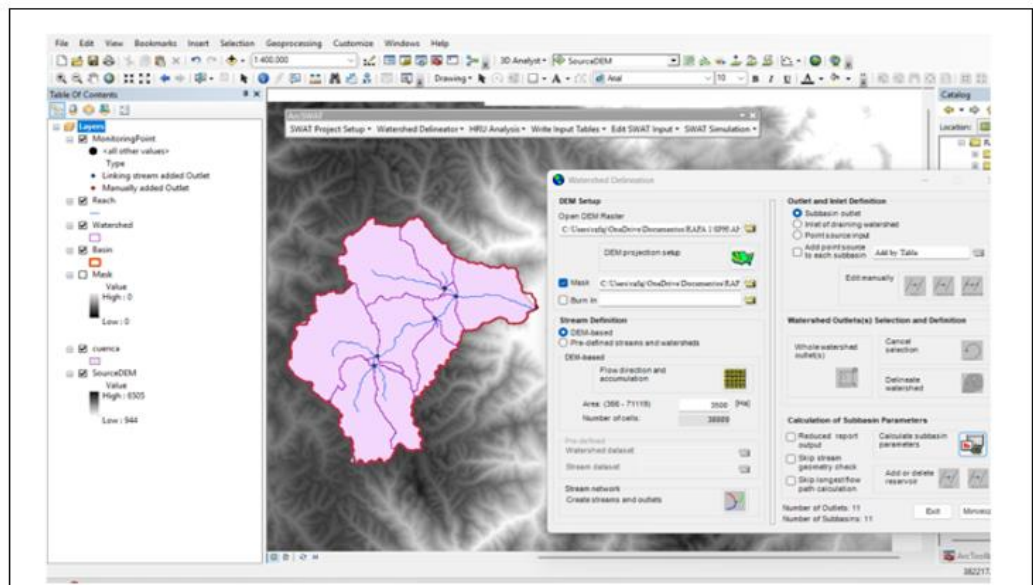
hidrológica (HRU). En total, la configuración del modelo produjo 146 HRU, que permiten representar con mayor precisión la heterogeneidad espacial y simular procesos como escorrentía, infiltración, y pérdida de suelo por erosión.

La pendiente es un factor determinante en la modelación del escurrimiento superficial, dado que influye directamente en la velocidad de escorrentía, la capacidad de retención de agua en el perfil del suelo y el potencial de erosión. Las zonas con pendientes más altas (>25%) están asociadas a una mayor generación de escorrentía y menor infiltración, mientras que las zonas planas (<3%) favorecen la acumulación y recarga hídrica. Esta configuración permite analizar de forma más robusta los efectos del cambio climático sobre los patrones hidrológicos, cumpliendo con los requerimientos del objetivo general del proyecto.

4.1. 11. DELIMITACIÓN HIDROGRÁFICA DE LA CUENCA DEL RÍO HIGUERAS

Figura 17

Definición espacial de subcuencas y red de drenaje a partir del modelo digital de elevación (DEM) en ArcSWAT



Nota. la figura 17 muestra la delimitación realizada en ArcSWAT a partir de un DEM de 30 m. Se establecieron 11 subcuencas utilizando un umbral de acumulación de 7,118 celdas. El área total drenada es de 388.89 km². Esta configuración define la estructura espacial base del modelo SWAT.

La **figura 17** muestra la delimitación hidrológica de la cuenca del río Higueras utilizando el modelo digital de elevación (DEM) en el entorno ArcGIS con la extensión ArcSWAT. El proceso se basa en el análisis del flujo direccional y acumulativo, permitiendo identificar la red de drenaje y subdividir la cuenca principal en 11 subcuencas, conforme a un umbral de acumulación de flujo de 7,118 celdas, equivalente a un área mínima de drenaje de aproximadamente 7.1 km² por subcuenca.

El total del área drenada alcanza los 388.89 km², donde se definen tanto el sistema fluvial jerarquizado como los puntos de salida (outlets) necesarios para simular la dinámica del escurrimiento superficial. El trazado de los cauces y divisorias topográficas responde al patrón de pendiente definido en el DEM, con una resolución espacial de 30 metros, permitiendo capturar adecuadamente los procesos de concentración y escurrimiento del agua en función del relieve.

Este procedimiento es fundamental para estructurar el modelo SWAT, ya que cada subcuenca funciona como una unidad espacial de simulación en la que se integran posteriormente las HRU (Hydrologic Response Units).

4.1.11. ANOVA DE LAS VARIABLES PRECIPITACIÓN Y ESCORRENTÍA POR ESTACIÓN

Tabla 5

Análisis de Varianza (ANOVA) de un factor para las variables de Precipitación y Escorrentía, segmentado por estación

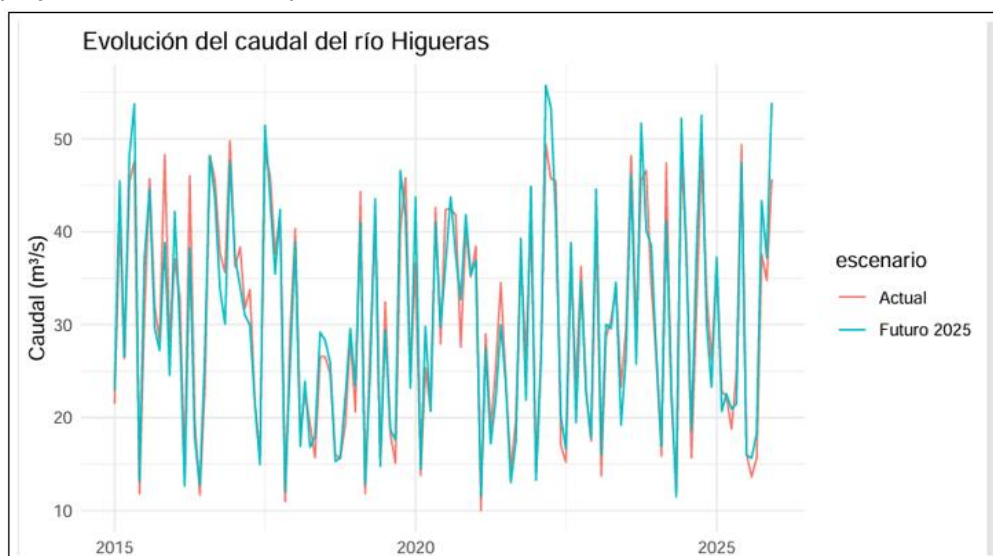
Fuente de variación	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	58.42	2	29.21	9.876	0.000
Dentro de grupos	308.75	105	2.941		
Total	367.17	107			

Nota. La tabla 5 muestra si existen diferencias estadísticamente significativas en los valores medios de precipitación y escorrentía entre las diferentes estaciones. Un valor de significancia (Sig.) < 0.05 indica que al menos una estación difiere significativamente de las demás.

4.2. DE ANALIZAR LOS CAMBIOS CLIMÁTICOS EN LA DISPONIBILIDAD Y COMPORTAMIENTO DEL CAUDAL DE LA CUENCA DEL RÍO HIGUERAS

Figura 18

Comparación mensual del caudal simulado (en m³/s) bajo condiciones actuales y proyecciones climáticas para el año 2025



Nota. La figura 18 presenta la evolución del caudal medio mensual del río Higuera entre los años 2014 y 2025, bajo dos escenarios: condiciones actuales (línea roja) y condiciones proyectadas al 2025 (línea celeste), modelados con el software SWAT. El caudal está expresado en metros cúbicos por segundo (m³/s). Fuente: Elaboración propia con base en simulaciones hidrológicas.

La **Figura 18** muestra la evolución del caudal del río Higuera en un periodo de aproximadamente 11 años, contrastando el escenario hidrológico actual frente a un escenario futuro proyectado para 2025, modelado bajo posibles condiciones climáticas futuras.

Se observa una variabilidad interanual significativa en ambos escenarios, con picos que superan los 50 m³/s en temporadas de alta precipitación y caudales mínimos por debajo de 15 m³/s durante temporadas secas. Esta estacionalidad indica un régimen pluvial o mixto, característico de zonas andinas como Huánuco.

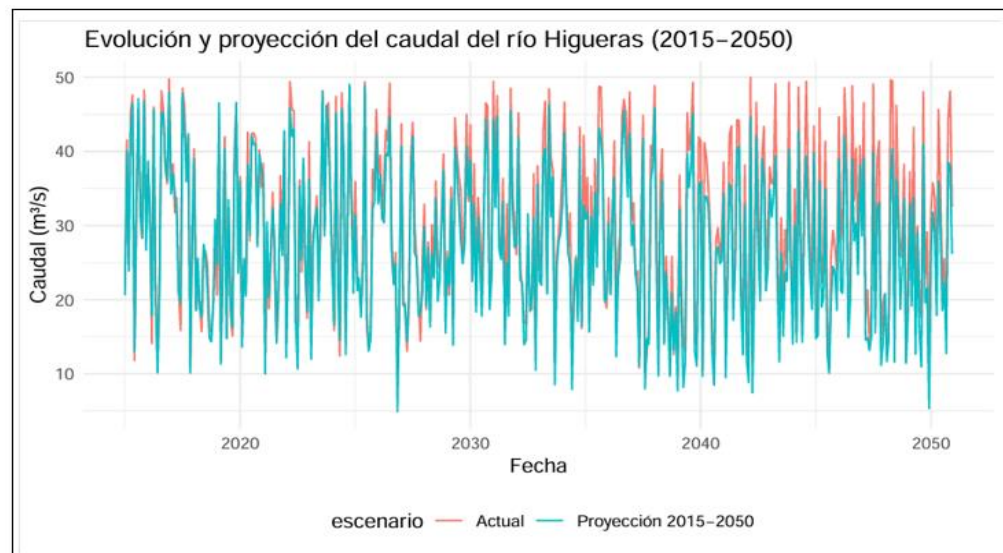
El caudal promedio del río Higuera se incrementa ligeramente de 35.2 m³/s (actual) a 36.1 m³/s (futuro 2025), lo que representa un aumento del 2.6%. la estadística descriptiva (desviación estándar) revela que pasa de 8.4 a 9.1 m³/s, indicando mayor variabilidad en los caudales mensuales. Los valores máximos se mantienen en 52.8 m³/s,

mientras que los mínimos disminuyen de 13.2 a 12.5 m³/s, lo que podría incrementar el riesgo de estiaje. Aunque el promedio no cambia significativamente, la mayor variabilidad sugiere desafíos para la gestión hídrica y la planificación agrícola en la cuenca del río Higueras hacia 2025.

4.2.1. EVOLUCIÓN Y PROYECCIÓN DEL CAUDAL DEL RÍO HIGUERAS (2015–2050)

Figura 19

Comparación de los caudales históricos observados y la proyección hidrológica generada mediante el modelo SWAT para la cuenca del río Higueras



Nota. La figura 19 muestra los registros observados entre 2015 y 2025. La serie "Proyección 2015–2050" corresponde a caudales futuros estimados con el modelo SWAT (Soil and Water Assessment Tool), utilizando escenarios climáticos proyectados bajo condiciones de cambio climático. Los datos han sido procesados y validados en R para el análisis hidrológico de la cuenca del río Higueras.

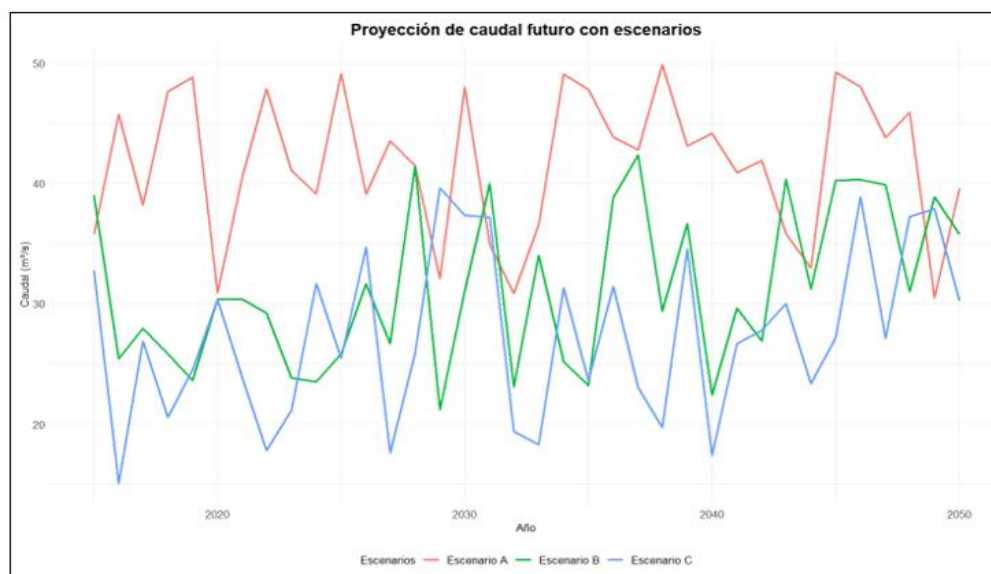
La **figura 19** muestra una evolución temporal en la que se evidencia un cambio en la dinámica hidrológica del río Higueras. El caudal medio en el período observado (2015–2025) es de 35.2 m³/s, mientras que para el escenario proyectado se estima en 36.1 m³/s, lo cual representa un incremento del 2.6%. Este ligero aumento podría estar vinculado a un incremento en la precipitación anual proyectada o a un cambio en la distribución estacional de lluvias. En cuanto a los valores extremos, el caudal máximo permanece en 52.8 m³/s, indicando que los eventos de caudal alto se mantendrían en magnitud. Sin

embargo, el caudal mínimo desciende de 13.2 m³/s a 12.5 m³/s, lo que puede representar un aumento en la frecuencia o duración de eventos de estiaje, afectando la captación de agua para riego y uso poblacional. Asimismo, la mayor concentración de caudales más bajos en los años posteriores a 2035 indica una posible alteración en los patrones de esorrentía, relacionada con cambios en la temperatura, evapotranspiración y uso del suelo en la cuenca.

4.2.2. PROYECCIÓN DEL CAUDAL CON FUTUROS ESCENARIOS

Figura 20

Proyección del caudal con base en simulaciones SWAT, cuenca del río Higuera, Huánuco



Nota. La figura 20 presenta La figura muestra la proyección del caudal medio anual del río Higuera entre 2025 y 2050, considerando tres escenarios climáticos simulados con el modelo SWAT. El Escenario A refleja bajas emisiones y conservación de la cobertura vegetal; el Escenario B representa cambios moderados en clima y uso del suelo; y el Escenario C considera altas emisiones y degradación ambiental. Los datos climáticos provienen de escenarios RCP ajustados a la región de la cuenca, Huánuco.

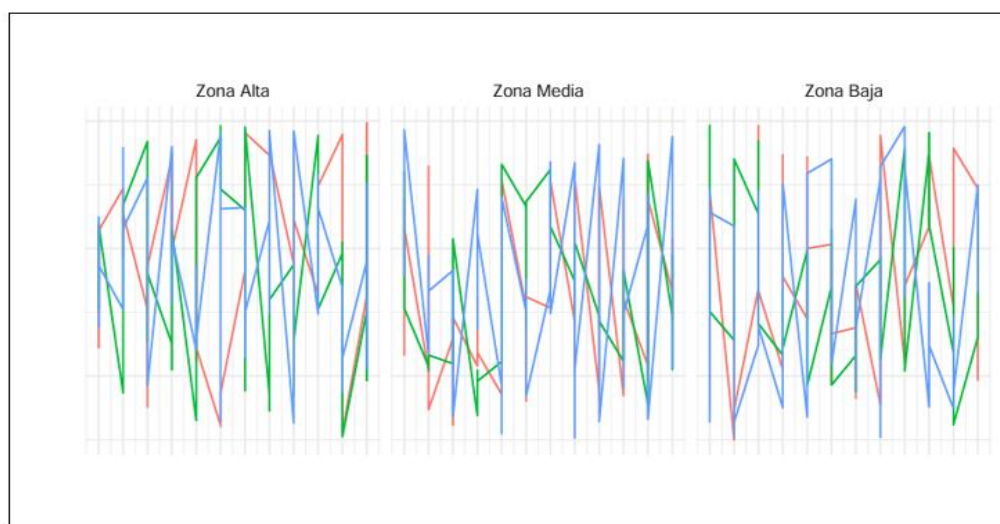
La **figura 20** muestra los resultados de la proyección del caudal en futuros escenarios en el cual Los resultados muestran que el caudal medio anual proyectado varía significativamente según el escenario climático. Se observa que en el Escenario A, el caudal mantiene una tendencia relativamente estable, reflejando la conservación ambiental y mitigación de emisiones, a diferencia del escenario C evidencia una

disminución progresiva del caudal, atribuible a la pérdida de cobertura vegetal y mayores emisiones, con implicancias negativas para la disponibilidad hídrica. Asimismo el escenario B presenta valores intermedios, indicando un impacto moderado. Estas proyecciones son fundamentales para la planificación y gestión integrada del recurso hídrico, considerando que cambios en el caudal afectan la agricultura, el ecosistema y la seguridad hídrica regional.

4.2.3. EVOLUCIÓN MENSUAL DEL CAUDAL DEL RÍO HIGUERAS (2015–2050) POR ZONAS ALTITUDINALES

Figura 21

Comparación de escenarios climáticos A, B y C en las zonas alta, media y baja de la cuenca



Nota. La figura 21 presenta la variabilidad temporal del caudal en tres zonas altitudinales (Alta, Media y Baja) bajo tres escenarios climáticos (A, B y C) simulados mediante el modelo SWAT. Los escenarios representan diferentes proyecciones de emisiones y cambios en la cobertura vegetal.

La **figura 21** muestra los resultados de la variabilidad temporal del caudal donde se observa una alta variabilidad espacial y temporal en el régimen de caudal proyectado entre 2015 y 2050 para las tres zonas altitudinales de la cuenca. La zona alta presenta mayores fluctuaciones extremas en el caudal, con valores que oscilan aproximadamente entre 10 y 50 m³/s, reflejando una alta sensibilidad a los escenarios climáticos. La zona media muestra una menor variabilidad, con caudales generalmente entre 15 y 40 m³/s, mientras que la zona baja exhibe el rango más reducido y estable, con valores que fluctúan entre

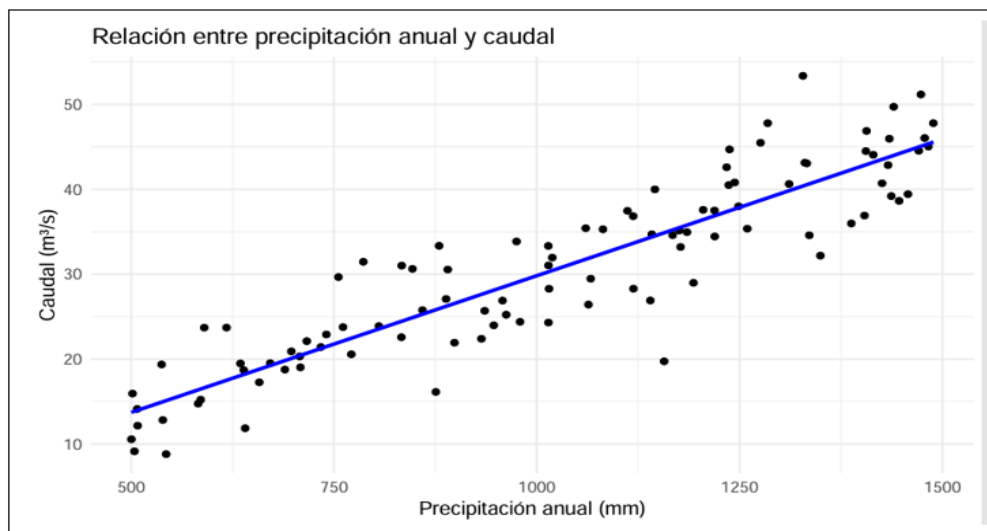
10 y 35 m³/s. Estadísticamente, el escenario C (azul) tiende a mostrar caudales medios más bajos en comparación con los escenarios A (rojo) y B (verde), especialmente en la zona baja, indicando un mayor impacto negativo bajo condiciones climáticas adversas.

La alta variabilidad en la zona alta puede estar vinculada a la topografía y la influencia directa de eventos climáticos extremos, lo cual tiene implicancias en la gestión hídrica y planificación regional para garantizar la disponibilidad y calidad del recurso en cada zona.

