

**UNIVERSIDAD DE HUANUCO**  
**FACULTAD DE INGENIERIA**  
**PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERIA CIVIL**



**TESIS**

---

**“Modelación mediante precaud v 1.0 del proceso de precipitación de escorrentía para las estimaciones de producción hídrica superficial en términos de probabilidad en la cuenca del río Higueras– Huánuco - 2024”**

---

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

**AUTORA: Cipriano Paredes, Daysi Milagros**

**ASESORA: Arteaga Espinoza, Ingrid Delia Dignarda**

**HUÁNUCO – PERÚ**

**2025**



# U

**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 Ingeniera Civil

Código del Programa: P07

Tipo de Financiamiento:

- Propio ( X )
- UDH ( )
- Fondos Concursables ( )

**DATOS DEL AUTOR:**

Documento Nacional de Identidad (DNI): 73593421

**DATOS DEL ASESOR:**

Documento Nacional de Identidad (DNI): 73645168

Grado/Título: Máster en dirección de proyectos

Código ORCID: 0009-0001-0745-5433

**DATOS DE LOS JURADOS:**

| N° | APELLIDOS Y NOMBRES                      | GRADO                                                                                    | DNI      | Código ORCID        |
|----|------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|----------|---------------------|
| 1  | Trujillo Ariza,<br>Yelen Lisseth         | Maestro en medio ambiente y desarrollo sostenible, mención en gestión ambiental          | 70502371 | 0000-0002-5650-3745 |
| 2  | Tuanama Lavi,<br>Jose Wicley             | Maestro en gerencia pública                                                              | 05860064 | 0000-0002-5148-6384 |
| 3  | Malpartida Valderrama,<br>Yenerit Pamela | Grado de magíster en medio ambiente y desarrollo sostenible mención en gestión ambiental | 22516875 | 0000-0003-2705-4300 |

# D

# H



# 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 15:45 horas del día viernes 11 de julio de 2025, 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. YELEN LISSETH TRUJILLO ARIZA         | PRESIDENTE |
| ❖ MG. JOSE WICLEY TUANAMA LAVI             | SECRETARIO |
| ❖ MG. YENERIT PAMELA MALPARTIDA VALDERRAMA | VOCAL      |

Nombrados mediante la RESOLUCIÓN No 1392-2025-D-FI-UDH, para evaluar la Tesis intitulada: "MODELACIÓN MEDIANTE PRECAUD v 1.0 DEL PROCESO DE PRECIPITACIÓN DE ESCORRENTÍA PARA LAS ESTIMACIONES DE PRODUCCIÓN HÍDRICA SUPERFICIAL EN TÉRMINOS DE PROBABILIDAD EN LA CUENCA DEL RIO HIGUERAS-HUÁNUCO - 2024", presentado por el (la) Bachiller. Bach. Daysi Milagros CIPRIANO PAREDES, 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) APROBADA por MAYORÍA con el calificativo cuantitativo de 11 y cualitativo de SUFICIENTE (Art. 47).

Siendo las 16:30 horas del día 11 del mes de julio del año 2025, los miembros del Jurado Calificador firman la presente Acta en señal de conformidad.

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

MG. JOSE WICLEY TUANAMA LAVI  
DNI: 05850064  
ORCID: 0009-0002-5148-6384  
**SECRETARIO (A)**

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



# UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO

## CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD

El comité de integridad científica, realizó la revisión del trabajo de investigación del estudiante: DAYSI MILAGROS CIPRIANO PAREDES, de la investigación titulada "MODELACIÓN MEDIANTE PRECAUD V 1.0 DEL PROCESO DE PRECIPITACIÓN DE ESCORRENTÍA PARA LAS ESTIMACIONES DE PRODUCCIÓN HÍDRICA SUPERFICIAL EN TÉRMINOS DE PROBABILIDAD EN LA CUENCA DEL RIO HIGUERAS - HUÁNUCO - 2024", con asesor(a) INGRID DELIA DIGNARDA ARTEAGA ESPINOZA, designado(a) mediante documento: RESOLUCIÓN N° 2032-2023-D-FI-UDH del P. A. de INGENIERÍA CIVIL.

Puede constar que la misma tiene un índice de similitud del 20 % 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, 09 de junio de 2025



RICHARD J. SOLIS TOLEDO  
D.N.I.: 47074047  
cod. ORCID: 0000-0002-7629-6421



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

# 17. CIPRIANO PAREDES DAYSI MILAGROS.docx

## INFORME DE ORIGINALIDAD

20%

INDICE DE SIMILITUD

19%

FUENTES DE INTERNET

3%

PUBLICACIONES

6%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

## FUENTES PRIMARIAS

|   |                                                                                                    |    |
|---|----------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1 | <a href="http://repositorio.lamolina.edu.pe">repositorio.lamolina.edu.pe</a><br>Fuente de Internet | 4% |
| 2 | <a href="http://repositorio.udh.edu.pe">repositorio.udh.edu.pe</a><br>Fuente de Internet           | 2% |
| 3 | Submitted to Universidad Nacional Hermilio Valdizan<br>Trabajo del estudiante                      | 2% |
| 4 | <a href="http://es.scribd.com">es.scribd.com</a><br>Fuente de Internet                             | 1% |
| 5 | <a href="http://docplayer.es">docplayer.es</a><br>Fuente de Internet                               | 1% |



RICHARD J. SOLIS TOLEDO  
D.N.I.: 47074047  
cod. ORCID: 0000-0002-7629-6421



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

## **DEDICATORIA**

A mis padres, Rubiños Cipriano Tucto y Ericka Jhojana Paredes Pérez. Quiero expresar mi profundo agradecimiento por su constante apoyo incondicional a lo largo de todo este tiempo de mi vida universitaria, así como por brindarme la libertad de elegir y ayudarme en lo que considero más apropiado para mí en cada momento.

## **AGRADECIMIENTO**

A mi querida familia, A quienes estuvieron siempre presentes y contribuyeron de manera fundamental a mi desarrollo, les agradezco sinceramente por dedicar su tiempo y esfuerzo para instruirme en nuevas prácticas, aportándome conocimientos invaluableles que serán de gran utilidad a lo largo de mi vida. Les estoy muy agradecido y les tengo un gran cariño.

A mis amigos de la facultad de Ingeniería Civil de la Universidad de Huánuco, a quienes extrañaré mucho, les agradezco por todos los momentos compartidos, tanto los buenos como los difíciles. Espero que mantengamos nuestra amistad unida y que podamos seguir compartiendo experiencias durante mucho tiempo más.

# ÍNDICE

|                                             |      |
|---------------------------------------------|------|
| DEDICATORIA.....                            | II   |
| AGRADECIMIENTO .....                        | III  |
| ÍNDICE .....                                | IV   |
| 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.....          | 14   |
| 1.2.1. PROBLEMA GENERAL .....               | 14   |
| 1.2.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS.....           | 14   |
| 1.3. OBJETIVOS .....                        | 15   |
| 1.3.1. OBJETIVO GENERAL .....               | 15   |
| 1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....          | 15   |
| 1.4. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN..... | 15   |
| 1.4.1. JUSTIFICACIÓN PRÁCTICA .....         | 15   |
| 1.4.2. JUSTIFICACIÓN TEÓRICA .....          | 16   |
| 1.4.3. JUSTIFICACIÓN METODOLÓGICA .....     | 17   |
| 1.5. LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN ..... | 17   |
| 1.6. VIABILIDAD DE LA INVESTIGACIÓN.....    | 17   |
| 1.6.1. VIABILIDAD OPERATIVA.....            | 17   |
| 1.6.2. VIABILIDAD TÉCNICA.....              | 18   |
| 1.6.3. VIABILIDAD ECONÓMICA SOCIAL .....    | 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 .....        | 24   |
| 2.1.3. ANTECEDENTES LOCALES.....            | 28   |