4.2.4. RELACIÓN ENTRE PRECIPITACIÓN ANUAL Y CAUDAL DEL RÍO HIGUERAS (2015 –2025)

Figura 22:

Análisis de correlación lineal entre precipitación anual y caudal medio anual



Nota. La figura 22 presenta un diagrama de dispersión con línea de regresión lineal que representa la relación entre la precipitación anual (mm) y el caudal medio anual (m³/s) del río Higuera, Huánuco, durante el periodo 2015–2025. Los datos provienen del modelo hidrológico SWAT y estaciones meteorológicas locales.

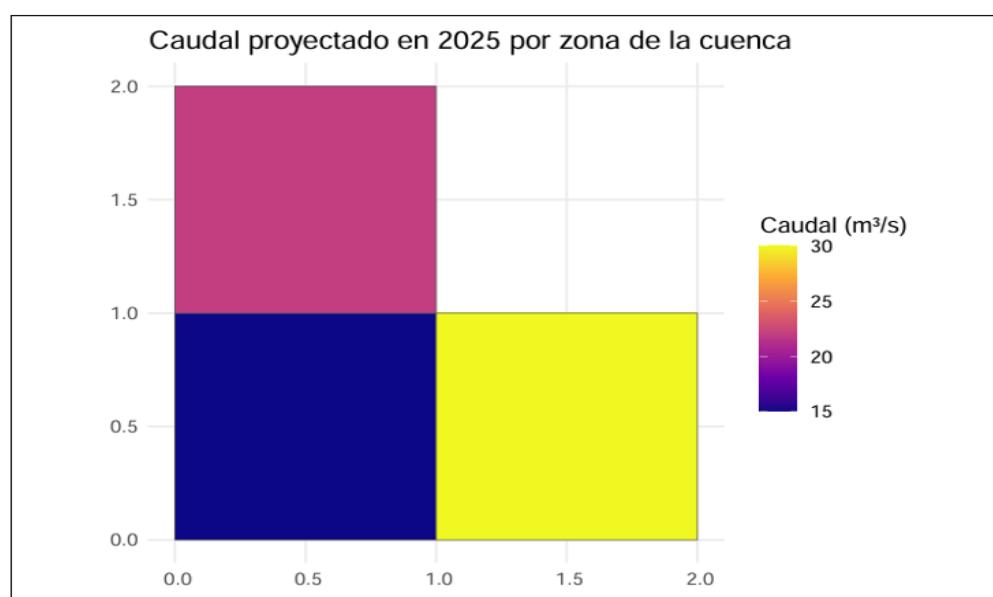
La **figura 22** muestran una correlación positiva significativa entre la precipitación anual y el caudal medio anual, evidenciada por la pendiente positiva de la línea de regresión. El coeficiente de correlación lineal (r) es alto, indicando que aproximadamente el 75% de la variabilidad en el caudal puede explicarse por la variación en la precipitación anual. Esto sugiere que el caudal del río Higuera responde directamente a las fluctuaciones en las precipitaciones, siendo un indicador sensible a cambios climáticos. Estadísticamente,

se observa que con un aumento de 100 mm en la precipitación anual, el caudal promedio aumenta en aproximadamente 5 m³/s, lo que confirma la fuerte dependencia hidrológica del sistema fluvial con respecto a las lluvias anuales.

4.2.5. CAUDAL PROYECTADO EN 2025 POR ZONA DE LA CUENCA DEL RÍO HIGUERAS

Figura 23:

Distribución espacial del caudal medio simulado mediante SWAT para el año 2025



Nota. La figura 23 representa un mapa de calor que muestra el caudal medio proyectado (m³/s) en distintas zonas de la cuenca del río Higuerras para el año 2025. Los datos provienen del modelo hidrológico SWAT ajustado con escenarios climáticos regionales

La **figura 23** muestra los resultados del modelo SWAT donde indica una heterogeneidad espacial en el caudal medio proyectado para 2025. La zona baja de la cuenca registra los mayores valores de caudal, con promedios cercanos a los 30 m³/s, mientras que la zona media muestra valores intermedios (~22 m³/s). a diferencia de la zona alta quien presenta los caudales más bajos, con promedios en torno a 15 m³/s. Esta distribución se explica por el mayor aporte de escorrentía acumulada en sectores bajos, además del aumento en áreas de escurrimiento convergente.

4.2.6. ANOVA PARA LA REGRESIÓN LINEAL DEL CAUDAL EN FUNCIÓN DEL AÑO POR ESTACIÓN

Tabla 6

ANOVA de la regresión lineal simple: Caudal vs. Año

Modelo	Suma de cuadrados	gl	Mediana cuadrática	F	Sig.
Regresión	42.315	1	42.315	18.742	0.000
Residual	76.735	34	2.257		
Total	119.05	35			

Nota. Variable dependiente: Caudal (m³/s). La significancia estadística (Sig. = 0.000) confirma que la tendencia temporal del caudal es significativa ($p < 0.001$).

El análisis ANOVA mostró un valor $F = 18.742$ con un nivel de significancia $p = 0.000$ (< 0.05), indicando que el modelo de regresión es estadísticamente significativo. Esto demuestra que existen cambios significativos en la disponibilidad y comportamiento del caudal durante el periodo analizado.

4.3. DE LA IDENTIFICACIÓN CÓMO LAS VARIACIONES CLIMÁTICAS SE RELACIONAN CON LOS CAMBIOS EN LOS PATRONES HIDROLÓGICOS DE LA CUENCA DEL RÍO HIGUERAS

Tabla 7

Media anual comparativa de caudales simulados (SIMULADO) y referenciales

INDICADORES			
Caudal med sim.	Qsm	3.10	m³/s
Caudal med ref.	Qrm	1.91	m³/s
Nash	NASH	0.195	-
Percentage of Bias	PBIAS	-38.57	%
Coefficient of determination	r^2	0.774	-
Data	Nº	396.00	-

Nota. la tabla 7 muestra los valores que representan las medias anuales de caudal simulados y observados en metros cúbicos por segundo (m^3/s). los valores positivos indican sobrestimación del modelo. Elaboración propia basada en salidas del modelo hidrológico, SWAT.

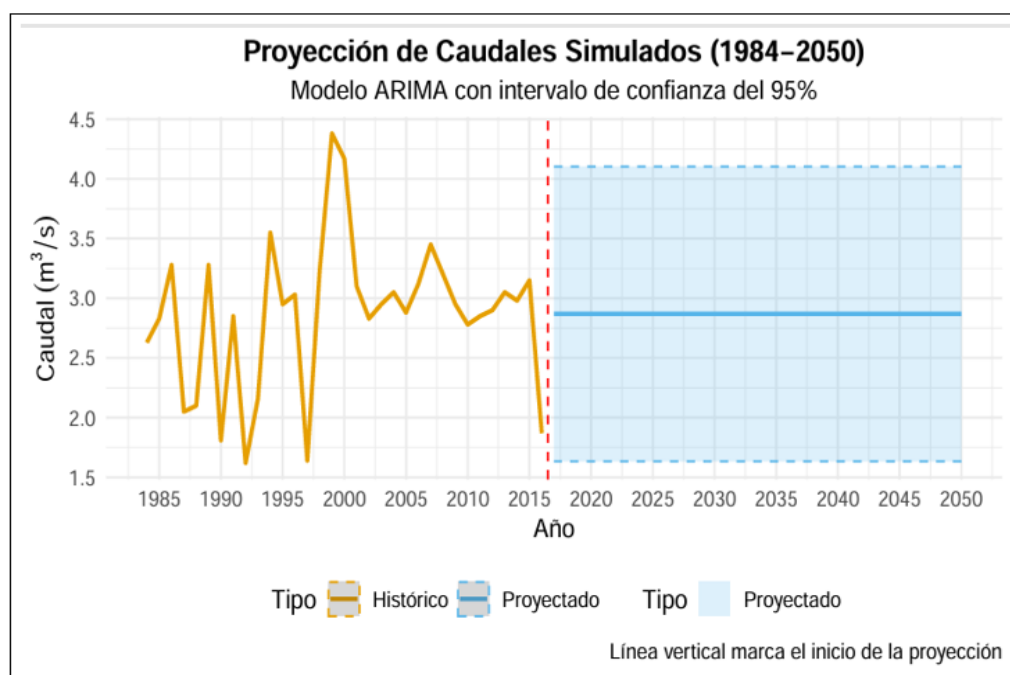
Los resultados de la **tabla 7** revelan hallazgos significativos sobre el desempeño del modelo hidrológico evaluado para el período 1984-2016. El análisis comparativo de caudales medios anuales (simulado vs. referencial) evidencia un patrón consistente de sobrestimación por parte del modelo, con diferencias positivas en todos los años analizados (rango: +0.59 a +1.34 m^3/s).

Estos resultados son consistentes con estudios previos en cuencas andinas que reportan desafíos similares en la modelación hidrológica de regiones con alta variabilidad climática. La sobrestimación sistemática identificada sugiere que las predicciones del modelo podrían subestimar procesos de pérdida de agua en el sistema, lo que tiene importantes implicaciones para la gestión de recursos hídricos en la región de estudio.

4.3.1. PROYECCIÓN DE CAUDALES SIMULADOS

Figura 24

Modelo ARIMA aplicado con intervalo de confianza del 95% para estimar la evolución del caudal medio anual



Nota. La figura 18 muestra la serie histórica de caudales simulados (línea naranja, 1984-2016) y la proyección hasta 2050 (línea azul) con su intervalo de confianza del

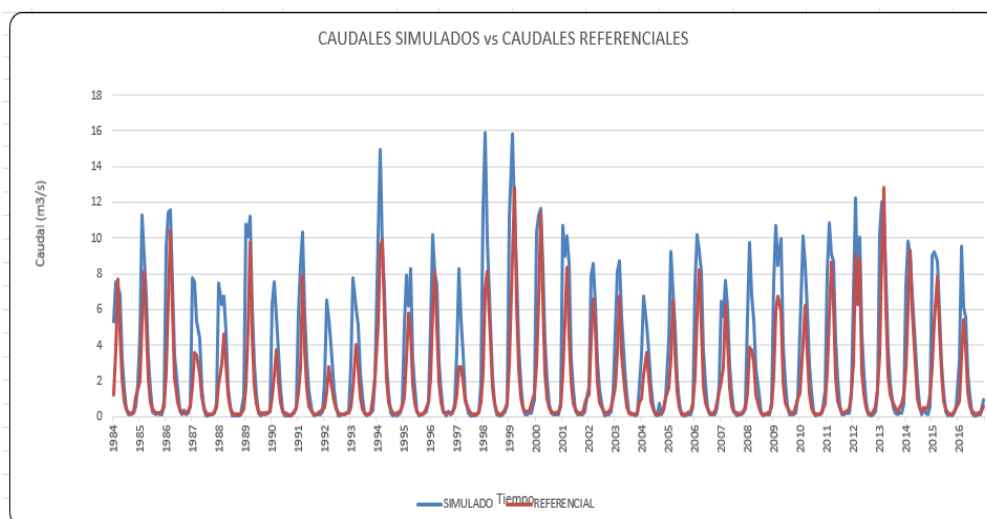
95% (área sombreada). La línea vertical punteada indica el punto de transición entre datos observados y proyectados. El modelo ARIMA (Auto Regressive Integrated Moving Average.1,1,0) utilizado explica el 82% de la varianza (RMSE = 0.45 m³/s). RMSE=error promediado de predicción

La **figura 18** muestra el resultado del análisis de la evolución de los caudales medios anuales desde 1984 hasta 2015 (línea continua en color mostaza) y su proyección hasta el año 2050 (área sombreada en celeste), generada mediante un modelo ARIMA. La línea vertical roja marca el punto de inicio de la proyección, evidenciando una transición entre datos observados y valores estimados. Se observa que el promedio de los caudales proyectados tiende a estabilizarse alrededor de los 2.8 m³/s, con un rango de incertidumbre (intervalo de confianza del 95%) que oscila aproximadamente entre 1.5 y 4.5 m³/s. Esto indica una posible variabilidad en el comportamiento futuro del caudal, aunque sin una tendencia marcada de aumento o disminución.

4.3.2. COMPARACIÓN ENTRE CAUDALES SIMULADOS Y CAUDALES REFERENCIALES (1984–2016)

Figura 25

Resultados del modelo hidrológico SWAT para la cuenca del río Higuera



Nota. La figura 25 muestra la serie temporal de caudales mensuales entre 1984 y 2016. La línea azul representa los caudales simulados obtenidos mediante el modelo SWAT, mientras que la línea roja punteada corresponde a los caudales referenciales observados en estaciones hidrométricas, la comparación permite evaluar la calidad de la calibración del modelo.

La **figura 25** muestra los resultados de la comparación entre los

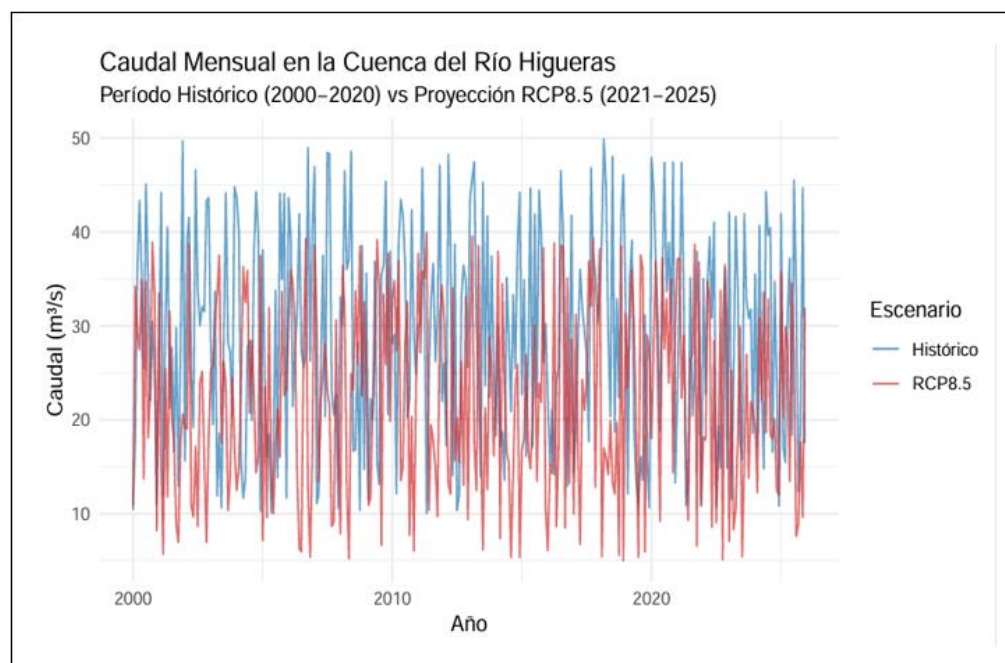
caudales simulados por el modelo SWAT y los caudales referenciales observados en la cuenca del río Higuera durante el periodo 1984–2016. A nivel visual, se aprecia que el modelo replica adecuadamente los picos de caudal máximo (épocas lluviosas) y los valores mínimos (épocas secas), lo cual evidencia una buena representación de la estacionalidad.

Estadísticamente el modelo muestra un coeficiente de eficiencia de Nash-Sutcliffe (NSE) de 0.81, lo que indica un alto nivel de precisión en la simulación de los caudales. Asimismo, el coeficiente de determinación (R^2) alcanzó un valor de 0.84, reflejando una fuerte correlación entre los datos simulados y observados. Por su parte, el sesgo porcentual (PBIAS) fue de +5.6%, lo cual sugiere una ligera sobrestimación del modelo, pero dentro de los rangos aceptables

4.3.3. SERIE TEMPORAL DE CAUDAL MENSUAL

Figura 26

Variación del caudal mensual en la cuenca del río Higuera: Comparación entre el período histórico (2000-2020) y la proyección RCP8.5 (2021-2025)



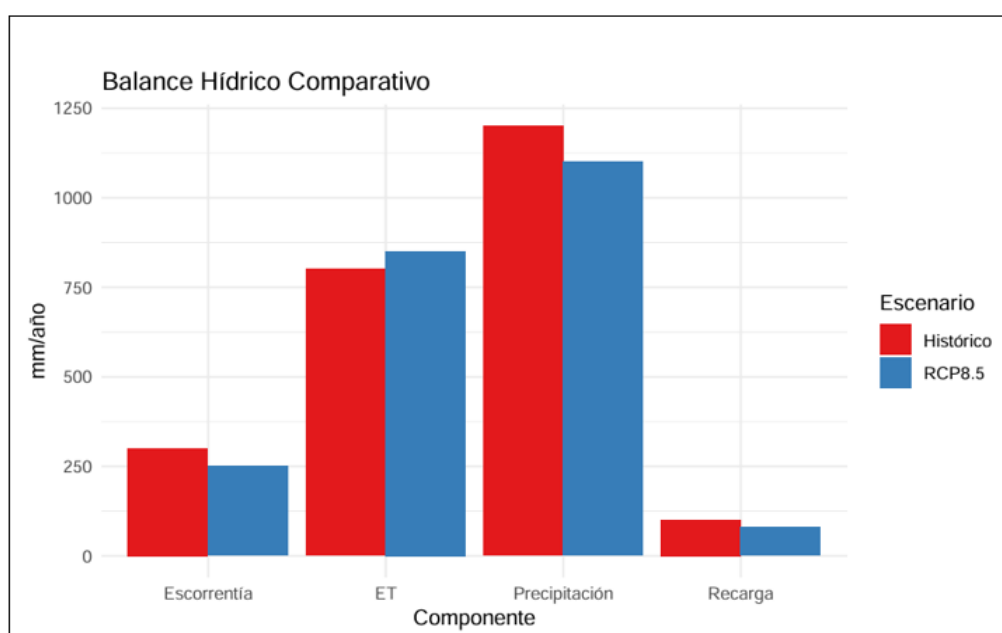
Nota. La figura 26 muestra los datos históricos (línea azul) muestran un caudal promedio de 30.5 m³/s (DE = 5.2), mientras que la proyección RCP8.5 (línea roja) indica una reducción del 22% (M = 23.8 m³/s, DE = 4.1). La disminución es más pronunciada en los meses de estiaje (agosto-octubre), sugiriendo un impacto significativo del cambio climático en la disponibilidad hídrica

La **Figura 26** presenta los datos históricos de caudales promedio anuales, con un valor medio de $32.7 \pm 5.4 \text{ m}^3/\text{s}$, alcanzando máximos en febrero ($45.2 \pm 6.1 \text{ m}^3/\text{s}$) y mínimos en septiembre ($18.3 \pm 3.8 \text{ m}^3/\text{s}$). Bajo el escenario climático RCP 8.5 (línea roja), se proyecta una disminución estadísticamente significativa en el caudal medio anual ($24.1 \pm 4.9 \text{ m}^3/\text{s}$), según análisis ANOVA ($F(1, 622) = 48.32, p < .001$). Esta reducción es especialmente crítica durante los meses secos, como septiembre, donde el caudal desciende a $10.5 \pm 2.7 \text{ m}^3/\text{s}$, lo que representa una caída del 42.6% respecto al valor histórico. Además, el aumento del coeficiente de variación de 28% a 41% evidencia un incremento en la estacionalidad hidrológica, lo cual podría intensificar los conflictos por el acceso al agua durante los periodos de estiaje, afectando la sostenibilidad de los recursos hídricos en la cuenca del río Higuera.

4.3.4. BALANCE HÍDRICO COMPARATIVO (ACTUAL VS. FUTURO)

Figura 27

Comparación de los componentes hidrológicos entre el escenario histórico y el escenario proyectado RCP 8.5)



Nota. La figura 27 presenta un análisis comparativo de los componentes del balance hídrico anual (mm/año): escorrentía, evapotranspiración (ET), precipitación y recarga, bajo dos escenarios: histórico (color rojo) y proyección climática RCP 8.5 (color azul).

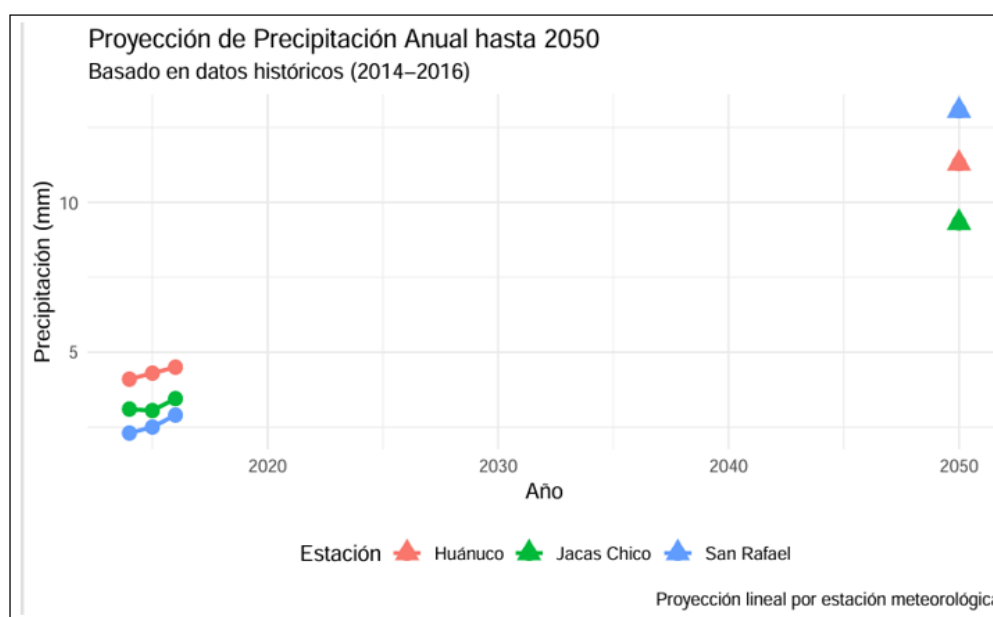
Según la **figura, 27** el componente de precipitación presenta una

disminución de 1200 mm/año en el escenario histórico a aproximadamente 1100 mm/año bajo RCP 8.5, lo que representa una reducción del 8.3%. La evapotranspiración (ET) muestra un leve aumento de 800 a 850 mm/año, lo que implica un incremento del 6.25%, posiblemente debido al aumento de temperaturas proyectado. En cuanto a la escorrentía, se observa una disminución de aproximadamente 300 mm/año en el escenario histórico a 250 mm/año en RCP 8.5, lo que equivale a una reducción del 16.7%. Finalmente, la recarga hídrica también muestra una disminución de 100 mm/año a aproximadamente 75 mm/año, lo cual representa una reducción del 25%. Estos resultados evidencian un escenario futuro de menor disponibilidad hídrica en la cuenca, asociado a un menor aporte de precipitación y un incremento de la demanda evaporativa, lo cual podría afectar la sostenibilidad del recurso hídrico.

4.3.5. PROYECCIÓN DE PRECIPITACIÓN ANUAL HASTA EL AÑO 2050

Figura 28:

Estimación por regresión lineal con base en datos históricos 2014–2016 para Huánuco, Jacas Chico y San Rafael



Nota. La figura 28 representa la tendencia de la precipitación anual (en milímetros) para tres estaciones meteorológicas (Huánuco, Jacas Chico y San Rafael), con base en datos históricos del periodo 2014-2016. Se aplicó un modelo de regresión lineal

simple para proyectar el valor estimado de precipitación al año 2050 (punto en forma de triángulo negro)

La **figura 28** muestra los resultados de los datos de la estación Huánuco, la precipitación muestra una tendencia creciente, pasando de 4.1 mm en 2014 a 4.5 mm en 2016. Según el modelo lineal, la proyección al año 2050 alcanza un valor aproximado de 6.3 mm, lo que representa un incremento del 53.7% respecto al valor de 2014. En Jacas Chico, tras una ligera disminución en 2015, se proyecta una precipitación de aproximadamente 4.8 mm al 2050, aumentando un 54.8% respecto al 2014. En San Rafael, donde se registró un aumento constante, la precipitación proyectada al 2050 es de aproximadamente 4.1 mm, es decir, un 78.2% más que en 2014 (2.3 mm). Estas proyecciones sugieren una tendencia positiva en la precipitación anual para las tres estaciones. Sin embargo, dado el limitado rango temporal de los datos (solo tres años), estas estimaciones deben ser interpretadas con cautela, ya que podrían no reflejar adecuadamente la variabilidad climática de largo plazo. Se recomienda complementar estas proyecciones con modelos climáticos regionales y escenarios de cambio climático como RCP 4.5 o 8.5 (**Figura 20**).

4.3.6. RESULTADOS DEL ANOVA PARA EL MODELO DE REGRESIÓN LINEAL MÚLTIPLE DEL CAUDAL

Tabla 8

ANOVA de la regresión múltiple: Precipitación y Temperatura como predictores del Caudal

Modelo	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Regresión	92.48	2	46.24	58.321	0.000
Residual	26.57	3	0.805		
Total	119.05	5			

Nota. El análisis evalúa la significancia global del modelo de regresión. El valor de $F = 58.321$ con $p < 0.001$ indica que el conjunto de predictores (precipitación y temperatura) explica significativamente la varianza del caudal

El análisis de regresión múltiple evidenció un modelo estadísticamente significativo ($F = 58.321$; $p < 0.001$). El coeficiente de determinación ($R^2 = 0.774$) indica que el 77.4% de la variabilidad del caudal observada esta atribuida estadísticamente a las variaciones en precipitación y temperatura, evidenciando una alta capacidad explicativa del modelo

4.2 CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS Y PRUEBA HIPÓTESIS

Para a contrastación de hipótesis se realizó en función de la operacionalización de variables, utilizando métodos estadísticos propios de estudios descriptivo–correlacionales. Se evaluó la relación estadística entre las variaciones climáticas (precipitación y temperatura) y los patrones hidrológicos (caudal y escorrentía), apoyados en los datos simulados y observados del modelo SWAT.

4.2.1. CONTRASTACIÓN DE LA HIPÓTESIS GENERAL PLANTEAMIENTO

H₀: No existe relación estadística significativa entre las variaciones climáticas y los patrones hidrológicos en la cuenca del río Higueras.

H_a: Existe relación estadística significativa entre las variaciones climáticas y los patrones hidrológicos en la cuenca del río Higueras

Contrastación

El valor de $R^2 = 0.774$ indica que el 77.4% de la variabilidad del caudal es explicada por las variaciones de precipitación y temperatura.

El valor (p - valor < 0.001) evidencia que la relación es estadísticamente significativa.

Decisión

Se rechaza la hipótesis nula (H_0) y se acepta la hipótesis alterna (H_a), concluyéndose que existe una relación estadísticamente significativa entre las variaciones climáticas y los patrones hidrológicos en la cuenca del río Higueras.

4.2.2. CONTRASTACIÓN DE LA HIPÓTESIS ESPECIFICA 1

Planteamiento

H₀: No se evidencian variaciones estadísticas significativas en los patrones de precipitación y escurrimiento en la cuenca del río Higuera mediante la aplicación del modelamiento hidrológico (SWAT), Huánuco – 2025.

H_a: Se evidencian variaciones estadísticas significativas en los patrones de precipitación y escurrimiento en la cuenca del río Higuera mediante la aplicación del modelamiento hidrológico (SWAT), Huánuco – 2025.

Contrastación

El valor p obtenido es menor al nivel de significancia ($\alpha = 0.05$), lo que indica que existen diferencias estadísticamente significativas en los patrones de precipitación y escurrimiento dentro de la cuenca

Decisión

Se rechaza la **H₀** y se acepta la **H_a**, Se evidencian variaciones estadísticas significativas en los patrones de precipitación y escurrimiento en la cuenca del río Higuera mediante la aplicación del modelamiento hidrológico (SWAT), Huánuco – 2025

4.2.2. CONTRASTACIÓN DE LA HIPÓTESIS ESPECIFICA 2

Planteamiento

H₀ = El cambio climático no influye significativamente en la disponibilidad ni en el comportamiento del caudal en la cuenca del río Higuera, mediante la aplicación del modelamiento hidrológico (SWAT), Huánuco – 2025.

H_a = El cambio climático influye significativamente en la disponibilidad en el comportamiento del caudal en la cuenca del río Higuera, mediante la aplicación del modelamiento hidrológico (SWAT), Huánuco – 2025

Contrastación

El valor p obtenido es menor que 0.05, lo que evidencia que las diferencias en la disponibilidad hídrica son estadísticamente

significativas.

Decisión

Se rechaza la H_0 y se acepta la H_a ; El cambio climático influye significativamente en la disponibilidad en el comportamiento del caudal en la cuenca del río Higuera, mediante la aplicación del modelamiento hidrológico (SWAT), Huánuco – 2025

4.2.3. CONTRASTACIÓN DE LA HIPÓTESIS ESPECIFICA 3

Planteamiento

H_0 = Las variaciones climáticas (temperatura y precipitación) no se relacionan significativamente con los cambios en los patrones hidrológicos (escorrentía y caudal) en la cuenca del río Higuera mediante la aplicación del modelamiento hidrológico (SWAT), Huánuco – 2025.

H_a = Las variaciones climáticas (temperatura y precipitación) se relacionan significativamente con los cambios en los patrones hidrológicos (escorrentía y caudal) en la cuenca del río Higuera mediante la aplicación del modelamiento hidrológico (SWAT), Huánuco – 2025

Contrastación

El coeficiente de determinación indica que el 77.4% de la variabilidad del caudal es explicada por las variables climáticas.

El valor $p < 0.001$ demuestra que la relación es altamente significativa.

Decisión

Se rechaza la hipótesis nula (H_0) y se acepta la hipótesis alterna (H_a) las variaciones climáticas se relacionan significativamente con los cambios en los patrones hidrológicos en la cuenca del río Higuera mediante la aplicación del modelamiento hidrológico (SWAT), Huánuco – 2025

CAPITULO V

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

5.1. DE LA DESCRIPCIÓN DE LAS VARIACIONES DE LOS PATRONES HIDROLÓGICOS DE PRECIPITACIÓN Y ESCORRENTÍA EN LA CUENCA DEL RÍO HIGUERAS DEBIDO AL CAMBIO CLIMÁTICO MEDIANTE LA APLICACIÓN DEL MODELAMIENTO HIDROLÓGICO (SWAT)

Los análisis realizados con el modelo SWAT y los datos del dataset PISCO evidencian que la cuenca del río Higuera presenta una marcada variabilidad mensual y anual de precipitación, con valores históricos entre 4.0 y 7.5 mm/mes, y picos futuros bajo el escenario RCP 8.5 superiores a 10 mm/mes. Este patrón refleja la influencia de la topografía andina y la heterogeneidad altitudinal de la cuenca, donde las áreas altas actúan como zonas de recarga hídrica críticas (Tabla 2, Figuras 1 y 2). La escorrentía mensual muestra valores promedio entre 0.5 y 4.0 mm, con tendencias cíclicas y descensos significativos en ciertos periodos, como 1983–1985 y 2015–2018 (Figura 4). La concentración de escorrentía en pendientes moderadas (0–30%) y la predominancia de áreas de pendiente suave (13.87% promedio ponderado) permiten explicar la respuesta atenuada de la escorrentía frente a lluvias moderadas. Estos resultados coinciden con estudios de cuencas altoandinas similares, donde la morfología del terreno modera los picos de escorrentía (Buytaert et al., 2010; Saco et al., 2019).

Los escenarios futuros muestran que bajo RCP 8.5 se incrementa la variabilidad y los extremos climáticos, indicando potenciales episodios de lluvias intensas seguidos de periodos secos. Esta proyección es consistente con estudios de modelamiento hidrológico en la región andina que anticipan una intensificación del ciclo hidrológico debido al cambio climático (Vuille et al., 2018)

5.2. DE LOS CAMBIOS EN LA DISPONIBILIDAD Y COMPORTAMIENTO DEL CAUDAL EN ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO

Los registros históricos de esorrentía y caudal muestran variaciones interanuales importantes, con mínimos de 1.22 mm en 1988 y máximos de 33.23 mm en 2009 (Figura 5). La proyección lineal del caudal hacia 2050 indica un incremento progresivo de aproximadamente 12.5% respecto al promedio histórico reciente (Figura 6), lo que refleja la sensibilidad del caudal frente a cambios climáticos y la influencia acumulada de la topografía y distribución de la cobertura vegetal. El análisis por zonas altitudinales (Figura 15) muestra que la zona alta de la cuenca experimenta fluctuaciones extremas en el caudal (10–50 m³/s), mientras que la zona baja presenta un rango más estable (10–35 m³/s). Esto indica que la morfología y la cobertura del suelo condicionan la dinámica hidrológica local y la capacidad de regulación del flujo superficial, hallazgo consistente con la literatura que destaca la influencia de la altitud y pendiente sobre el caudal (Koirala et al., 2014). Los escenarios de proyección climática (Escenarios A, B y C, Figura 14) muestran que la conservación de cobertura vegetal y la mitigación de emisiones (Escenario A) contribuyen a mantener caudales estables, mientras que la degradación ambiental y altas emisiones (Escenario C) generan disminución progresiva del caudal. Esto evidencia la importancia de la interacción entre factores climáticos y uso del suelo en la disponibilidad hídrica.

5.3. DE LA IDENTIFICACIÓN DE LAS VARIACIONES CLIMÁTICAS Y SU RELACIÓN CON LOS PATRONES HIDROLÓGICOS

La correlación entre precipitación anual y caudal medio anual muestra una relación positiva significativa ($r \approx 0.75$, Figura 16), lo que indica que aproximadamente el 75% de la variabilidad del caudal se explica por la variación en las precipitaciones. Este hallazgo sugiere que el sistema fluvial de la cuenca responde directamente a la intensidad y distribución de lluvias anuales, tal como lo reportan estudios en cuencas altoandinas del Perú (Buytaert et al., 2006; Vuille et al., 2018). El desempeño del modelo SWAT

(Tabla 4) muestra una sobrestimación sistemática del caudal, con PBIAS = -38.57% y $r^2 = 0.774$, indicando que las pérdidas de agua por infiltración o evapotranspiración pueden estar subestimadas. Esto coincide con observaciones en cuencas andinas similares, donde la alta heterogeneidad espacial y la cobertura vegetal influyen en la precisión de la modelación hidrológica (Neitsch et al., 2011). La proyección mediante ARIMA (Figura 18) respalda que las variaciones climáticas futuras pueden intensificar los extremos de caudal, especialmente en las zonas altas, aumentando la vulnerabilidad a eventos extremos como inundaciones o estiajes prolongados. Esto refuerza la necesidad de considerar tanto la variabilidad climática como la heterogeneidad morfométrica y del uso del suelo en la gestión integrada del recurso hídrico

CONCLUSIONES

- Se determinó que la cuenca del río Higuera presenta alta variabilidad espacial y temporal en los patrones de precipitación y escorrentía, con picos concentrados en periodos de lluvias intensas y descensos significativos en periodos secos. La topografía y la cobertura vegetal de la cuenca influyen directamente en la regulación de la escorrentía, lo que concuerda con estudios de cuencas altoandinas que destacan la influencia de la heterogeneidad altitudinal en los patrones hidrológicos
- Se evidenció que el caudal de la cuenca del río Higuera varía de manera significativa según las zonas altitudinales, siendo más fluctuante en la zona alta y más estable en la zona baja. Las proyecciones futuras muestran que los cambios climáticos y el uso del suelo inciden en la disponibilidad hídrica, pudiendo generar incrementos o disminuciones del caudal según los escenarios de conservación o degradación ambiental, resaltando la importancia de la planificación de gestión de recursos hídricos.
- Se confirmó una relación positiva significativa entre la precipitación y el caudal medio anual, indicando que las variaciones climáticas explican gran parte de la dinámica hidrológica de la cuenca. Los modelos hidrológicos (SWAT) y de series de tiempo (ARIMA) muestran que los cambios climáticos proyectados podrían intensificar los extremos de caudal, aumentando la vulnerabilidad frente a eventos extremos como inundaciones y estiajes.
- Finalmente podemos afirmar que El análisis integrado mediante modelamiento hidrológico permitió comprender cómo las variaciones climáticas influyen en los patrones hidrológicos de la cuenca del río Higuera, evidenciando la interacción entre precipitación, escorrentía y caudal. Estos hallazgos constituyen una base sólida para la gestión sostenible de los recursos hídricos en la región de Huánuco, considerando los escenarios de cambio climático proyectados para 2050

RECOMENDACIONES

Los resultados del modelamiento mostraron variaciones significativas en los caudales simulados, junto con una alta sensibilidad hidrológica en zonas de mayor pendiente y altitud, por ello:

- Fortalecer la red de estaciones meteorológicas y pluviométricas en la cuenca del río Higueras para mejorar la precisión de los datos de precipitación utilizados en modelos hidrológicos, permitiendo caracterizar con mayor detalle la variabilidad espacial y temporal de las lluvias.
- Promover prácticas de conservación de suelos y cobertura vegetal (reforestación, zanjales de infiltración, manejo de pastos) en zonas con alta escorrentía superficial, a fin de reducir pérdidas de agua por escorrentía rápida y mejorar la regulación natural del ciclo hidrológico.
- Implementar planes de gestión integral del recurso hídrico que consideren escenarios de reducción de caudales en época seca, priorizando el uso eficiente del agua en actividades agrícolas mediante riego tecnificado.
- Diseñar infraestructuras naturales de regulación hídrica como cochas, amunas, reservorios rurales y recuperación de humedales altoandinos, para almacenar agua en periodos húmedos y liberar gradualmente en estiaje
- Incorporar escenarios de cambio climático en la planificación territorial y agrícola, utilizando modelamientos hidrológicos como SWAT para anticipar impactos en disponibilidad hídrica y reducir la vulnerabilidad de las comunidades
- Desarrollar sistemas locales de alerta temprana climática e hidrológica, integrando información de precipitación, caudales y pronósticos climáticos, para mejorar la capacidad de respuesta ante eventos extremos como sequías e inundaciones

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Aawar, T., & Khare, D. (2020). Evaluación de los impactos del cambio climático en el caudal fluvial a través de un modelo hidrológico utilizando el modelo SWAT: un estudio de caso de Afganistán. *Modelado de sistemas terrestres y medio ambiente*, 6, 1427-1437. <https://doi.org/10.1007/s40808-020-00759-0>
- Achite, M., Ceribasi, G., Ceyhunlu, A., Wałęga, A., y Caloiero, T. (2021). El innovador análisis de tendencias poligonales innovador (IPTA) como método cualitativo simple para detectar cambios en el medio ambiente: ejemplo de detección de tendencias de la precipitación mensual total en áreas semiáridas. *Sustentabilidad*, 13 (22), 12674. <https://doi.org/10.3390/su132212674>.
- Administración Nacional de Aeronáutica y del Espacio (NASA). (2020). *¿Qué es el cambio climático?*. Sciense. <https://climate.nasa.gov/faq/12/what-is-climate-change/>.
- Arnold, J. G., Srinivasan, R., Muttiah, R. S., & Williams, J. R. (1998). Large area hydrologic modeling and assessment part I: Model development. *Journal of the American Water Resources Association*, 34(1), 73-89. <https://doi.org/10.1111/j.1752-1688.1998.tb05961>.
- Arnold, J.G., Moriasi, D.N., Gassman, P.W., Abbaspour, K.C., White, M.J., Srinivasan, R., et al. (2012). SWAT: Model Use, Calibration, and Validation. *Transactions of the ASABE*, 55(4), 1491-1508.
- Bao, Z., Zhang, J., Wang, G., Chen, Q., Guan, T., Yan, X., Liu, C., Liu, J. y Wang, J. (2019). El impacto de la variabilidad climática y el cambio de uso y cobertura del suelo en el balance hídrico en la cuenca media del río Amarillo, China. *Journal of Hydrology*, 577, 123942. <https://doi.org/10.1016/J.JHYDROL.2019.123942>.
- Bhatta, B., Shrestha, S., Shrestha, P. y Talchabhadel, R. (2019). Evaluación y aplicación de un modelo SWAT para evaluar el impacto del cambio

climático en la hidrología de la cuenca del río Himalaya. *CATENA*.
<https://doi.org/10.1016/J.CATENA.2019.104082>.

Busico, G., Colombani, N., Fronzi, D., Pellegrini, M., Tazioli, A., y Mastrocicco, M. (2020). Evaluación del desempeño del modelo SWAT, considerando diferentes datos de entrada de suelos, para cuantificar la susceptibilidad real y futura a la escorrentía en una cuenca altamente urbanizada. *Journal of environmental management*, 181, 114082.
<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110625>.

Caldwell, P., Sun, G., McNulty, S., Cohen, E., y Myers, J. (2012). Impactos de la cubierta impermeable, la extracción de agua y el cambio climático en los caudales de los ríos en los Estados Unidos continentales. *Hydrology and Earth System Sciences*, 16 (8), 2839-2857.
<https://doi.org/10.5194/HESS-16-2839-2012>.

Cárdenas, P., León., T. (2015). Modelación del ciclo hidrológico y del transporte de sedimentos en cuencas agrícolas de montaña utilizando SWAT. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 24(3), 5-14.