|                                       |                                                         |    |
|---------------------------------------|---------------------------------------------------------|----|
| 2.2.                                  | BASES TEÓRICAS .....                                    | 30 |
| 2.2.1.                                | CICLO DEL AGUA .....                                    | 30 |
| 2.2.2.                                | PRECIPITACIÓN .....                                     | 31 |
| 2.2.3.                                | INTERCEPCIÓN .....                                      | 32 |
| 2.2.4.                                | EVAPORACIÓN .....                                       | 32 |
| 2.2.5.                                | EVAPOTRANSPIRACIÓN .....                                | 34 |
| 2.2.6.                                | INFILTRACIÓN .....                                      | 36 |
| 2.2.7.                                | ESCORRENTÍA SUPERFICIAL .....                           | 36 |
| 2.2.8.                                | HIDROMETEOROLÓGICA .....                                | 37 |
| 2.2.9.                                | MODELOS CLIMÁTICOS .....                                | 39 |
| 2.2.10.                               | SISTEMA HIDROLÓGICO .....                               | 40 |
| 2.2.11.                               | PRECAUD V1.0.....                                       | 42 |
| 2.3.                                  | DEFINICIONES CONCEPTUALES .....                         | 44 |
| 2.4.                                  | HIPÓTESIS .....                                         | 48 |
| 2.4.1.                                | HIPÓTESIS GENERAL.....                                  | 48 |
| 2.5.                                  | VARIABLES .....                                         | 48 |
| 2.5.1.                                | VARIABLE DEPENDIENTE .....                              | 48 |
| 2.5.2.                                | VARIABLE INDEPENDIENTE.....                             | 49 |
| 2.6.                                  | OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES.....                    | 50 |
| CAPÍTULO III.....                     |                                                         | 52 |
| METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN ..... |                                                         | 52 |
| 3.1.                                  | TIPO DE INVESTIGACIÓN .....                             | 52 |
| 3.1.1.                                | ENFOQUE .....                                           | 52 |
| 3.1.2.                                | ALCANCE O NIVEL .....                                   | 52 |
| 3.1.3.                                | DISEÑO .....                                            | 53 |
| 3.2.                                  | POBLACIÓN Y MUESTRA .....                               | 53 |
| 3.2.1.                                | POBLACIÓN .....                                         | 53 |
| 3.2.2.                                | MUESTRA .....                                           | 53 |
| 3.3.                                  | TÉCNICAS E INSTRUMENTO DE RECOLECCIÓN DE<br>DATOS ..... | 54 |
| 3.3.1.                                | PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS.....                       | 54 |
| 3.3.2.                                | PARA LA PRESENTACIÓN DE DATOS.....                      | 55 |
| 3.3.3.                                | PARA EL ANÁLISIS DE DATOS.....                          | 57 |
| CAPÍTULO IV .....                     |                                                         | 59 |

|                                                                     |    |
|---------------------------------------------------------------------|----|
| RESULTADOS .....                                                    | 59 |
| 4.1. PROCESAMIENTO DE DATOS .....                                   | 59 |
| 4.1.1. CARACTERÍSTICA GEOMORFOLÓGICA .....                          | 59 |
| 4.1.2. ANÁLISIS PLUVIOMÉTRICOS .....                                | 60 |
| 4.1.3. ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD Y LA DISPONIBILIDAD<br>ACTUAL ..... | 72 |
| 4.2. CONSTATAción DE HIPÓTESIS Y PRUEBA DE HIPÓTESIS ....           | 80 |
| CAPÍTULO V .....                                                    | 85 |
| DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....                                        | 85 |
| CONCLUSIONES .....                                                  | 87 |
| RECOMENDACIONES.....                                                | 88 |
| REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....                                    | 89 |
| ANEXOS .....                                                        | 92 |

## ÍNDICE DE TABLAS

|                                                                    |    |
|--------------------------------------------------------------------|----|
| Tabla 1 Coef. del modelo de Horton para intercepción-captura ..... | 32 |
| Tabla 2 Sistema de variables-dimensiones e indicadores .....       | 50 |
| Tabla 3 Precipitación .....                                        | 61 |
| Tabla 4 Datos .....                                                | 62 |
| Tabla 5 Precipitación máx.....                                     | 62 |
| Tabla 6 Áreas parciales .....                                      | 63 |
| Tabla 7 Distribución Normal.....                                   | 68 |
| Tabla 8 Distribución Log Normal.....                               | 68 |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|                                                                                           |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1 Representación esquemática del ciclo del agua .....                              | 31 |
| Figura 2 Evaporación durante el crecimiento del cultivo anual de forma<br>repartida ..... | 34 |
| Figura 3 Evapotranspiración de cultivo .....                                              | 35 |
| Figura 4 Capacidad de infiltración.....                                                   | 36 |
| Figura 5 Flujo superficial.....                                                           | 37 |
| Figura 6 Circulación de la atmosfera .....                                                | 38 |
| Figura 7 Esquema del MCG .....                                                            | 40 |
| Figura 8 Diagrama del sistema global hidrológico.....                                     | 42 |
| Figura 9 División de N áreas de la cuenca.....                                            | 43 |
| Figura 10 Ciclo hidrológico del PRECAUD V1.0 .....                                        | 44 |
| Figura 11 Para la presentación de datos parte 1 .....                                     | 55 |
| Figura 12 Para la presentación de datos parte 2 .....                                     | 56 |
| Figura 13 Para la presentación de datos parte 3 .....                                     | 56 |
| Figura 14 Para la presentación de datos parte 4 .....                                     | 57 |
| Figura 15 Ráster .....                                                                    | 59 |
| Figura 16 Curva Hipsométrica .....                                                        | 63 |
| Figura 17 Polígono de Frecuencias .....                                                   | 64 |
| Figura 18 Pendiente .....                                                                 | 65 |
| Figura 19 Distribución.....                                                               | 66 |
| Figura 20 Probabilidad de precipitación .....                                             | 67 |
| Figura 21 Intensidad 5 años .....                                                         | 69 |
| Figura 22 Intensidad 10 años .....                                                        | 70 |
| Figura 23 Intensidad 20 años .....                                                        | 70 |
| Figura 24 Intensidad 50 años .....                                                        | 71 |
| Figura 25 Curva de Intensidades .....                                                     | 71 |
| Figura 26 Área de contribución .....                                                      | 72 |
| Figura 27 Hidrograma de caudales.....                                                     | 73 |
| Figura 28 Índice anual .....                                                              | 74 |
| Figura 29 Régimen de sensibilidad.....                                                    | 74 |
| Figura 30 Modelo de dispersión.....                                                       | 75 |
| Figura 31 Modelo MRI-AGCM .....                                                           | 76 |