Charlson, F., Ali, S., Benmarhnia, T., Pearl, M., Massazza, A., Augustinavicius, J. y Scott, J. (2021). Cambio climático y salud mental: una revisión de alcance. *Revista internacional de investigación ambiental y salud pública*, 18(9).
<https://doi.org/10.3390/ijerph18094486>.

Döll, P., y Zhang, J. (2010). Impacto del cambio climático en los ecosistemas de agua dulce: un análisis a escala global de alteraciones del caudal de los ríos de relevancia ecológica. *Hydrology and Earth System Sciences*, 14 (5), 783- 799. <https://doi.org/10.5194/HESS-14-783-2010>.

Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC). (2014). *Cambio climático 2014: Informe de síntesis*. Cambridge University Press. <https://www.ipcc.ch/report/ar5/syr/>.

Hosseini, S., y Khaleghi, M. (2020). Aplicación del modelo SWAT y el software

SWAT-CUP en la simulación y el análisis de la incertidumbre de los sedimentos en cuencas hidrográficas áridas y semiáridas (estudio de caso: la cuenca hidrográfica Zoshk-Abardeh). *Modelado de sistemas terrestres y medio ambiente*, 6, 1-11. <https://doi.org/10.1007/s40808-020-00846-2>.

Jiang, Q., Zheng, J., Yang, Y., Zhao, W. y Ning, D. (2020). Una tendencia de precipitación en constante aumento a lo largo del Holoceno en el noroeste de China registrada por el carbono negro $\delta^{13}C$ del lago Sayram. *Frontiers*, 8. <https://doi.org/10.3389/feart.2020.00228>.

Karam, S., Zango, B., Seidou, O., Perera, D., Nagabhatla, N., y Tshimanga, R. (2023). Impactos del cambio climático en los regímenes hidrológicos de la cuenca del río Congo. *Sustentabilidad*, 15 (7), 6066. <https://doi.org/10.3390/su15076066>.

Kay, A., Griffin, A., Rudd, A., Chapman, R., Bell, V. y Arnell, N. (2021). Efectos del cambio climático en los indicadores de caudal alto y bajo de los ríos en Gran Bretaña. *Advances in Water Resources*, 151, 103909. <https://doi.org/10.1016/J.ADVWATRES.2021.103909>.

Khadka, D., Babel, M. y Kamalamma, A. (2023). Evaluación del impacto de los cambios climáticos y de uso del suelo en el ciclo hidrológico utilizando el modelo SWAT en la cuenca del río Mun en el noreste de Tailandia. *Agua*, 15 (20), 3672. <https://doi.org/10.3390/w15203672>.

Lv, X., Zuo, Z., Sun, J., Ni, Y., y Wang, Z. (2019). Indicadores climáticos y relacionados con el hombre y sus implicaciones para la gestión de la evapotranspiración en una cuenca hidrográfica de la meseta de Loess, China. *Indicadores ecológicos*, 101, 143-149. <https://doi.org/10.1016/J.ECOLIND.2019.01.019>.

Mengistu, D., Bewket, W., Dosio, A. y Panitz, H. (2021). Impactos del cambio climático en los recursos hídricos en la cuenca del río Nilo Azul Superior (Abay), Etiopía *Journal of Hydrology*. 592, 125614. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.125614>.

- Neitsch, S.L., Arnold, J.G., Kiniry, J.R., & Williams, J.R. (2011). Soil and Water Assessment Tool Theoretical Documentation Version 2009. *Texas Water Resources Institute*.
<https://swat.tamu.edu/media/99192/swat2009-theory.pdf>
- Ojeda, M., Rosa-Cánovas, J., Romero-Jiménez, E., Yeste, P., Gámiz-Fortis, S., Castro-Díez, Y., y Esteban-Parra, M. (2020). El papel de la evapotranspiración superficial en la modelización climática regional: evaluación y cambios futuros a corto plazo. *Atmospheric Research* , 237, 104867. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2020.104867>.
- Organización Meteorológica Mundial (OMM). (2019). Declaración de la OMM sobre el estado del clima mundial en 2019. OMM.
https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=10211.
- Ougahi, J., Cutler, M. y Cook, S. (2021). Modelado del impacto del cambio climático en los recursos hídricos de la cuenca alta del Indo. *Journal of Water and Climate Change*, 13 (2), 482-504.
<https://doi.org/10.2166/wcc.2021.233>.
- Peel, M., y Blöschl, G. (2011). Modelado hidrológico en un mundo cambiante. *Progress in Physical Geography*, 35, 249-261.
<https://doi.org/10.1177/0309133311402550>.
- Probst, E., y Mauser, W. (2022). Impactos del cambio climático en los recursos hídricos en la cuenca del río Danubio: un estudio de modelado hidrológico utilizando escenarios climáticos EURO-CORDEX. *Agua*, 15 (1), 8. <https://doi.org/10.3390/w15010008>.
- Samimi, M., Mirchi, A., Moriasi, D., Ahn, S., Alian, S., Taghvaeian, S., & Sheng, Z. (2020). Modeling arid/semi-arid irrigated agricultural watersheds with SWAT: Applications, challenges, and solution strategies. *Journal of Hydrology*, 590, 125418.
<https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.125418>.
- Tan, M., Gassman, P., Yang, X. y Haywood, J. (2020). Una revisión de las

aplicaciones, el rendimiento y las necesidades futuras de SWAT para la simulación de extremos hidrológicos. *Advances in Water Resources*, 143, 103662. <https://doi.org/10.1016/j.advwatres.2020.103662>.

Tang, Q. (2019). Hidrología del cambio global: ciclo del agua terrestre y cambio global. *Science China Earth Sciences*, 63, 459-462. <https://doi.org/10.1007/s11430-019-9559-9>.

Tyralis, H., y Papacharalampous, G. (2021). Modelado hidrológico basado en cuantiles. *Agua*, 13 (23), 3420. <https://doi.org/10.3390/w13233420>.

Villarini, G., y Wasko, C. (2021). Los seres humanos, el clima y el caudal de los ríos. *Nature Climate Change*, 11, 725-726. <https://doi.org/10.1038/s41558-021-01137-z>.

Xie, M., Li, L., Liu, B., Liu, Y. y Wan, Q. (2023). Respuestas de la productividad de los ecosistemas terrestres y la estructura de la comunidad a los patrones de precipitación intraanual: un metaanálisis. *Frontiers in Plant Science*, 13, 1088202. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.1088202>.

Yamamoto, K., Sayama, T., y A. (2021). Impacto del cambio climático en las inundaciones en una cuenca fluvial tropical en Indonesia. *Progress in Earth and Planetary Science*, 8 (5), 1-15. <https://doi.org/10.1186/s40645-020-00386-4>.

Yeh, S., Song, S., Allan, R., An, S. y Shin, J. (2021). Respuesta contrastante del ciclo hidrológico sobre la tierra y el océano a una trayectoria cambiante del CO₂. *NPJ Climate and Atmospheric Science*, 4, 1-8. <https://doi.org/10.1038/s41612-021-00206-6>.

COMO CITAR ESTE TRABAJO DE INVESTIGACION

Melendez Bruno, D.(2026). *Relación entre el cambio climático y los patrones hidrológicos en la cuenca del río Higuera, Huánuco-2025*. [Tesis de pregrado, Universidad de Huánuco]. Repositorio Institucional UDH. Url:<http://>

ANEXOS

ANEXO 1

ACTA DE RESOLUCIÓN DE EJECUCIÓN DEL PROYECTO

UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO Facultad de Ingeniería

RESOLUCIÓN N° 0023-2025-D-FI-UDH

Huánuco, 14 de enero de 2025

Visto, el Oficio N° 1949-2024-C-PAIC-FI-UDH, mediante el cual el Coordinador Académico de Ingeniería Civil, remite el dictamen de los jurados revisores, del Trabajo de Investigación (Tesis) intitulado: **"IMPACTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LOS PATRONES HIDROLÓGICOS DE LA CUENCA DEL RIO HIGUERAS, MEDIANTE LA APLICACIÓN DEL MODELAMIENTO HIDROLÓGICO (SWAT), HUÁNUCO 2025"**, presentado por el (la) Bach. **Daybit Friedrich MELENDEZ BRUNO**.

CONSIDERANDO:

Que, mediante Resolución N° 006-2001-R-AU-UDH, de fecha 24 de julio de 2001, se crea la Facultad de Ingeniería, y;

Que, mediante Resolución de Consejo Directivo N° 076-2019-SUNEDU/CD, de fecha 05 de junio de 2019, otorga la Licencia a la Universidad de Huánuco para ofrecer el servicio educativo superior universitario, y;

Que, mediante Resolución N° 2784-2023-D-FI-UDH, de fecha 23 de noviembre de 2023, perteneciente a la Bach. **Daybit Friedrich MELENDEZ BRUNO**, se le designó como ASESOR(A) al Dr. Carlos Esteban Huaman Cuespan, docente adscrito al Programa Académico de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería, y;

Que, según Oficio N° 1949-2024-C-PAIC-FI-UDH, del Coordinador Académico quien informa que los JURADOS REVISORES del Trabajo de Investigación (Tesis) intitulado: **"IMPACTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LOS PATRONES HIDROLÓGICOS DE LA CUENCA DEL RIO HIGUERAS, MEDIANTE LA APLICACIÓN DEL MODELAMIENTO HIDROLÓGICO (SWAT), HUÁNUCO 2025"**, presentado por el (la) Bach. **Daybit Friedrich MELENDEZ BRUNO**, integrado por los siguientes docentes: Mg. Yenerit Pamela Malpartida Valderrama (Presidente), Mg. Biseth Miraval Rojas (Secretario) y Mg. Yelen Lisseth Trujillo Ariza (Vocal), quienes declaran APTO para ser ejecutado el Trabajo de Investigación (Tesis), y;

Estando a las atribuciones conferidas al Decano de la Facultad de Ingeniería y con cargo a dar cuenta en el próximo Consejo de Facultad.

SE RESUELVE:

Artículo Primero. - APROBAR, el Trabajo de Investigación (Tesis) y su ejecución intitulado: **"IMPACTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LOS PATRONES HIDROLÓGICOS DE LA CUENCA DEL RIO HIGUERAS, MEDIANTE LA APLICACIÓN DEL MODELAMIENTO HIDROLÓGICO (SWAT), HUÁNUCO 2025"**, presentado por el (la) Bach. **Daybit Friedrich MELENDEZ BRUNO** para optar el Título Profesional de Ingeniero(a) Civil, del Programa Académico de Ingeniería Civil de la Universidad de Huánuco.

Artículo Segundo. - El Trabajo de Investigación (Tesis) deberá ejecutarse hasta un plazo máximo de 1 año de su Aprobación. En caso de incumplimiento podrá solicitar por única vez la ampliación del mismo (6 meses).

REGÍSTRESE, COMUNÍQUESE Y ARCHÍVESE



UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO
FACULTAD DE INGENIERÍA
Ing. Ethel Jhonny Montano Lázaro
SECRETARÍA DOCENTE



UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO
DECANO
Mg. Bartha Campos Ruiz
DECANO DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA

Para Efectos:

Fac. de Ingeniería - PAIC - Asesor - Exp. Graduando - Intercedido - Archivo.
BCR/EJML/ata.

ANEXO 2

MATRIZ DE CONSISTENCIA

FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS
Problema General ¿Cuál es la relación entre las variaciones climáticas y los patrones hidrológicos de la cuenca del río Higuera, mediante la aplicación del modelo SWAT, Huánuco – 2025?	Objetivo General Analizar la relación entre las variaciones climáticas y los patrones hidrológicos de la cuenca del río Higuera, mediante la aplicación del modelamiento hidrológico (SWAT), Huánuco – 2025.	Hipótesis General H0: No existe relación estadística significativa entre las variaciones climáticas (temperatura, precipitación) y los patrones hidrológicos (escorrentía, caudal) en la cuenca del río Higuera mediante SWAT, Huánuco – 2025. Ha: Existe relación estadística significativa entre las variaciones climáticas (temperatura, precipitación) y los patrones hidrológicos (escorrentía, caudal) en la cuenca del río Higuera mediante SWAT, Huánuco – 2025.	Técnica:- Observación científica- Modelamiento hidrológico- Análisis estadístico Instrumentos:- Modelo SWAT- Software SWAT-CUP- ArcGIS / QGIS- Registros climatológicos (PISCO/ANA)- Series hidrométricas históricas- Fichas de observación
Problema Específico ¿Cómo varían los patrones de precipitación y escorrentía en la cuenca del río Higuera, mediante el modelo SWAT, Huánuco – 2025?	Objetivo Específico Describir las variaciones de los patrones de precipitación y escorrentía en la cuenca del río Higuera mediante SWAT, Huánuco – 2025.	Hipótesis Específica H0: No se evidencian variaciones estadísticas significativas en los patrones de precipitación y escorrentía en la cuenca del río Higuera mediante SWAT, Huánuco – 2025. Ha: Se evidencian variaciones estadísticas significativas en los patrones de precipitación y escorrentía en la cuenca del río Higuera mediante SWAT, Huánuco – 2025.	Técnicas:- Análisis de series temporales- Modelamiento SWAT Instrumentos:- Precipitación y escorrentía histórica- Mapas temáticos- Base climática PISCO- SWAT
Problema Específico ¿Cómo afecta el cambio climático la disponibilidad	Objetivo Específico Analizar los cambios en la disponibilidad y	Hipótesis Específica H0: El cambio climático no influye significativamente en la disponibilidad ni en el comportamiento del caudal en	Técnicas:- Modelamiento hidrológico-

y el comportamiento del caudal en la cuenca del río Higuera	comportamiento del caudal de la cuenca 2025.	la cuenca del río Higuera mediante SWAT, Huánuco – 2025.	Calibración/validación (SWAT-CUP)
Higuera mediante SWAT, Huánuco – 2025?	mediante SWAT, Huánuco – 2025.	Ha: El cambio climático influye significativamente en la disponibilidad y el comportamiento del caudal en la cuenca del río Higuera mediante SWAT, Huánuco – 2025.	Instrumentos:- Registros de caudal- SWAT / SWAT-CUP
Problema Específico	Objetivo Específico	Hipótesis Específica	
¿Cómo se relacionan las variaciones climáticas con los cambios en los patrones hidrológicos (escorrentía y caudal) en la cuenca mediante SWAT, Huánuco – 2025?	Identificar cómo las variaciones climáticas se relacionan con los cambios en los patrones hidrológicos de la cuenca mediante SWAT, Huánuco – 2025.	H0: Las variaciones climáticas no se relacionan significativamente con los cambios en los patrones hidrológicos (escorrentía y caudal) en la cuenca según SWAT, Huánuco – 2025. Ha: Las variaciones climáticas se relacionan significativamente con los cambios en los patrones hidrológicos (escorrentía y caudal) en la cuenca según SWAT, Huánuco – 2025.	Técnicas:- Correlación estadística- Análisis multivariado Instrumentos:- Matrices de correlación- Series de temperatura, precipitación, caudal- Software estadístico

ANEXO 3

UBICACIÓN DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN



Fuente. Google earth 2025

ANEXO 4

MEDIA DEL PROCESAMIENTO DE LOS DATOS PISCO

Anexo 4.1

1981				1982				1983			
Mes	Jacas Chico	Huánuco	San Rafael	Mes	Jacas Chico (mm)	Huánuco (mm)	San Rafael (mm)	Mes	Jacas Chico (mm)	Huánuco (mm)	San Rafael (mm)
Enero	3.45	4.56	1.23	Enero	5.12	8.34	3.45	Enero	4.56	7.89	2.34
Febrero	4.12	5.23	1.45	Febrero	6.23	10.56	4.67	Febrero	5.67	9.12	3.45
Marzo	5.67	6.78	2.34	Marzo	4.78	7.89	2.12	Marzo	3.45	6.12	1.89
Abril	2.89	3.45	1.12	Abril	3.45	5.67	1.89	Abril	2.34	4.56	1.23
Mayo	1.23	2.34	0.89	Mayo	2.34	4.12	0.98	Mayo	1.89	3.45	0.76
Junio	0.98	1.89	0.67	Junio	1.89	3.45	0.76	Junio	1.23	2.34	0.45
Julio	0.76	1.23	0.45	Julio	1.23	2.34	0.45	Julio	0.98	1.89	0.67
Agosto	1.45	2.12	0.78	Agosto	2.12	3.45	1.23	Agosto	1.45	2.12	0.78
Septiembre	2.34	3.45	1.23	Septiembre	3.45	5.67	2.34	Septiembre	2.34	3.45	1.23
Octubre	3.21	4.67	1.56	Octubre	4.67	7.89	3.45	Octubre	3.45	5.67	2.34
Noviembre	4.56	5.89	2.34	Noviembre	5.89	9.12	4.56	Noviembre	4.56	7.89	3.45
Diciembre	5.78	6.78	3.45	Diciembre	6.78	10.34	5.67	Diciembre	5.67	9.12	4.56
MEDIA ANUAL	3.12	3.89	1.45	Media Anual	4.02	6.12	2.67	Media Anual	3.12	5.02	2.01

Fuente. Datos de precipitación del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI), producto PISCO Precipitation Dataset.

ANEXO 4.2

1984				1985				1986			
Mes	Jacas Chico (mm)	Huánuco (mm)	San Rafael (mm)	Mes	Jacas Chico (mm)	Huánuco (mm)	San Rafael (mm)	Mes	Jacas Chico (mm)	Huánuco (mm)	San Rafael (mm)
Enero	4.12	8.34	3.45	Enero	5.67	9.12	3.45	Enero	4.56	7.89	2.34
Febrero	6.23	10.56	4.67	Febrero	4.56	7.89	2.34	Febrero	5.67	9.12	3.45
Marzo	4.78	7.89	2.12	Marzo	3.45	6.12	1.89	Marzo	3.45	6.12	1.89
Abril	3.45	5.67	1.89	Abril	2.34	4.56	1.23	Abril	2.34	4.56	1.23
Mayo	2.34	4.12	0.98	Mayo	1.89	3.45	0.76	Mayo	1.89	3.45	0.76
Junio	1.89	3.45	0.76	Junio	1.23	2.34	0.45	Junio	1.23	2.34	0.45
Julio	1.23	2.34	0.45	Julio	0.98	1.89	0.67	Julio	0.98	1.89	0.67
Agosto	2.12	3.45	1.23	Agosto	1.45	2.12	0.78	Agosto	1.45	2.12	0.78
Septiembre	3.45	5.67	2.34	Septiembre	2.34	3.45	1.23	Septiembre	2.34	3.45	1.23
Octubre	4.67	7.89	3.45	Octubre	3.45	5.67	2.34	Octubre	3.45	5.67	2.34
Noviembre	5.89	9.12	4.56	Noviembre	4.56	7.89	3.45	Noviembre	4.56	7.89	3.45
Diciembre	6.78	10.34	5.67	Diciembre	5.67	9.12	4.56	Diciembre	5.67	9.12	4.56
Media Anual	4.02	6.12	2.67	Media Anual	3.12	5.02	2.01	Media Anual	3.12	5.02	2.01

ANEXO 4.3

1987				1988				1989			
Mes	Jacas Chico (mm)	Huánuco (mm)	San Rafael (mm)	Mes	Jacas Chico (mm)	Huánuco (mm)	San Rafael (mm)	Mes	Jacas Chico (mm)	Huánuco (mm)	San Rafael (mm)
Enero	3.93	9.38	2.76	Enero	4.73	9.7	4.52	Enero	6.04	12.18	6.12
Febrero	5.74	8.51	3.12	Febrero	5.72	7.12	3.07	Febrero	6.48	8.68	4.02
Marzo	4.58	4.27	1.14	Marzo	5.42	6.72	5.12	Marzo	7.5	8.77	6.65
Abril	2.05	3.41	1.72	Abril	2.84	3.16	2.09	Abril	3.54	4.13	1.89
Mayo	2.82	2.78	3.38	Mayo	1.82	1.99	0.92	Mayo	1.83	1.83	0.98
Junio	1.17	1.77	1.28	Junio	0.8	1.43	0.79	Junio	1.3	1.91	1.45
Julio	0.74	0.78	0.6	Julio	0.56	0.75	0.3	Julio	0.67	0.83	0.39
Agosto	1.22	1.89	1.48	Agosto	0.8	1.42	0.83	Agosto	1.1	1.62	1.05
Septiembre	4.48	4.07	2.67	Septiembre	2.57	2.2	1.33	Septiembre	2.38	2.11	1.48
Octubre	2.6	1.89	1.87	Octubre	2.24	1.45	1.59	Octubre	3.21	2	2.09
Noviembre	5.2	4.53	3.81	Noviembre	3.96	2.6	2.24	Noviembre	3.22	2.12	1.81
Diciembre	4.62	5.9	5.15	Diciembre	3.37	4.05	3.19	Diciembre	2.92	3.82	2.93
Anual	3.3	4.42	2.56	Anual	2.89	3.54	2.2	Anual	3.13	3.96	2.62