|                                                      |     |
|------------------------------------------------------|-----|
| Figura 32 Modelo de inclinación .....                | 78  |
| Figura 33 Caudales .....                             | 79  |
| Figura 34 Resultados.....                            | 81  |
| Figura 35 Datos de la estación .....                 | 96  |
| Figura 36 Para la obtención de las intensidades..... | 97  |
| Figura 37 Hietograma para 5 años .....               | 98  |
| Figura 38 Hietograma para 10 años .....              | 98  |
| Figura 39 Hietograma para 15 años .....              | 99  |
| Figura 40 Hietograma para 20 años .....              | 99  |
| Figura 41 Hietograma para 50 años .....              | 100 |
| Figura 42 PRECAUD v1.0 .....                         | 100 |
| Figura 43 PRECAUD v1.0 .....                         | 101 |
| Figura 44 PRECAUD v1.0 .....                         | 101 |
| Figura 45 PRECAUD v1.0 .....                         | 102 |
| Figura 46 PRECAUD v1.0 .....                         | 102 |

## RESUMEN

En esta tesis se usó el modelo parcialmente agregado del PRECAUD v1.0 en el área de drenaje del río Higuera. Con ese programa se muestra que el área de drenaje está formada mediante las zonas que aportan y que todas ellas conforman una red de drenaje. Previo al desarrollo se hizo un análisis de datos exploratorio, una evaluación de coherencia pluviométrico e hidrométrico, el índice normalizado. Para calibrar el modelo se tuvo que emplear unas descargas medias mensuales que se registraron de la estación empleada durante el periodo de estudio, siendo los valores del coeficiente Nash de 68% y el error de balance de masa de 6%. En la verificación del modelo primero se revisó el coeficiente de correlación de Pearson que de acuerdo a la tabla resultó ser de 0.91 y 0.66. Luego se simuló las descargas y así las descargas futuras usando los datos de lluvia del modelo climático MRI-AGCM 3.2s. Por último, se llevó a cabo una evaluación de la frecuencia utilizando los caudales simulados, y los hallazgos revelan un promedio anual de flujo que aumenta durante los periodos y así se concluye que el modelo de PRECAUD v10 ayuda de forma satisfactoria en el proceso de precipitación – escorrentía y constituye una alternativa para su aplicación en situaciones vinculadas al planificación y gestión de recursos hídricos en la cuenca.

**Palabras Clave:** PRECAUD, validación, análisis de frecuencia, análisis de consistencia, MRI-AGCM.

## ABSTRACT

In this thesis, the partially aggregated PRECAUD v1.0 model was used in the drainage area of the Higuera's River. With this program it is shown that the drainage area is formed by the contributing zones and that all of them make up a drainage network. Prior to development, an exploratory data analysis was carried out, an evaluation of pluviometric and hydrometric coherence, and the normalized index. To calibrate the model, average monthly discharges that were recorded from the station used during the study period had to be used, being the coef values. Nash of 68% and the mass balance error of 6%. In verifying the model, the Pearson correlation coefficient was first reviewed, which according to the table turned out to be 0.91 and 0.66. Then the discharges and thus future discharges were simulated using the rainfall data from the MRI-AGCM 3.2s climate model. Finally, an evaluation of the frequency was carried out using the simulated flows, and the findings reveal an average annual flow that increases during the periods and thus it is concluded that the PRECAUD v10 model satisfactorily helps in the precipitation process. – runoff and constitutes an alternative for its application in situations linked to the planning and management of water resources in the basin.