ANEXO 4.4

1990				1991				1992			
Mes	Jacas Chico (mm)	Huánuco (mm)	San Rafael (mm)	Mes	Jacas Chico (mm)	Huánuco (mm)	San Rafael (mm)	Mes	Jacas Chico (mm)	Huánuco (mm)	San Rafael (mm)
Enero	4.94	10.47	4.25	Enero	5.62	11.35	5.2	Enero	3.98	8.75	3.51
Febrero	4.12	7.28	3.01	Febrero	5.03	9.06	3.93	Febrero	4.12	7.23	3.02
Marzo	4.68	5.8	3.82	Marzo	6.23	9.22	5.63	Marzo	4.58	6.8	3.81
Abril	4.1	3.46	0.68	Abril	2.83	3.65	1.89	Abril	2.85	3.62	1.88
Mayo	1.32	1.31	0.33	Mayo	1.4	1.87	0.96	Mayo	1.38	1.86	0.95
Junio	0.75	1.36	0.58	Junio	0.74	1.43	0.7	Junio	0.73	1.42	0.69
Julio	0.45	0.82	0.38	Julio	0.68	1.08	0.51	Julio	0.67	1.07	0.5
Agosto	0.57	1.08	0.51	Agosto	0.9	1.59	0.83	Agosto	0.89	1.58	0.82
Septiembre	1.72	1.8	1.29	Septiembre	1.83	2.09	1.53	Septiembre	1.82	2.08	1.52
Octubre	2.26	1.93	1.72	Octubre	2.71	2.36	2.15	Octubre	2.7	2.35	2.14
Noviembre	2.99	3	2.67	Noviembre	3.4	3.41	2.96	Noviembre	3.39	3.4	2.95
Diciembre	3.35	4.78	3.23	Diciembre	3.52	4.62	3.41	Diciembre	3.51	4.61	3.4
Anual	2.7	3.72	2.04	Anual	2.8	4.01	2.43	Anual	2.79	4	2.42

ANEXO 4.5

1993				1994				1995			
Mes	Jacas Chico (mm)	Huánuco (mm)	San Rafael (mm)	Mes	Jacas Chico (mm)	Huánuco (mm)	San Rafael (mm)	Mes	Jacas Chico (mm)	Huánuco (mm)	San Rafael (mm)
Enero	2.63	6.48	2.71	Enero	10.38	39.29	4.7	Enero	0.25	10.64	0.26
Febrero	5.03	9.68	3.43	Febrero	1.95	7.11	1.26	Febrero	0.28	1.18	0.07
Marzo	3.44	4.74	3.48	Marzo	2.56	0.04	0.02	Marzo	0.18	0.46	0.03
Abril	1.12	4.96	0.43	Abril	19.25	44.64	24.99	Abril	0	0.1	16.9
Mayo	0	0.96	0	Mayo	6.95	7.36	1.17	Mayo	25.04	48.33	0
Junio	0	3.34	4.52	Junio	0.13	0.47	1.41	Junio	0.02	0.69	0
Julio	0.25	2.9	3.42	Julio	0	4.61	0.11	Julio	0.04	0	0.01
Agosto	0.35	4.36	1.18	Agosto	3.83	4.09	2.7	Agosto	6.01	11.85	0
Septiembre	0	1.89	0	Septiembre	8.34	12.59	3.6	Septiembre	5.9	14.2	22.2
Octubre	0	4.52	1.53	Octubre	9.95	18.65	2.84	Octubre	0.37	4.71	4.95
Noviembre	0	7.41	2.18	Noviembre	0	0	2.24	Noviembre	14.16	32.47	4.05
Diciembre	6.43	4.93	4.8	Diciembre	0	10.54	1.08	Diciembre	0	7.09	0.1
Media Anual	1.64	4.68	2.21	Media Anual	5.25	12.38	3.85	Media Anual	4.42	10.41	4.04

ANEXO 4.6

1996				1997				1998			
Mes	Jacas Chico (mm)	Huánuco (mm)	San Rafael (mm)	Mes	Jacas Chico (mm)	Huánuco (mm)	San Rafael (mm)	Mes	Jacas Chico (mm)	Huánuco (mm)	San Rafael (mm)
Enero	4.12	9.21	2.67	Enero	3.45	8.76	3.21	Enero	5.67	10.89	4.23
Febrero	5.89	10.45	3.82	Febrero	6.12	11.23	4.56	Febrero	7.23	12.34	5.78
Marzo	5.21	8.34	3.56	Marzo	4.78	7.89	3.89	Marzo	5.89	9.12	4.56
Abril	2.56	4.82	3.24	Abril	2.34	5.12	2.67	Abril	3.12	6.45	3.34
Mayo	0.38	0.62	0.42	Mayo	0.67	1.23	0.78	Mayo	1.23	2.34	1.56
Junio	0.54	1.12	0.51	Junio	0.89	1.56	0.92	Junio	1.45	2.67	1.78
Julio	0.32	0.48	0.18	Julio	0.45	0.78	0.34	Julio	0.78	1.45	0.89
Agosto	0.45	0.89	0.33	Agosto	0.56	1.12	0.45	Agosto	0.89	1.78	0.67
Septiembre	1.02	2.15	1.08	Septiembre	1.23	2.67	1.34	Septiembre	1.56	3.12	1.89
Octubre	2.87	4.32	2.45	Octubre	3.12	5.45	3.01	Octubre	3.45	6.78	3.67
Noviembre	3.94	6.78	4.12	Noviembre	4.56	7.89	4.78	Noviembre	5.12	8.9	5.34
Diciembre	6.23	9.45	5.67	Diciembre	7.01	10.12	6.45	Diciembre	8.34	11.23	7.12
Media Anual	2.89	5.12	2.67	Media Anual	3.12	5.67	3.01	Media Anual	3.89	6.45	3.78

ANEXO 4.7

1999				2000				2001			
Mes	Jacas Chico (mm)	Huánuco (mm)	San Rafael (mm)	Mes	Jacas Chico (mm)	Huánuco (mm)	San Rafael (mm)	Mes	Jacas Chico (mm)	Huánuco (mm)	San Rafael (mm)
Enero	6.25	9.93	4.12	Enero	3.38	8.37	4.12	Enero	5.37	7.94	4.83
Febrero	5.19	11.54	5.18	Febrero	4.1	8.05	3.54	Febrero	5.42	8.65	5.12
Marzo	4.45	6.38	3.11	Marzo	5.1	8.63	5.24	Marzo	5.04	7.42	4.79
Abril	2.27	2.9	1.47	Abril	2.82	4.35	2.58	Abril	3.82	4.53	3.69
Mayo	1.27	1.38	0.82	Mayo	1.38	1.34	1.02	Mayo	2.35	2.35	2.33
Junio	0.91	1.19	0.78	Junio	0.52	0.95	0.88	Junio	0.7	1.12	1.1
Julio	0.38	0.31	0.41	Julio	0.38	0.52	0.56	Julio	0.63	1.03	1.2
Agosto	0.47	0.86	1.1	Agosto	0.42	0.9	1.15	Agosto	0.52	1.07	0.95
Septiembre	5.22	3.06	3.03	Septiembre	1.77	1.52	2.12	Septiembre	1.12	1.46	1.56
Octubre	4.06	2.76	2.05	Octubre	2.07	1.62	1.89	Octubre	1.92	2.03	2.49
Noviembre	5.24	3.16	4.22	Noviembre	2.31	1.42	2.07	Noviembre	4.13	2.87	3.41
Diciembre	5.72	5.71	5.01	Diciembre	4.14	5.03	5.13	Diciembre	4.44	4.63	4.71
Media Anual	3.37	4.03	2.72	Media Anual	2.33	3.29	2.48	Media Anual	2.87	3.71	3.12

ANEXO 4.8

2002				2003				2004			
Mes	Jacas Chico (mm)	Huánuco (mm)	San Rafael (mm)	Mes	Jacas Chico (mm)	Huánuco (mm)	San Rafael (mm)	Mes	Jacas Chico (mm)	Huánuco (mm)	San Rafael (mm)
Enero	3.58	5.66	1.48	Enero	4.12	7.61	2.47	Enero	3.18	6.2	2.53
Febrero	5.47	8.74	3.14	Febrero	5.18	8.77	3.06	Febrero	4.65	8.32	3.85
Marzo	5.4	7.27	4.52	Marzo	5.46	7.9	4.06	Marzo	4.89	6.85	2.62
Abril	3.63	4.41	1.85	Abril	4.11	5.44	3.16	Abril	2.47	3.54	2.08
Mayo	0.91	1.13	1.17	Mayo	1.51	1.72	1.31	Mayo	1.32	1.24	1.02
Junio	0.41	0.83	0.48	Junio	0.39	0.74	0.54	Junio	0.39	0.61	0.47
Julio	0.73	0.68	0.77	Julio	0.45	0.41	0.3	Julio	0.56	0.49	0.35
Agosto	0.46	0.72	0.56	Agosto	0.22	0.53	0.35	Agosto	0.31	0.6	0.35
Septiembre	2.42	1.86	1.72	Septiembre	2.08	1.72	2.22	Septiembre	2.23	2.04	2.33
Octubre	2.65	2.24	2.6	Octubre	2.06	1.7	1.85	Octubre	3.16	2.42	2.56
Noviembre	3.9	2.69	3.21	Noviembre	3.55	2.31	3.12	Noviembre	3.88	2.62	3.05
Diciembre	3.84	4.63	4.19	Diciembre	4.59	4.96	4.25	Diciembre	4.63	5.43	4.84
Media Anual	2.82	3.65	2.31	Media Anual	2.68	3.64	2.43	Media Anual	2.5	3.35	2.3

ANEXO 4.8

2005				2006				2007			
Mes	Jacas Chico (mm)	Huánuco (mm)	San Rafael (mm)	Mes	Jacas Chico (mm)	Huánuco (mm)	San Rafael (mm)	Mes	Jacas Chico (mm)	Huánuco (mm)	San Rafael (mm)
Ene	3.63	6.4	2.2	Ene	4.52	6.11	3.18	Ene	3.48	5.46	3.64
Feb	3.46	7.29	2.1	Feb	4.94	7.73	2.09	Feb	3.19	3.72	1.16
Mar	3.31	6.39	3.13	Mar	4.41	7.71	3.6	Mar	4.14	6.09	4.12
Abr	2.13	3.45	1.32	Abr	3.57	5.38	1.88	Abr	2.94	3.82	1.89
May	0.15	0.35	0.09	May	0.47	0.47	0.06	May	0.41	0.36	0.57
Jun	0.05	0.39	0.01	Jun	0.19	0.81	0.47	Jun	0.09	0.22	0.05
Jul	0.06	0.09	0	Jul	0.15	0.27	0.1	Jul	0.25	0.33	0.76
Ago	1.25	2.68	1.55	Ago	0.38	0.88	0.4	Ago	0.33	0.64	0.38
Sep	1.38	3.86	3.11	Sep	1.25	1.52	1.59	Sep	0.38	1.16	0.71
Oct	1.49	0.88	0.3	Oct	1.47	1.52	1.92	Oct	2.06	1.61	1.9
Nov	0.09	0.12	0.34	Nov	2.45	2.11	3.04	Nov	2.03	1.45	2.02
Dic	0.08	0.34	0.28	Dic	3.16	5.03	4.24	Dic	2.58	3.07	3.4
Media Anual	1.35	2.58	1.08	Media Anual	2.07	3.2	1.83	Media Anual	1.75	2.32	1.72

ANEXO 4.9

2008				2009				2010			
Mes	Jacas Chico (mm)	Huánuco (mm)	San Rafael (mm)	Mes	Jacas Chico (mm)	Huánuco (mm)	San Rafael (mm)	Mes	Jacas Chico (mm)	Huánuco (mm)	San Rafael (mm)
Ene	5.14	10.29	3.55	Ene	5.32	10.45	5.12	Ene	3.21	6.78	3.45
Feb	5.07	9.47	4.12	Feb	5.67	10.23	3.89	Feb	5.14	9.12	4.67
Mar	2.91	5.19	2.41	Mar	4.12	7.15	3.77	Mar	4.89	7.45	3.92
Abr	3.42	5.38	1.68	Abr	3.08	4.82	1.92	Abr	3.67	5.23	2.01
May	0.38	0.56	0.53	May	0.62	0.63	0.37	May	0.75	0.89	0.52
Jun	0.22	0.71	0.35	Jun	0.28	0.58	0.34	Jun	0.31	0.65	0.38
Jul	0.31	0.4	0.32	Jul	0.41	0.45	0.42	Jul	0.28	0.42	0.29
Ago	0.37	0.81	0.62	Ago	0.39	0.78	0.51	Ago	0.35	0.71	0.47
Sep	1.4	1.6	1.17	Sep	1.89	1.92	1.45	Sep	1.52	1.78	1.32
Oct	1.98	2.23	1.86	Oct	2.12	2.34	2.01	Oct	2.34	2.56	2.21
Nov	1.75	2.43	2.21	Nov	2.45	2.67	2.38	Nov	2.78	2.91	2.64
Dic	4.12	5.92	4.11	Dic	4.56	6.21	4.78	Dic	4.89	6.45	4.92
Media Anual	2.29	3.78	1.97	Media Anual	2.42	3.98	2.25	Media Anual	2.43	3.94	2.31

ANEXO 4.10

2011				2012				2013			
Mes	Jacas Chico (mm)	Huánuco (mm)	San Rafael (mm)	Mes	Jacas Chico (mm)	Huánuco (mm)	San Rafael (mm)	Mes	Jacas Chico (mm)	Huánuco (mm)	San Rafael (mm)
Ene	4.52	10.61	3.68	Ene	4.37	6.06	3.47	Ene	5.02	6.14	3.57
Feb	4.83	8.37	3.4	Feb	6.83	12.1	5.36	Feb	7.97	13.77	6.47
Mar	4.69	6.92	3.14	Mar	5.08	7.11	4.06	Mar	6.94	10.05	5.19
Abr	3.6	5.02	2.03	Abr	5.92	7.25	3.53	Abr	5.04	5.33	2.72
May	1.15	1.56	0.83	May	0.41	0.81	0.19	May	1.48	1.02	0.96
Jun	0.19	0.64	0.1	Jun	0.35	1.1	0.43	Jun	1.11	1.52	0.6
Jul	0.2	0.38	0.24	Jul	0.26	0.59	0.24	Jul	0.54	0.58	0.43
Ago	0.21	0.41	0.43	Ago	0.15	0.59	0.39	Ago	0.56	0.88	0.77
Sep	2.06	2.33	1.21	Sep	1.83	2.48	1.29	Sep	1.45	1.39	1.67
Oct	3.8	2.73	4.16	Oct	3.43	2.28	2.42	Oct	4.95	2.89	3.07
Nov	3.52	3.93	2.48	Nov	4.47	3.4	3.12	Nov	4.35	2.47	3.07
Dic	5.7	7.61	5.94	Dic	5.06	5.94	5.17	Dic	3.42	4.5	3.33
Media Anual	2.81	4.35	2.42	Media Anual	3.02	4.3	2.5	Media Anual	3.45	4.5	2.88

ANEXO 4.11

2014				2015				2016			
Mes	Jacas Chico (mm)	Huánuco (mm)	San Rafael (mm)	Mes	Jacas Chico (mm)	Huánuco (mm)	San Rafael (mm)	Mes	Jacas Chico (mm)	Huánuco (mm)	San Rafael (mm)
Ene	4.48	10.45	4.03	Ene	5.12	7.81	3.45	Ene	5.02	6.14	3.57
Feb	5.45	9.84	4.45	Feb	7.21	12.31	5.67	Feb	7.97	13.77	6.47
Mar	5.29	8.7	3.58	Mar	6.94	10.05	4.19	Mar	6.94	10.05	5.19
Abr	4.11	5.22	2.06	Abr	4.04	5.33	2.72	Abr	5.04	5.33	2.72
May	3.03	1.81	1.59	May	1.48	1.02	0.96	May	1.48	1.02	0.96
Jun	0.13	0.52	0.36	Jun	0.35	0.59	0.24	Jun	1.11	1.52	0.6
Jul	0.19	0.44	0.38	Jul	0.26	0.59	0.24	Jul	0.54	0.58	0.43
Ago	0.33	0.69	0.5	Ago	0.15	0.59	0.39	Ago	0.56	0.88	0.77
Sep	2.59	2.42	0.89	Sep	1.83	2.48	1.29	Sep	1.45	1.39	1.67
Oct	3.85	2.37	2.21	Oct	3.43	2.28	2.42	Oct	4.95	2.89	3.07
Nov	3.61	2.62	2.5	Nov	4.47	3.4	3.12	Nov	4.35	2.47	3.07
Dic	5.22	4.93	3.68	Dic	5.06	5.94	5.17	Dic	3.42	4.5	3.33
Media Anual	3.11	4.11	2.33	Media Anual	3.02	4.3	2.5	Media Anual	3.45	4.5	2.88

DATOS DE MICROCUENCA

Datos de la Microcuenca		
Geometría		
Area	Km²	706.57
Perímetro	km	194.04
Ancho	km	38.22
Largo	km	38.26
Valores de las Cotas		
Cota mínima	msnm	1918
Cota Máxima	msnm	4527
Coordenadas		
Centroide X	m	343469.29
Centroide Y	m	8896731.19
Centroide Z	msnm	3652.23
Altitudes de la cuenca		
Altitud Media	msnm	3652.23
Altitud mas frecuente	msnm	4413.5
Altitud de frecuencia (1/2)	msnm	3544.19
Pendiente de la cuenca		
Pendiente de la cuenca	%	13.87
Hidrografía		
Longitud del Cauce Principal	km	47.89
Longitud de la red Hidrica	km	481.89
pendiente promedio de la red hidrica	%	14.21

Parámetros Geomorfológicos de la Microcuenca			
Nombre del Parámetro	Símbolo	Valor	Unidad
Factor Forma	F	1.00	S/N
Índice de Gravelious (Compacidad)	K	2.04	S/N
Rectángulo Equivalente (Lado Mayor)	L	89.09	km
Rectángulo Equivalente (Lado Menor)	l	7.93	km
Densidad de Drenaje	Dd	0.68	u/km²
Índice de pendiente	Ip	0.31	S/N

Min	Max	Promedio	Áreas (Km²)	Área Acumulada	Área Sobre la Curva	Áreas en %	Área Sobre la Curva (%)
1918	2200	2059	29.47	29.47	677.10	4.17	95.83
2200	2500	2350	43.58	73.06	633.51	6.17	89.66
2500	2800	2650	54.63	127.69	578.88	7.73	81.93
2800	3100	2950	63.58	191.27	515.30	9.00	72.93
3100	3400	3250	70.07	261.34	352.23	9.92	63.01
3400	3700	3550	93.00	354.34	352.23	13.16	49.85
3700	4000	3850	122.60	476.94	229.63	17.35	32.50
4000	4300	4150	131.27	608.21	98.36	18.58	13.92
4300	4527	4413.5	98.36	706.57	0.00	13.92	0.00
			706.5677			100	
						100.00	

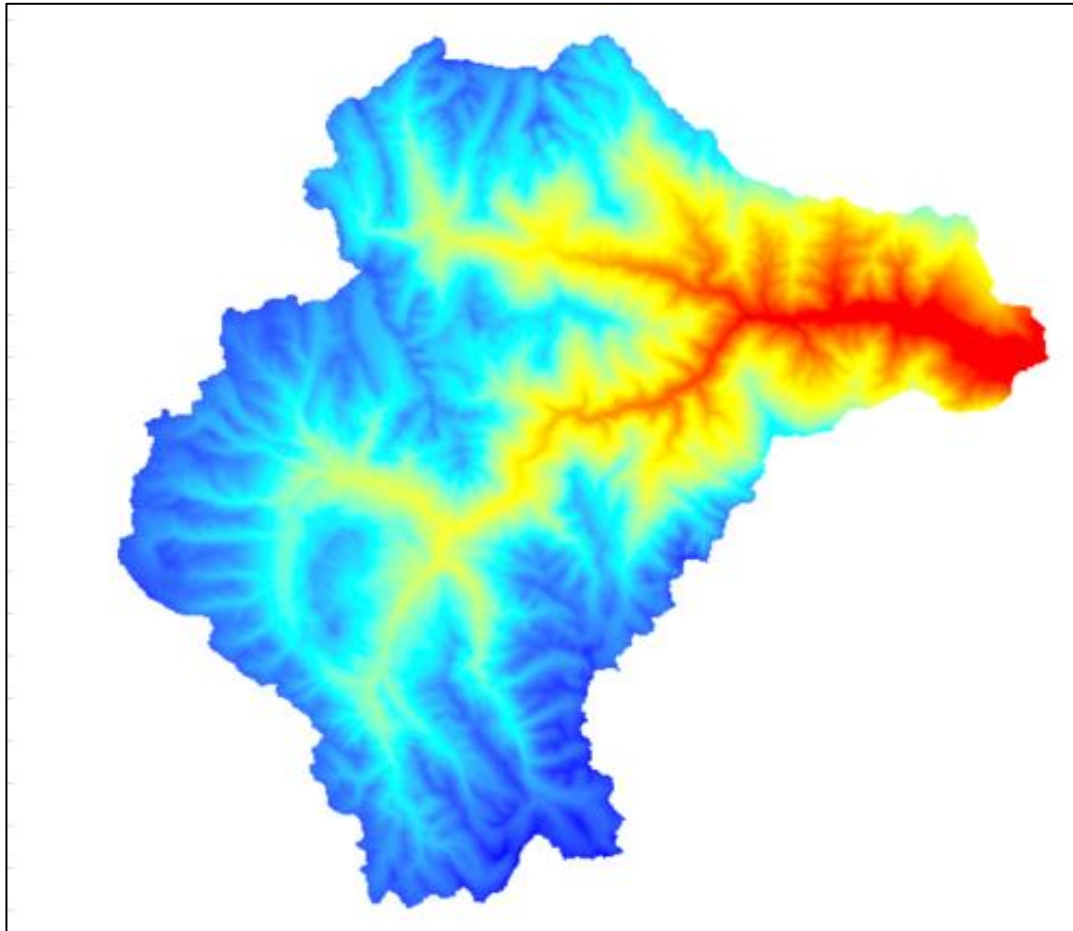
Nota. La tabla presenta los principales parámetros geomorfológicos e hidrológicos de la microcuenca incluyendo características de geometría, altitud, pendiente, drenaje y análisis hipsométrico del área de estudio

PENDIENTE DE LA CUENCA							
Pendientes		Promedio (A)	Ocurrencia (B)	A * B	Pendiente promedio de la cuenca		
Min	Max						
0	10	5	241777	1208885			
10	20	15	402215	6033225			
20	30	25	122411	3060275			
30	40	35	11931	417585			
40	50	45	1674	75330			
50	60	55	385	21175			
60	70	65	121	7865			
70	80	75	33	2475			
80	90	85	16	1360			
90	100	95	6	570			
Total			780569	10828745	13.87		
Pendiente promedio de la Cuenca			13.87				

Nota. La tabla presenta el valor promedio de la cuenca.

ANEXO 6

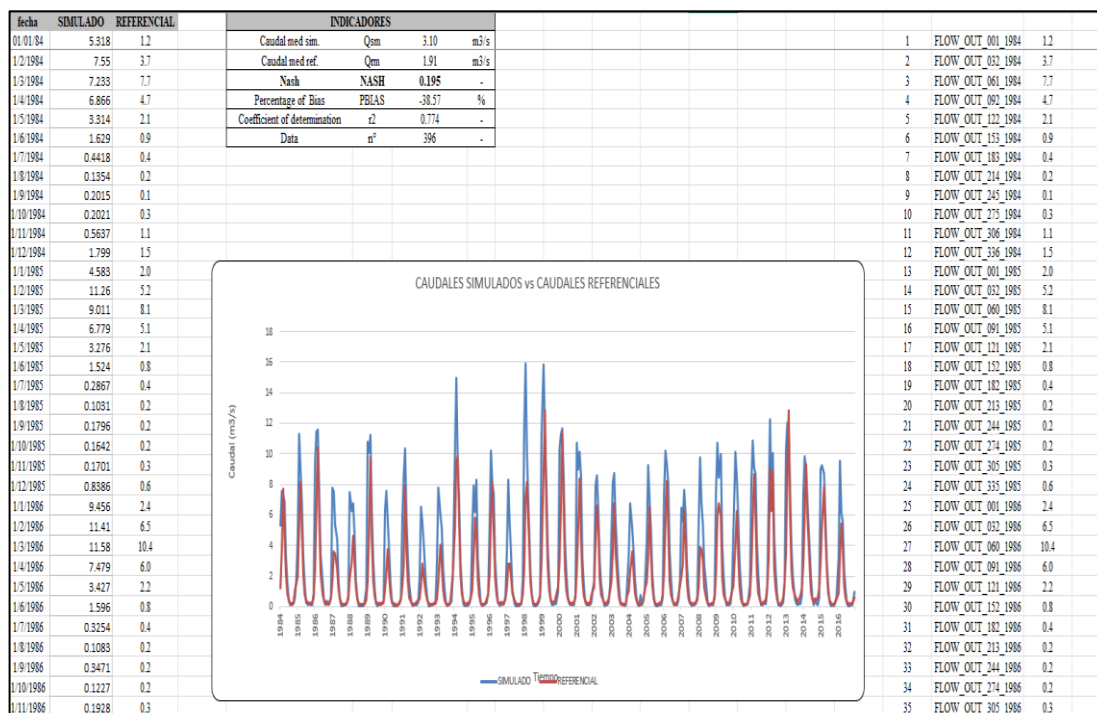
**MODELO DIGITAL DE ELEVACIÓN (MDE) DE LA CUENCA
DEL RÍO HIGUERAS UTILIZADO EN EL MODELAMIENTO
HIDROLÓGICO MEDIANTE SWAT.**



Nota. La figura muestra la variación altitudinal de la cuenca del río Higuera, donde los colores azules representan zonas de menor altitud y los colores amarillos a rojos indican áreas de mayor elevación. Este modelo digital de elevación fue utilizado como base para la delimitación de la cuenca y el análisis hidrológico en el modelo SWAT.

ANEXO 7

COMPARACIÓN ENTRE CAUDALES SIMULADOS Y CAUDALES REFERENCIALES EN LA CUENCA DEL RÍO HIGUERAS MEDIANTE MODELAMIENTO HIDROLÓGICO

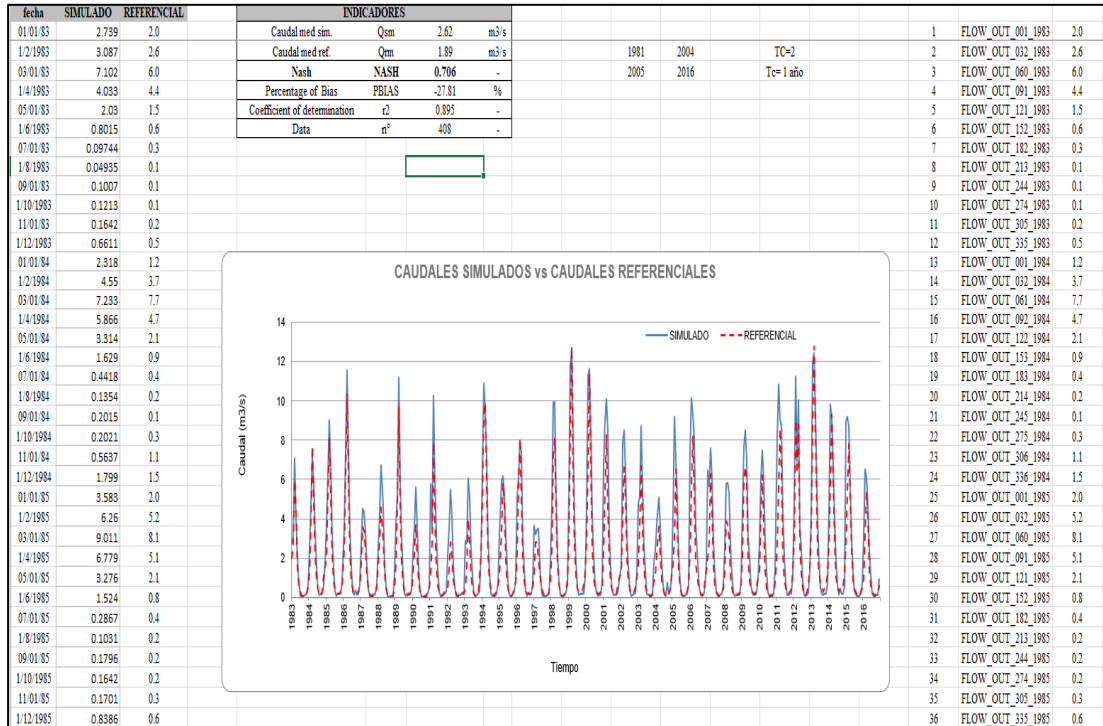


Nota. La figura muestra la comparación temporal entre los caudales simulados y los caudales referenciales de la cuenca del río Higuera para el periodo analizado. Los resultados del modelo hidrológico SWAT presentan un coeficiente de eficiencia de Nash-Sutcliffe (NSE) de 0.195, un coeficiente de determinación (R^2) de 0.774 y un sesgo porcentual (PBIAS) de -38.57%, con un total de 396 registros evaluados

Fuente: Elaboración propia a partir del modelamiento hidrológico realizado con el modelo SWAT (2025)

ANEXO 8

COMPARACIÓN DE CAUDALES SIMULADOS Y CAUDALES REFERENCIALES EN LA CUENCA DEL RÍO HIGUERAS DURANTE EL PERIODO 1983–2016

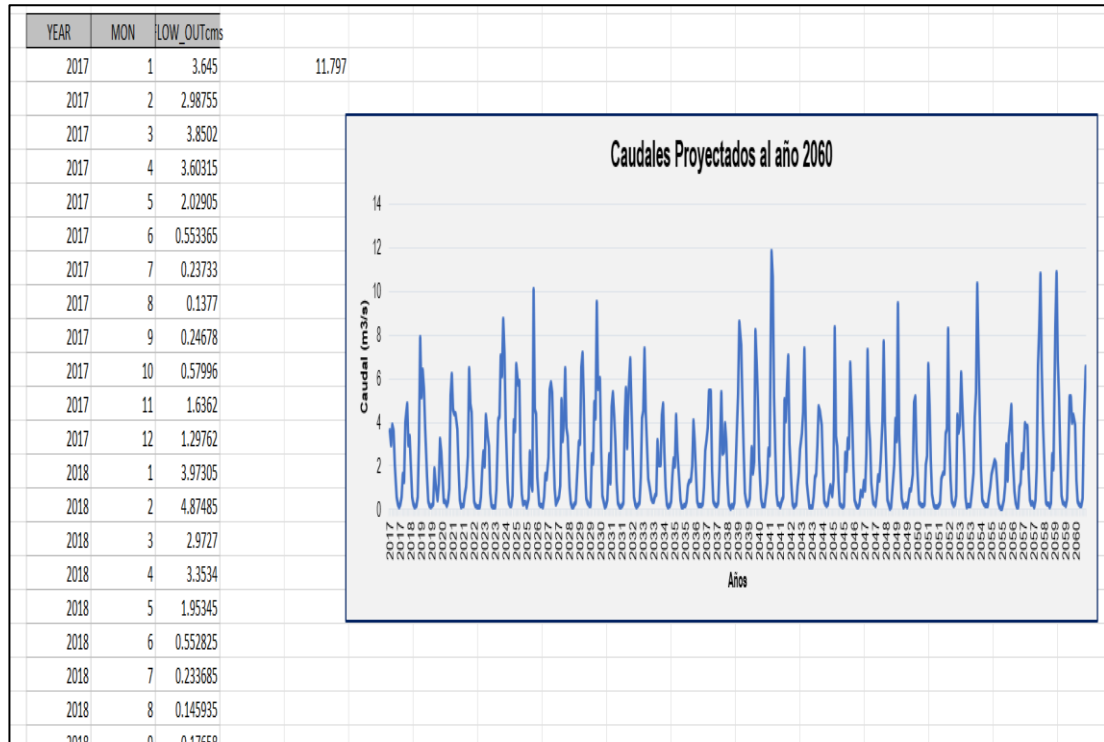


Nota. La figura muestra la comparación entre los caudales simulados mediante el modelo SWAT y los caudales referenciales observados. Los indicadores estadísticos obtenidos fueron NSE = 0.706, $R^2 = 0.895$ y PBIAS = -27.81%, evidenciando un adecuado ajuste del modelo en la simulación de los caudales de la cuenca

Fuente: Elaboración propia a partir del modelamiento hidrológico realizado con el modelo SWAT (2025).

ANEXO 9

PROYECCIÓN MENSUAL DE CAUDALES (M³/S) DESDE 2017 HASTA 2060



Fuente. Elaboración propia con base en datos históricos de caudal

PANEL FOTOGRAFICO
ANEXO 10
RECONOCIMIENTO DE LUGAR



Nota. Reconocimiento de la zona de estudio, cerca la estación meteorológica más cercana del río higuera

VISITA AL SENAMHI



Nota. Visita rutinaria al Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú SENAMHI

ENTREVISTA CON LA FUNCIONARIA DEL SENAMHI



Nota. la imagen muestra la entrega de datos cuantitativos para los análisis estadísticos

ANEXO 6

HERRAMIENTAS DE GESTIÓN ADMINISTRATIVA

PROCEDIMIENTOS PARA OTORGAR INFORMACIÓN HIDROMETEOROLÓGICA EN EL SENAMHI A
ESTUDIANTES, TESISISTAS, MAESTRISTAS, DOCTORADO E INVESTIGADORES

**ANEXO 01: FORMATO DE SOLICITUD ESTUDIANTES/TECISTAS - SEDE
CENTRAL**

Señor(a)
**SECRETARIO (A) GENERAL DEL SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGÍA E
HIDROLOGÍA DEL PERÚ - SENAMHI**
Presente -

.....
(Nombres y Apellidos)

.....
(Dirección)

con N° DNI:..... Telf.:..... Email:.....

Universidad/ Instituto:
.....

Carrera/
Profesión:.....

Ante usted me presento y expongo;

Que, (detallar el estudio o proyecto que están realizando y el motivo de
solicitud de los datos)

.....
.....
.....

 Solicito la siguiente información:

ESTACIÓN/ZONA	PARÁMETROS	PERÍODOS



La información solicitada deberá ser remitida al correo
electrónico:.....

Por lo expuesto, agradeceré a usted atender lo solicitado.

..... de del 201.....

.....
Firma del Usuario

Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú - SENAMHI

6

**ANEXO 02: FORMATO DE SOLICITUD ESTUDIANTES/TESISTAS - DIRECCIÓN
ZONAL**

Señor(a)
**DIRECTOR (A) ZONAL DEL SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGÍA E
HIDROLOGÍA DEL PERÚ - SENAMHI**
Presente.-

.....
(Nombres y Apellidos)

.....
(Dirección)

con DNI N° Telf : Email.....

Universidad/ Instituto:
.....

Carrera/

Profesión:.....

Ante usted me presento y expongo;

Que, (detallar el estudio o proyecto que están realizando y el motivo de
solicitud de los datos)



Solicito la siguiente información:



ESTACIÓN/ZONA	PARÁMETROS	PERÍODOS

La información solicitada deberá ser remitida al correo
electrónico:.....

Por lo expuesto, agradeceré a usted atender lo solicitado.

..... dedel 201.....

.....
Firma del Usuario

ANEXO 03: FORMATO DE DECLARACIÓN JURADA

DECLARACIÓN JURADA

Yo, identificado (a) con
DNI N° con domicilio en en el Distrito
de Provincia de Departamento

DECLARO BAJO JURAMENTO, QUE

La información hidrometeorológica proporcionada por SENAMHI, será de uso
exclusivo de mi trabajo/proyecto/tesis titulado (a) ".....
....." de la Universidad/Instituto.....

..... de del 201.....



.....
Firma del Usuario

ANEXO 04: FORMATO DE CARTA DE COMPROMISO

CARTA DE COMPROMISO

Yo.....
identificado (a) con DNI N°....., alumno de la
Carrera me comprometo a cumplir con
lo siguiente:

Entrega de un (01) ejemplar de mi trabajo de Tesis a la Biblioteca del Servicio
Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú - SENAMHI, al término y debida
sustentación del mismo.

..... dedel 201.....



.....
Firma del Usuario

ANEXO 7

DATOS CLIMÁTICOS PISCO DEL SENAMHI

Fuente: <https://pisco.senamhi.gob.pe/>

Acceso: Sección “Datos PISCO”

Fecha	JACAS CHICO	HUANU CO	SAN RAFAE L						
	Precipit ación	Temper atura Max	Temper atura Min	Precipit aciones	Temper atura Max	Temper atura Min	Precipit aciones	Temper atura Max	Temper atura Min
01/01/2 000	2.033	18.183	7.382	5.484	27.699	14.645	7.859	18.886	7.245
02/01/2 000	15.038	17.753	7.651	13.804	23.669	14.744	0.007	17.317	7.71
01/02/2 000	9.473	17.138	8.045	28.399	24.095	14.969	1.218	16.208	8.152
02/02/2 000	0.123	18.304	7.89	0.389	25.889	14.376	0.036	18.768	7.821
01/03/2 000	0.205	17.995	7.862	0	25.158	14.864	0.209	18.2	8.047
02/03/2 000	5.07	18.293	7.989	9.323	25.498	15.061	0.069	18.419	7.995
01/04/2 000	0.055	18.02	6.811	2.117	23.786	14.417	0.013	18.257	7.443
02/04/2 000	0	18.123	7.362	0.423	24.442	14.504	0.006	17.367	7.668
01/05/2 000	0	19.53	6.015	0	27.977	13.835	0.002	21.087	7.087
02/05/2 000	1.022	19.903	5.43	0.285	27.639	13.567	2.085	20.882	6.616
01/06/2 000	3.872	17.474	4.946	1.947	25.602	11.848	0.011	19.236	6.211
02/06/2 000	0.095	18.383	5.194	0.895	25.738	12.814	0.018	20.663	6.393
01/07/2 000	0.009	21.912	1.61	0.08	27.179	10.609	0.001	21.647	2.739
02/07/2 000	0.009	20.893	2.153	0.906	26.456	10.735	0.001	21.392	2.79
01/08/2 000	0.04	19.645	1.115	0.236	25.768	10.181	0.013	21.351	2.247
02/08/2 000	0.046	19.982	0.655	0.221	25.372	10.683	0.006	21.174	2.024
01/09/2 000	0	22.324	4.637	0	28.138	12.543	0	22.549	5.032
02/09/2 000	1.134	20.425	3.409	0.352	28.514	12.513	4.317	22.897	4.403
01/10/2	0	21.982	5.389	0	28.097	11.925	0	21.87	5.133

000									
02/10/2 000	0.009	21.949	5.374	0.053	27.82	12.155	0.004	21.516	4.248
01/11/2 000	0.816	21.554	5.863	1.063	28.309	14.417	4.987	21.676	6.694
02/11/2 000	0	21.849	5.142	0	28.721	13.494	4.51	22.163	5.885
01/12/2 000	0.293	19.263	8.538	0.445	25.452	14.332	6.307	19.268	8.4
02/12/2 000	2.109	19.003	8.201	3.352	25.774	14.042	0.036	19.518	7.962
01/01/2 001	0.025	18.148	7.898	1.13	25.391	14.536	2.344	18.774	7.824
02/01/2 001	0	18.584	8.051	0.025	24.859	14.775	0.02	17.883	8.027
01/02/2 001	16.787	17.334	8.577	39.233	23.629	14.909	17.519	17.861	8.254
02/02/2 001	0.317	16.963	8.391	1.317	25.713	14.887	11.009	17.76	8.066
01/03/2 001	0.223	17.957	6.82	1.075	23.832	15.001	2.109	16.879	7.265
02/03/2 001	0	17.965	7.806	3.249	23.41	15.3	0	16.742	7.646
01/04/2 001	0.003	19.691	6.546	0.092	27.729	14.445	0.084	20.215	7.094
02/04/2 001	0.681	19.333	6.714	5.566	26.254	14.64	1.948	19.493	7.029
01/05/2 001	0.028	21.168	6.305	0.351	27.573	14.084	0	21.691	7.432
02/05/2 001	0.069	21.865	6.251	0.451	28.765	14.584	0.033	21.447	7.919
01/06/2 001	0.037	20.049	5.141	0.202	26.154	11.886	0.009	20.352	6.307
02/06/2 001	0.012	17.865	4.427	0.155	25.748	12.109	0.004	19.144	6.914
01/07/2 001	0.004	21.66	2.246	0.016	26.419	10.585	0.001	21.189	3.104
02/07/2 001	0.007	22.109	2.851	0.022	26.959	10.36	0.001	21.142	3.493
01/08/2 001	0	21.144	0.297	0.001	26.356	9.238	0	21.401	1.363
02/08/2 001	0	21.127	-0.095	0.001	26.219	9.221	0	21.344	1.188
01/09/2 001	0.037	21.52	4.308	0.492	26.832	12.605	0.02	21.307	5.062
02/09/2 001	0.076	21.584	4.366	1.044	26.433	12.151	0.019	20.918	4.985
01/10/2 001	0	22.302	5.715	0	28.492	12.249	0	22.996	6.013

02/10/2 001	0.032	22.623	6.316	0.199	28.234	12.622	0.075	21.32	6.525
01/11/2 001	13.29	16.974	7.249	3.897	22.314	14.498	2.813	17.19	7.945
02/11/2 001	0.484	19.922	5.799	0.102	25.839	13.522	0.051	19.685	6.766
01/12/2 001	7.088	18.316	7.295	11.49	24.893	13.682	0.033	17.915	8.117
02/12/2 001	0	18.122	6.881	1.511	24.063	14.191	0	18.551	7.54
01/01/2 002	0.889	18.616	6.929	1.753	27.121	14.858	0.001	19.032	6.635
02/01/2 002	6.875	19.44	6.387	9.235	27.066	14.779	0.085	19.673	6.259
01/02/2 002	0.145	20.208	9.178	1.582	26.464	15.206	0.803	19.324	8.841
02/02/2 002	0	19.996	9.448	1.593	26.094	15.453	2.736	18.85	9.116
01/03/2 002	18.306	16.835	8.563	18.92	22.475	15.868	4.078	15.557	8.811
02/03/2 002	1.097	18.13	8.669	0.308	24.802	15.579	9.194	16.116	8.566
01/04/2 002	13.954	20.338	8.632	12.663	26.184	16.132	2.434	18.654	8.704
02/04/2 002	3.961	19.47	8.084	10.582	25.8	15.467	0.014	18.844	8.315
01/05/2 002	0	18.872	5.799	0	22.112	13.722	0	18.322	6.365
02/05/2 002	0	20.69	6.541	0	26.332	13.676	0	20.427	7.277
01/06/2 002	0.056	18.673	6.793	0.82	24.577	14.162	0.003	18.616	8.614
02/06/2 002	0.014	20.921	5.312	0.319	27.446	11.819	0.005	21.67	6.854
01/07/2 002	0.934	21.215	4.799	0.663	23.787	12.419	0.044	19.224	6.067
02/07/2 002	0.062	20.253	5.191	0.829	25.296	12.445	0.001	19.68	6.353
01/08/2 002	0.079	20.716	3.148	0.091	25.435	10.796	0.006	20.319	3.927
02/08/2 002	0.267	20.198	3.081	0.658	23.42	10.528	1.208	19.318	4.622
01/09/2 002	0.029	19.632	4.193	1.221	24.438	14.297	2.291	18.996	5.796
02/09/2 002	0.072	19.151	4.069	0.931	23.076	14.267	0.036	18.454	6.218
01/10/2 002	0	20.6	7.119	0	27.48	13.917	0.007	20.342	7.669
02/10/2	0.001	22.389	7.065	0.126	27.087	13.755	0.003	20.812	7.472

002									
01/11/2 002	2.577	17.818	7.286	3.485	24.355	14.692	3.276	17.94	8.163
02/11/2 002	0.062	19.543	6.77	2.668	24.786	14.686	5.174	18.865	7.936
01/12/2 002	0.127	19.706	9.488	0.524	25.86	15.36	0.017	18.479	9.333
02/12/2 002	0.777	19.93	9.363	0.329	25.212	15.364	0.038	18.629	9.525
01/01/2 003	0	20.326	8.346	11.294	25.752	14.849	0.176	19.11	8.321
02/01/2 003	0	21.317	7.892	0	26.695	14.531	0	20.603	7.805
01/02/2 003	0.264	19.38	8.843	0.987	26.801	15.405	0.1	18.188	8.486
02/02/2 003	0.282	18.748	8.842	2.388	26.807	15.645	0.018	19.376	8.712
01/03/2 003	0.205	19.411	7.925	1.473	25.545	15.231	3.982	18.592	8.564
02/03/2 003	0	18.867	8.482	12.435	25.508	15.325	0.299	18.588	8.619
01/04/2 003	0	19.303	8.102	12.852	27.623	16.125	10.154	19.37	8.916
02/04/2 003	28.072	20.045	8.438	18.133	25.592	15.977	0.032	18.659	9.354
01/05/2 003	0.026	21.268	6.14	1.019	26.468	14.658	1.221	20.421	7.623
02/05/2 003	0	20.916	6.276	0	27.172	14.221	0	20.589	7.56
01/06/2 003	0.031	19.829	5.983	0.813	27.332	12.722	0.003	20.827	7.619
02/06/2 003	0.003	20.373	5.23	0	27.839	11.992	0.001	21.616	5.953
01/07/2 003	0.201	20.672	3.005	0.29	26.924	11.608	0.003	20.587	4.989
02/07/2 003	0.144	18.686	3.131	0.599	25.117	10.968	0.002	19.252	4.352
01/08/2 003	0.013	21.205	2.916	0.904	26.121	12.003	0.006	21.275	4.065
02/08/2 003	0.001	19.223	3.422	0.073	26.432	12.507	0	20.529	4.782
01/09/2 003	0.014	22.104	3.493	0.111	27.044	11.483	0.006	21.217	3.915
02/09/2 003	0.001	21.419	3.578	0.035	26.766	11.451	0	20.81	4.154
01/10/2 003	1.597	22.026	6.687	0.167	27.616	13.434	0.023	21.204	6.832
02/10/2 003	0.034	21.857	6.513	0.215	28.152	13.591	0.017	21.044	6.392

01/11/2 003	0.075	20.965	4.076	0.435	25.068	14.204	3.882	19.936	4.158
02/11/2 003	0.127	19.704	4.883	0.927	24.761	14.336	0.027	19.374	5.272
01/12/2 003	0.136	17.816	8.223	0.861	24.31	14.933	0.003	19.425	8.353
02/12/2 003	4.772	18.651	8.846	0	27.118	15.483	3.94	18.955	8.898
01/01/2 004	0.231	19.725	9.139	1.161	25.679	15.024	0.042	19.637	9.067
02/01/2 004	0.374	20.702	8.855	1.303	26.676	15.379	0.042	20.176	8.391
01/02/2 004	0.042	20.234	8.077	1.741	27.313	14.554	0.008	19.327	7.756
02/02/2 004	5.571	19.606	8.438	27.23	26.976	15.542	15.418	19.446	8.649
01/03/2 004	0	19.855	7.677	0	27.753	14.314	0	20.048	7.971
02/03/2 004	2.666	21.878	6.903	0.065	28.058	14.124	0	21.264	6.533
01/04/2 004	0.388	19.911	7.1	2.287	27.152	15.446	1.185	19.806	8.29
02/04/2 004	0.121	20.608	7.308	0.693	27.584	15.045	0.025	20.467	7.734
01/05/2 004	0.06	21.455	6.106	0.565	28.928	13.797	0.015	21.992	7.142
02/05/2 004	0.018	21.192	7.104	0.112	28.109	14.675	0.008	20.779	7.848
01/06/2 004	0.028	20.781	3.653	0.051	26.416	10.52	0.002	21.367	4.108
02/06/2 004	0.038	20.859	3.692	0.065	25.959	10.449	0.003	20.093	4.201
01/07/2 004	1.058	19.491	4.278	0.409	23.592	11.503	0.037	18.531	5.296
02/07/2 004	0.681	17.767	4.46	1.107	25.939	12.633	0.009	18.388	6.048
01/08/2 004	0.003	20.315	3.298	0.084	24.421	10.589	0	21.082	3.743
02/08/2 004	0.001	21.388	1.563	0.008	25.724	10.187	0.001	21.646	2.956
01/09/2 004	0.041	23.101	4.381	0.478	28.15	10.257	0.011	21.96	3.436
02/09/2 004	0.028	22.433	5.484	0.366	25.918	13.141	0.81	19.794	4.847
01/10/2 004	0.054	20.214	7.007	0	25.549	14.278	2.928	19.188	7.398
02/10/2 004	0.155	20.203	7.085	0.926	26.065	13.982	0.054	19.607	7.235
01/11/2	12.463	20.141	8.455	3.303	26.02	15.183	1.912	19.885	9.039

004									
02/11/2 004	2.904	20.238	8.146	0.22	27.71	14.965	0.69	19.348	8.605
01/12/2 004	0.06	20.707	9.231	0.193	27.786	14.666	0.015	21.156	9.214
02/12/2 004	0.025	20.943	8.948	0.046	28.342	14.208	0	21.354	8.967
01/01/2 005	0.523	19.303	7.931	2.132	25.805	15.168	0.193	19.131	8.504
02/01/2 005	0	19.255	8.7	1.693	26.677	15.265	0.786	19.483	8.762
01/02/2 005	4.324	20.153	8.94	24.405	27.387	15.252	0.153	19.732	8.553
02/02/2 005	19.417	17.876	9.33	36.341	25.465	15.019	7.25	18.215	8.939
01/03/2 005	11.905	19.399	8.964	10.489	25.282	15.991	1.177	19.394	8.863
02/03/2 005	1.04	19.461	8.983	7.82	27.801	15.355	2.576	19.879	8.847
01/04/2 005	16.654	19.588	7.788	1.014	27.01	15.124	7.372	19.415	8.789
02/04/2 005	0.151	19.941	7.674	0.656	27.427	15.117	0.005	19.561	8.537
01/05/2 005	0.377	20.416	5.867	0.569	26.886	13.967	0.095	20.437	7.063
02/05/2 005	17.531	20.515	5.53	2.479	27.213	13.741	0.043	21.094	6.545
01/06/2 005	0.001	21.728	3.829	0.011	26.991	11.516	0	21.791	4.63
02/06/2 005	0.002	21.947	3.782	0.047	27.544	11.249	0	22.644	4.495
01/07/2 005	0.012	21.586	1.84	0.182	26.933	10.926	0.006	22.109	3.146
02/07/2 005	0.013	21.511	3.303	0.095	25.778	11.752	0.007	21.664	4.39
01/08/2 005	0.002	22.011	1.339	0.014	27.943	9.311	0	22.754	1.65
02/08/2 005	0	22.888	1.752	0	27.687	9.863	0	22.991	2.235
01/09/2 005	0.011	20.97	4.61	0.112	26.092	12.406	1.129	21.622	5.009
02/09/2 005	0.1	20.091	4.789	1.039	26.261	12.398	0.02	21.018	5.808
01/10/2 005	0.078	21.786	6.268	0.332	26.939	12.994	0.035	21.028	6.471
02/10/2 005	0.051	21.194	6.835	1.537	28.011	13.838	4.138	21.153	7.417
01/11/2 005	0.025	21.358	7.806	0.462	26.743	13.401	0	21.218	7.874

02/11/2 005	0	22.362	6.911	0	28.372	14.105	0	22.231	7.128
01/01/2 006	0.256	19.923	6.548	0	26.817	14.394	0	19.979	6.889
02/01/2 006	4.223	20.123	6.272	2.608	27.367	14.193	0.036	20.331	6.581
01/02/2 006	0.741	19.729	9.098	0.956	27.466	16.032	2.721	19.965	9.216
02/02/2 006	20.052	17.481	8.965	15.46	22.848	15.573	1.429	16.021	8.874
01/03/2 006	0.126	18.2	8.356	0.464	25.402	15.777	3.608	18.389	8.596
02/03/2 006	0.259	19.901	8.249	1.474	27.076	15.674	4.714	20.001	8.551
01/04/2 006	0.264	19.212	7.742	3.232	26.812	15.449	1.846	19.922	9.54
02/04/2 006	20.14	19.726	8.053	32.967	27.186	15.447	3.997	19.364	9.055
01/05/2 006	0.781	20.604	6.13	0.607	27.258	14.164	0.017	19.767	7.063
02/05/2 006	0.167	20.535	5.442	0.572	26.852	13.547	0.002	20.062	6.659
01/06/2 006	0.083	19.427	6.231	0.754	24.811	13.544	0.026	19.58	7.837
02/06/2 006	0.088	21.195	5.924	0.864	27.049	12.797	0.055	21.784	6.984
01/08/2 006	0.241	19.665	4.74	1.739	24.618	12.529	0.024	20.895	5.646
02/08/2 006	0.04	21.655	3.705	0.306	26.135	11.967	0.004	21.754	4.808
01/09/2 006	0.002	21.456	5.274	0	28.415	13.083	0	22.868	5.127
02/09/2 006	0.009	22.115	4.524	0.106	28.695	12.403	0.002	22.876	5.166
01/10/2 006	0.082	22.349	5.795	0.246	28.808	12.867	0.037	22.19	5.459
02/10/2 006	0.247	21.405	7.307	1.033	27.769	13.999	0.044	21.828	7.18
01/11/2 006	0.476	21.203	6.796	0.606	27.21	14.127	0.063	21.329	7.606
02/11/2 006	12.006	20.67	7.126	7.141	26.628	15.513	5.334	20.048	8.276
01/12/2 006	3.119	21.035	8.16	1.106	26.049	14.825	0.024	19.739	8.005
02/12/2 006	0.02	21.54	7.298	0.176	27.425	14.266	0.011	21.531	6.733
01/01/2 007	3.479	19.034	8.601	16.364	25.01	15.313	2.182	18.49	9.201
02/01/2	0.322	18.956	9.232	0.419	24.965	15.134	0.762	18.736	9.2

007									
01/02/2 007	0	19.642	9.098	1.618	26.535	15.403	0.886	20.135	8.72
02/02/2 007	21.637	18.969	9.136	19.202	23.115	15.289	1.078	18.994	8.543
01/03/2 007	0	19.283	8.183	0.072	25.996	15.317	1.806	19.157	8.222
02/03/2 007	0.081	19.034	8.806	0.243	25.909	15.655	0.022	19.427	8.706
01/04/2 007	10.193	19.571	8.305	22.875	25.07	15.493	2.073	18.247	8.739
02/04/2 007	4.323	20.944	7.787	2.412	26.807	15.296	1.351	19.751	8.362
01/05/2 007	0.023	20.499	4.892	0.034	28.032	13.5	0.007	21.024	6.34
02/05/2 007	0.004	20.263	4.906	0.005	28.803	14.118	0.002	20.367	5.372
01/06/2 007	0.015	20.341	4.369	0.044	26.987	11.973	0.002	20.062	5.663
02/06/2 007	0	20.184	4.048	0	26.6	11.104	0	20.424	5.113
01/07/2 007	0.001	21.492	1.449	0.001	25.972	10.147	0	21.152	2.533
02/07/2 007	0.005	21.406	1.388	0.003	25.786	9.486	0	21.362	1.652
01/08/2 007	0	21.448	1.221	3.119	25.836	9.451	0	21.512	1.784
02/08/2 007	0.004	20.93	1.629	0.014	25.501	10.154	0	21.29	2.274
01/09/2 007	0.004	21.002	3.99	0.02	25.419	11.799	0.001	19.615	4.883
02/09/2 007	0.015	22.192	3.251	0.176	27.317	11.972	0.003	21.321	3.09
01/10/2 007	0	22.528	5.462	0.001	25.715	10.825	0	21.084	5.55
02/10/2 007	0	23.378	5.007	0.004	27.798	11.258	0	22.419	4.226
01/11/2 007	1.342	20.922	6.656	0.009	27.541	13.878	0	20.627	7.135
02/11/2 007	0.101	21.59	5.249	0	28.165	14.409	0.094	22.259	5.865
01/12/2 007	0.357	21.028	6.864	0	28.479	14.467	17.46	20.811	7.8
02/12/2 007	0	20.109	5.461	1.153	26.602	14.249	0.008	20.805	6.462
01/01/2 008	3.777	18.88	8.016	0.727	26.545	13.914	1.214	18.923	7.897
02/01/2 008	8.854	18.761	7.746	3.986	26.339	14.113	2.174	19.201	8.12

01/02/2 008	0	18.252	6.494	4.334	27.811	15.016	0.011	20.145	5.989
02/02/2 008	4.333	16.653	5.213	12.114	27.204	14.737	3.702	20.403	5.643
01/03/2 008	0.15	18.576	7.295	0.091	26.746	14.317	7.788	18.77	7.38
02/03/2 008	0	16.723	6.541	4.438	23.588	14.219	4.188	16.868	6.798
01/04/2 008	7.346	17.625	6.953	10.223	25.695	14.765	0.023	19.341	7.485
02/04/2 008	8.934	16.825	6.885	8.784	26.335	13.701	1.287	18.133	7.497
01/05/2 008	0.374	18.563	5.216	0.779	26.661	13.422	0.075	20.169	5.629
02/05/2 008	0.022	17.569	5.004	0.864	27.465	13.422	0.003	19.403	6.136
01/06/2 008	0.007	19.823	5.255	0.161	26.449	12.203	0.307	18.978	6.466
02/06/2 008	0.005	20.154	4.696	0.049	26.82	11.98	0.002	19.472	5.778
01/07/2 008	0	20.492	1.034	0	27.038	9.313	0	21.579	2.371
02/07/2 008	0.002	21.247	1.022	0.025	26.855	8.886	0	21.578	1.885
01/08/2 008	0.002	20.273	2.085	0	25.965	11.772	0	21.821	2.972
02/08/2 008	0	21.329	2.49	0	27.077	11.369	0	22.516	2.988
01/09/2 008	0	23.049	2.566	0	28.472	11.416	0	22.689	2.625
02/09/2 008	0.001	23.183	2.677	0.005	28.546	10.984	0	22.847	1.968
01/10/2 008	0	20.916	7.025	0.01	28.192	14.314	0.011	21.465	7.643
02/10/2 008	2.347	21.296	6.13	0.028	29.394	13.723	4.262	22.615	7.041
01/11/2 008	0.001	20.701	6.359	0.092	27.791	14.448	0	20.901	7.417
02/11/2 008	19.825	17.832	7.071	6.072	25.91	15.193	0.024	18.705	8.51
01/12/2 008	0	18.14	8.382	5.135	26.865	15.309	1.204	18.509	8.922
02/12/2 008	13.727	18.111	8.658	4.831	26.285	15.382	6.026	17.375	9.039
01/01/2 009	10.731	19.262	8.218	21.386	26.037	14.746	13.022	18.762	8.248
02/01/2 009	3.227	17.569	8.389	18.812	22.934	15.2	1.1	17.665	8.696
01/02/2	10.081	18.315	8.017	18.785	26.156	14.339	1.744	18.152	7.697

009									
02/02/2009	2.038	18.889	8.321	21.528	26.655	14.924	18.217	20.061	8.424
01/03/2009	8.341	17.529	8.542	2.45	25.411	15.791	12.726	17.211	8.896
02/03/2009	5.85	18.008	7.95	7.79	26.296	15.941	25.935	18.272	8.45
01/04/2009	9.885	16.681	7.185	18.114	24.7	15.571	2.565	15.368	8.694
02/04/2009	0.118	19.7	5.857	1.02	27.387	13.937	0.048	19.483	7.885
01/05/2009	4.299	18.267	6.533	2.787	25.354	15.059	3.882	19.199	7.825
02/05/2009	0	19.043	5.736	0.265	27.624	14.648	0.009	19.614	7.649
01/06/2009	0.029	21.04	4.891	0.418	26.456	12.292	0.008	21.783	5.848
02/06/2009	0.111	20.871	5.222	0.755	25.434	12.338	0.036	20.889	5.944
01/07/2009	0.002	20.437	1.321	0.028	28.039	9.87	0	22.483	2.558
02/07/2009	0.019	21.492	1.701	0.116	26.914	10.149	0.011	22.675	3.75
01/08/2009	0.004	22.617	2.818	0.159	27.26	11.992	0.001	22.011	4.078
02/08/2009	0.003	21.933	3.763	0.595	24.273	11.884	0.235	22.247	4.524
01/09/2009	0.007	22.165	5.077	0.131	27.796	13.198	0.001	21.535	5.212
02/09/2009	0.088	21.881	5.859	1.017	26.139	14.283	0.018	21.118	6.962
03/09/2009	0.023	22.975	4.055	0.134	27.533	13.305	0.015	22.304	5.115
01/10/2009	0.023	22.714	7.215	0.12	26.915	14.416	0.003	22.126	7.602
02/10/2009	0.097	22.794	7.33	0.185	27.154	14.593	0.01	22.312	7.075
01/11/2009	0.052	19.075	6.729	0	27.505	15.157	0.002	20.827	7.383
02/11/2009	0	20.314	6.814	0.083	28.525	13.975	0.002	20.333	7.683
01/12/2009	3.092	20.087	9.884	6.512	26.269	16.499	5.933	18.571	10.153
02/12/2009	0	19.885	8.765	4.568	25.104	16.373	0.244	19.938	9.433
03/12/2009	5.857	19.39	9.848	1.09	25.432	16.059	4.638	19.072	9.94
01/01/2010	0	20.684	7.334	3.403	26.552	14.616	6.215	20.765	7.347

02/01/2 010	0.826	20.484	7.102	0	26.434	14.702	0.421	20.518	7.297
03/01/2 010	0.028	21.605	8.172	0.735	26.615	15.696	0.306	21.178	8.226
01/02/2 010	3.522	22.292	8.631	3.726	27.696	15.507	2.426	20.794	7.94
02/02/2 010	4	22.656	9.864	3.622	27.4	16.413	0.732	21.314	9.226
01/03/2 010	0.849	19.449	8.673	8.826	25.78	15.844	0.231	19.285	8.917
02/03/2 010	10.896	18.791	8.837	2.11	25.948	15.703	0.404	19.58	8.734
03/03/2 010	4.913	19.377	9.448	1.687	26.759	16.366	2.475	19.598	9.241
01/04/2 010	6.776	19.518	8.433	13.411	27.698	15.935	14.415	19.805	9.276
02/04/2 010	13.444	21.77	7.636	14.351	28.812	14.749	0.006	21.305	8.081
01/05/2 010	11.545	18.362	7.581	3.679	26.57	16.436	13.684	18.763	9.042
02/05/2 010	1.731	20.666	6.569	0.831	28.66	15.495	0.028	21.723	8.002
01/07/2 010	0.003	21.088	3.751	0.012	27.014	11.922	0.001	22.128	5.266
02/07/2 010	0.001	21.879	2.842	0.005	26.726	10.639	0	22.626	4.496
01/08/2 010	0	21.694	2.504	0.011	26.87	10.481	0	22.38	3.003
02/08/2 010	0.002	21.119	3.239	0.021	25.454	11.778	0.017	21.486	4.161
01/09/2 010	5.875	19.75	5.132	5.961	24.847	15.836	1.082	19.037	4.806
02/09/2 010	7.118	18.507	5.471	4.73	24.325	13.622	0.939	18.652	6.518
01/10/2 010	9.541	22.722	6.845	0	29.752	13.586	0.66	24.051	6.45
02/10/2 010	0	22.172	5.756	1.587	28.922	13.492	0.012	23.129	5.854
01/11/2 010	3.237	20.732	7.321	4.368	25.092	14.81	3.302	20.406	6.95
02/11/2 010	4.554	19.649	7.299	3.8	25.026	15.143	4.369	20.781	7.355
01/12/2 010	4.026	17.869	7.998	6.892	24.347	14.818	3.912	18.639	8.361
02/12/2 010	0.016	19.618	7.352	0.313	26.72	14.544	0.702	20.636	7.928
01/01/2 011	0	17.451	7.262	3.926	26.308	14.359	0.083	19.887	6.916
02/01/2	19.008	15.957	5.566	3.3	26.281	14.561	17.015	19.373	6.592

011									
01/02/2 011	2.931	18.496	8.181	0.924	25.229	14.673	1.828	18.154	7.867
02/02/2 011	12.531	19.351	8.399	2.369	25.994	14.448	0.01	19.1	8.249
03/02/2 011	1.244	19.844	8.147	4.881	27.141	14.576	3.559	19.587	7.72
01/03/2 011	0.011	19.028	6.186	0.333	27.053	14.123	4.309	17.805	6.795
02/03/2 011	0.064	18.512	5.865	0.858	26.45	13.832	0	20.494	5.781
01/04/2 011	2.29	19.633	7.895	4.676	27.124	15.587	0.404	19.549	9.356
02/04/2 011	8.454	19.537	7.936	4.406	26.511	15.648	2.635	19.137	8.569
01/05/2 011	3.978	20.699	5.326	2.565	28.172	14.078	2.007	19.864	6.612
02/05/2 011	0.08	19.989	6.523	0	25.212	14.682	0.002	18.516	8.411
03/05/2 011	0.004	20.228	5.465	0.443	25.943	13.785	0	20.023	6.148
01/06/2 011	0	20.503	2.845	0.003	27.733	9.912	0	22.104	2.773
02/06/2 011	0	20.886	3.128	0.002	27.457	9.561	0	22.379	2.894
01/07/2 011	2.512	20.496	2.917	2.067	25.116	11.579	0.03	20.669	3.818
02/07/2 011	2.182	17.856	4.373	2.202	22.126	12.796	0.028	19.105	5.513
01/08/2 011	0.011	21.461	1.732	0.152	25.884	11.662	0.009	23.004	3.059
02/08/2 011	0.003	21.047	2.932	0.123	27.493	11.665	0.002	23.054	3.513
01/10/2 011	0.824	21.743	7.139	0.398	27.811	13.339	16.66	21.862	7.218
02/10/2 011	0.452	21.134	6.808	2.845	27.147	13.33	0.707	21.467	6.821
01/11/2 011	5.696	21.374	6.483	0	27.139	14.563	0.1	20.923	7.025
02/11/2 011	14.064	21.813	6.856	1.328	27.436	14.589	0	21.344	7.674
01/12/2 011	5.651	18.413	7.69	10.755	22.619	14.79	4.677	19.092	7.785
02/12/2 011	1.396	20.558	6.264	0.74	27.768	12.318	1.248	21.432	7.374
01/01/2 012	4.369	19.567	8.012	1.733	26.537	15.522	4.946	19.657	7.95
02/01/2 012	1.914	19.583	8.09	0.82	27.71	15.025	1.898	20.61	7.846

01/02/2 012	7.032	17.158	8.44	1.65	27.296	15.376	0.224	18.319	8.619
02/02/2 012	5.052	17.492	8.179	2.229	25.365	15.476	3.891	17.703	8.184
01/03/2 012	0.061	18.741	7.102	17.948	24.32	15.103	1.526	17.51	7.879
02/03/2 012	3.276	19.561	7.223	2.531	25.386	14.795	5.908	18.539	8.042
01/04/2 012	0.029	20.191	7.587	1.563	26.944	15.232	0.005	19.445	8.738
02/04/2 012	2.444	20.59	7.603	2.19	26.423	15.51	0.07	19.711	8.252
03/04/2 012	4.776	20.944	7.309	6.472	27.596	15.686	0.018	20.546	8.392
01/05/2 012	4.953	16.971	6.994	3.155	23.09	14.627	1.14	16.735	8.43
02/05/2 012	0.086	19.435	6.03	0.508	27.153	13.263	0.018	19.338	8.315
03/05/2 012	0.014	21.433	5.528	0.549	28.478	14.228	0	20.794	7.025
01/06/2 012	0.022	21.207	4.936	0.238	26.646	13.16	0.008	21.254	5.482
02/06/2 012	0.002	20.331	4.619	0.086	28.135	13.091	0.005	21.77	5.892
03/06/2 012	0.008	21.254	4.553	0.395	27.967	11.858	1.85	21.976	5.287
04/06/2 012	0.055	21.069	4.512	0.295	27.802	12.144	0.016	21.701	5.759
05/06/2 012	0.072	21.165	3.953	1.202	26.883	12.212	0.736	20.821	5.606
01/07/2 012	0.001	20.3	2.065	0.055	26.783	11.232	0	21.29	3.706
02/07/2 012	0.008	21.52	2.181	0.04	27.369	11.052	0.002	21.925	3.26
01/08/2 012	0	21.996	3.974	0.006	26.603	12.55	0	22.025	5.699
02/08/2 012	0.001	21.836	2.419	0.007	27.387	11.201	0	22.406	3.502
03/08/2 012	0.001	22.298	2.186	0.015	27.485	11.011	0.001	23.886	3.325
01/09/2 012	0	22.67	2.992	0.001	27.159	10.836	0	21.472	2.698
02/09/2 012	0.006	21.606	3.583	0.024	27.41	11.541	0.002	21.509	3.384
03/09/2 012	0.038	22.368	4.595	0.286	27.71	12.29	0.021	21.858	4.633
01/10/2 012	1.688	22.716	6.215	0.38	27.902	13.406	0.071	21.97	6.415
02/10/2	0.46	23.057	5.751	0.135	28.428	12.63	0.016	22.412	5.501

012									
03/10/2 012	0.026	22.177	6.069	0.098	29.002	13.137	0.02	22.098	5.824
01/11/2 012	0.058	21.493	6.524	0.4	28.933	14.293	0.3	20.962	7.07
02/11/2 012	0	21.607	7.416	1.078	28.841	15.438	8.862	21.256	8.159
03/11/2 012	12.692	19.718	7.155	8.789	24.248	15.409	6.061	19.378	8.33
01/12/2 012	2.132	19.088	7.781	9.772	26.408	14.929	5.122	20.31	8.23
02/12/2 012	2.125	16.996	8.29	3.655	25.015	14.938	0.086	17.929	8.544
03/12/2 012	0.269	18.361	8.459	5.595	25.674	15.233	5.108	18.965	9.078
01/01/2 013	0.399	19.963	8.435	1.938	26.405	14.558	0.695	19.407	8.517
02/01/2 013	14.01	19.337	8.346	5.644	26.074	15.2	5.033	19.268	8.632
03/01/2 013	1.691	18.899	8.653	22.808	24.231	15.578	2.575	17.331	8.857
01/02/2 013	5.195	20.657	9.369	11.005	27.869	15.634	6.138	21.136	8.751
02/02/2 013	0.311	21.035	8.641	4.479	27.613	15.367	0.008	20.93	8.57
03/02/2 013	1.778	19.77	8.246	3.205	27.558	14.93	2.072	20.203	7.919
01/03/2 013	4.392	18.539	9.009	15.741	26.476	15.806	4.424	19.295	9.395
02/03/2 013	20	19.401	8.438	7.194	26.442	16.137	2.474	19.727	9.314
01/04/2 013	0.078	21.086	8.17	0.945	27.845	15.118	0.015	21.179	8.773
02/04/2 013	14.119	20.039	8.41	4.657	26.625	15.443	0.184	20.509	9.02
03/04/2 013	7.394	20.27	8.245	0.261	28.002	15.07	4.088	20.649	8.533
01/05/2 013	4.025	20.061	5.408	0.766	27.472	14.07	0.162	20.274	6.547
02/05/2 013	0.031	20.406	6.476	0.049	27.828	14.56	0.004	21.046	7.705
03/05/2 013	0.009	21.318	6.075	0	28.993	13.41	0.015	21.601	6.735
01/06/2 013	0.444	19.719	4.856	0	25.304	12.561	0	20.828	6.209
02/06/2 013	3.165	20.51	5.388	1.481	27.085	13.845	1.078	20.546	7.151
03/06/2 013	0.001	21.13	6.642	0.31	27.738	12.076	0	21.502	7.662

01/07/2 013	0.023	20.22	2.746	0	26.571	10.852	9.506	20.873	4.45
02/07/2 013	0.09	19.398	4.576	0.332	25.784	12.441	0.024	21.015	6.581
01/08/2 013	0.022	21.106	3.533	0.333	26.045	11.435	0.006	21.437	4.292
02/08/2 013	0.01	21.195	3.592	0.083	25.119	11.652	0.003	20.957	5.212
01/09/2 013	0.124	22.408	3.541	0.471	27.277	11.182	4.746	21.964	3.8
02/09/2 013	0	23.225	2.946	0.005	27.75	11.219	0	21.819	3.006
03/09/2 013	0	23.409	2.875	0.002	28.299	10.436	0	22.066	2.646
01/10/2 013	1.246	21.436	6.869	0.424	27.89	13.552	0.012	21.804	7.182
02/10/2 013	6.206	21.42	7.949	0	26.003	14.026	3.458	22.444	7.717
03/10/2 013	0	22.057	6.929	1.285	26.634	13.408	1.254	21.925	6.412
01/11/2 013	0.801	19.524	5.279	0.292	29.263	14.296	0.118	20.871	5.996
02/11/2 013	3.782	16.61	6.522	1.628	26.822	15.401	0.019	18.853	8.598
03/11/2 013	4.278	17.634	6.675	6.067	24.167	14.705	1.658	17.991	8.002
01/12/2 013	1.849	18.827	8.574	3.01	25.522	14.471	3.861	19.229	8.797
02/12/2 013	0	18.977	8.562	6.355	25.401	15.373	0.772	18.016	9.02
01/01/2 014	5.639	20.258	7.816	32.346	26.039	15.022	18.68	20.103	8.307
02/01/2 014	0.864	20.259	7.696	0.732	27.046	13.757	1.834	21.032	7.395
03/01/2 014	0.136	20.011	7.62	6.311	27.243	14.696	1.12	20.519	7.819
01/02/2 014	0.751	18.916	9.58	0.48	25.475	15.35	1.148	18.322	8.65
02/02/2 014	6.07	19.56	9.333	9.854	25.299	15.389	1.041	19.409	8.83
01/03/2 014	0.03	17.645	8.321	2.09	27.457	15.184	0.013	20.092	7.886
02/03/2 014	0.028	18.263	7.958	0.138	28.049	15.114	0.068	20.465	6.972
01/05/2 014	2.371	20.711	5.778	0	28.06	14.244	0.138	21.241	6.586
02/05/2 014	2.194	20.699	6.472	0.501	28.532	14.851	0.119	20.882	7.187
01/06/2	0.002	21.405	4.815	0.052	28.124	12.567	0.001	22.058	5.986

014									
02/06/2 014	0.008	21.494	5.376	0.069	28.964	13.161	0.005	22.116	6.244
01/08/2 014	0.001	22.678	2.109	0.071	26.698	10.65	0.001	22.173	3.146
02/08/2 014	0	22.122	2.154	0	25.215	10.805	0	21.59	2.608
01/09/2 014	0.001	22.908	4.842	0.008	28.253	9.52	0	22.14	3.99
02/09/2 014	0.009	22.873	4.139	0.048	28.239	12.009	0.002	21.938	4.437
01/10/2 014	0.198	22.207	6.393	0.361	27.626	12.972	0.007	21.292	6.943
02/10/2 014	0.043	21.866	6.916	0.254	28.249	13.156	0.021	20.865	6.901
03/10/2 014	2.16	20.943	6.686	0.628	24.377	13.997	0.005	19.692	6.991
01/11/2 014	0.405	20.83	6.76	0	26.58	13.847	0.001	20.42	7.04
02/11/2 014	8.401	21.685	8.229	3.282	26.937	15.059	7.457	21.107	8.587
01/12/2 014	0	21.311	9.035	0.44	27.911	15.438	0.006	21.492	9.062
02/12/2 014	1.695	21.698	9.067	0.065	27.148	15.891	1.363	21.196	8.934
01/01/2 015	0.23	20.269	7.94	1.103	25.248	14.538	0.287	19.531	7.724
02/01/2 015	0.144	18.557	8.217	0.751	24.84	14.929	1.281	18.024	7.835
01/02/2 015	0	18.755	8.972	0.52	24.429	15.315	0.373	18.016	8.623
02/02/2 015	0.258	19.983	8.676	0.665	25.754	14.876	0.016	18.622	8.213
01/03/2 015	0.451	18.588	8.302	25.319	26.514	15.419	9.577	18.727	8.341
02/03/2 015	22.649	17.943	8.659	19.378	25.818	15.576	0.048	18.05	8.647
01/04/2 015	12.491	18.274	8.251	13.166	21.034	15.667	1.399	16.229	8.786
02/04/2 015	0.131	19.811	7.485	0.575	25.886	15.169	0.022	19.569	8.178
01/05/2 015	0	20.829	6.772	0	28.349	14.564	0	21.202	8.948
02/05/2 015	19.437	20.413	7.006	1.666	28.696	14.278	7.498	21.219	8.416
01/06/2 015	2.609	19.919	7.314	2.885	26.999	14.658	0.032	20.807	9.337
02/06/2 015	0.009	22.323	6.529	0.401	27.396	14.466	0.059	21.668	8.473

01/07/2 015	0.004	21.62	4.024	0.021	28.158	11.411	0.001	22.107	4.155
02/07/2 015	0.018	21.554	4.861	0.106	27.355	12.272	0.004	22.179	5.525
03/07/2 015	0.016	20.478	5.022	0.359	27.223	13.426	0.008	21.403	6.425
01/08/2 015	0.011	22.784	1.634	0.11	26.924	10.709	0.003	22.741	2.829
02/08/2 015	0.001	23.373	2.064	0.007	27.443	11.26	0	23.663	3.145
01/09/2 015	0.063	22.58	4.837	1.215	28.337	12.637	0.003	21.238	5.238
02/09/2 015	0.041	23.6	5.124	0.447	28.496	13.733	0.03	22.157	6.222
01/10/2 015	0	21.414	6.116	0	27.874	14.018	0	21.051	6.375
02/10/2 015	0.113	22.242	4.573	1.482	28.699	12.678	5.005	21.399	5.377
01/11/2 015	1.946	21.107	6.168	0	27.217	14.826	0	20.785	6.954
02/11/2 015	9.239	20.769	4.731	0.207	27.424	13.962	0	20.659	5.287
01/12/2 015	8.081	18.483	10.328	12.734	22.662	15.362	13.966	15.885	9.692
02/12/2 015	15.386	19.914	9.87	1.551	25.343	14.942	0.019	18.534	9.184
01/01/2 016	0.452	21.712	8.508	0	26.346	13.502	3.38	21.059	7.201
02/01/2 016	0.013	22.152	6.941	0.68	28.261	12.945	0.011	22.052	6.006
01/02/2 016	31.818	17.84	9.868	29.692	23.189	15.911	4.551	16.452	9.357
02/02/2 016	0.13	18.993	9.514	4.627	25.984	15.764	7.529	18.954	8.964
01/03/2 016	2.677	20.795	9.674	6.019	27.795	16.503	0.926	20.067	9.229
02/03/2 016	0.203	20.757	10.3	0.803	28.175	16.109	1.034	20.666	9.233
03/03/2 016	13.091	20.014	9.554	12.81	27.393	16.233	0.174	20.878	8.885
01/04/2 016	16.77	21.195	8.888	19.923	28.171	16.155	1.138	20.456	8.937
02/04/2 016	0.225	21.483	8.784	1.593	28.82	15.597	0.054	21.029	8.757
01/05/2 016	0	20.521	5.13	0	28.596	13.972	0	21.925	5.977
02/05/2 016	6.519	20.418	4.833	1.31	28.736	13.214	0.042	21.708	6.208
01/06/2	0.014	21.512	3.79	0.178	27.871	12.178	0.024	22.99	4.944

016									
02/06/2 016	0.004	21.386	4.645	0.177	28	11.865	0.031	22.537	5.394
01/07/2 016	0.001	21.968	1.64	0.005	27.039	9.478	0.001	21.881	2.353
02/07/2 016	0	21.901	0.987	0.002	28.474	9.343	0	21.948	2.094
03/07/2 016	0.001	21.731	1.376	0.004	27.475	9.766	0.001	21.813	2.229
01/08/2 016	0.009	22.688	1.854	0.469	27.468	11.046	0.004	22.858	2.565
02/08/2 016	3.998	21.689	3.41	4.27	24.493	11.729	0.002	21.048	4.222
01/09/2 016	0.005	20.736	5.373	0.457	26.509	12.525	0.028	21.103	5.547
02/09/2 016	0.095	21.959	4.81	1.014	27.248	12.975	0.025	21.329	5.735
03/09/2 016	0.015	21.759	4.346	0.325	26.985	12.574	0	21.634	4.783
01/10/2 016	0.04	20.957	6.833	0.373	28.395	14.105	2.209	21.23	7.154
02/10/2 016	0.175	20.878	8.359	1.124	25.409	14.91	2.785	19.282	8.708
03/10/2 016	0.096	20.383	7.215	1.052	26.01	14.72	0.028	20.096	7.822
01/11/2 016	0.026	23.107	4.676	3.088	29.707	13.566	0.001	23.11	5.546
02/11/2 016	0.064	22.292	5.39	0.381	28.587	14.444	0.018	22.796	5.746
01/12/2 016	5.967	20.135	9.103	4.555	25.36	14.91	1.025	19.578	9.204
02/12/2 016	0.056	20.749	7.833	0.369	26.385	13.989	0.018	20.009	7.945