**Keywords:** PRECAUD, validation, frequency analysis, consistency analysis, MRI-AGCM.

## INTRODUCCIÓN

El propósito fundamental de un modelo hidrológico consiste en describir de manera precisa los distintos procesos asociados con la manera en que la lluvia se distribuye y cómo se generan los caudales dentro de una cuenca específica. Esto se lleva a cabo con el fin de comprender el sistema hidrológico y proporcionar datos confiables que sean útiles para la administración sustentable de los recursos hídricos. En aquellas cuencas donde no se disponen de estaciones hidrométricas para medir los flujos de agua, los modelos de agua emergen como herramientas convenientes para estimar la cantidad de agua. La ventaja radica en la posibilidad de operar a costos relativamente bajos y en la confiabilidad de los resultados que generan. Por esta razón, la presente investigación se estructura en diversos apartados. En el Capítulo I, se aborda la problemática de la investigación, que incluye el problema general y específico, así como el objetivo general: Realizar la modelación hidrológica mediante el uso de PRECAUD v 1.0 para obtener la producción hídrica superficial en términos de probabilidad en la cuenca del río Higueras. También se detallan los objetivos específicos, la justificación, limitaciones y viabilidad de la investigación. En el Capítulo II, se exponen los conceptos teóricos fundamentales y los antecedentes de la investigación, incluyendo la formulación de la hipótesis. El Capítulo III describe la metodología de la investigación. El Capítulo IV se divide en dos partes: procesamiento de datos, donde se utilizan los datos para obtener los resultados, y la confirmación de hipótesis para verificar la validez de la hipótesis planteada. El Capítulo V alberga la discusión de los resultados y, finalmente, se presentan las conclusiones, recomendaciones, referencias bibliográficas y anexos.

# CAPÍTULO I

## PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

### 1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

A nivel global, los eventos hidrometeorológicos extremos, como lluvias intensas e inundaciones, han aumentado en frecuencia e intensidad debido al cambio climático. Según el IPCC (2021), las precipitaciones extremas han generado impactos significativos en la disponibilidad de agua, la seguridad hídrica y la infraestructura en diversas cuencas del mundo. En respuesta a estos desafíos, la modelación hidrológica se ha convertido en una herramienta esencial para la planificación y gestión de recursos hídricos, permitiendo estimar la producción hídrica superficial en cuencas sin estaciones de aforo, con el fin de mitigar riesgos y optimizar el uso del agua. Modelos como HEC-HMS, SWAT, TOPMODEL y PRECAUD han sido ampliamente utilizados en distintas regiones para analizar la respuesta hidrológica ante eventos climáticos extremos.

En Perú, el impacto de eventos hidrometeorológicos es considerable, especialmente debido a la presencia de fenómenos como El Niño y La Niña, que alteran los patrones de precipitación y generan desbordamientos de ríos, deslizamientos y erosión de suelos. Según el Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres (CENEPRED, 2020), más del 60% del territorio peruano presenta vulnerabilidad ante inundaciones, lo que afecta la infraestructura, la agricultura y los asentamientos humanos. A pesar de la importancia de la modelación hidrológica para la gestión del riesgo de desastres, aún existe una brecha en la aplicación de modelos calibrados a las condiciones específicas de diversas cuencas del país, lo que limita la planificación efectiva de recursos hídricos.

En la región de Huánuco, la problemática de inundaciones y erosión hídrica se intensifica debido a la topografía accidentada y la variabilidad climática. El río Higuera, uno de los principales afluentes de la región, 15 presenta crecidas significativas durante la temporada de lluvias (diciembre a

marzo), lo que incrementa el riesgo de desbordamientos, erosión de márgenes y daños a infraestructuras cercanas, afectando la seguridad de la población y la producción agrícola. Según el Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI, 2020), la capacidad del río Higueras se ve superada en periodos de lluvias intensas, lo que incrementa el riesgo de inundaciones en áreas urbanas y rurales. Sin embargo, la falta de una estimación precisa de los caudales máximos dificulta la toma de decisiones para la mitigación de estos riesgos.

Ante esta situación, surge la necesidad de evaluar la factibilidad del modelo hidrológico PRECAUD v1.0 para la modelación hidrológica en la cuenca del río Higueras. La investigación busca responder si dicho modelo es adecuado para simular el comportamiento hidrológico y proporcionar estimaciones confiables sobre la producción hídrica superficial en términos probabilísticos.

Esta investigación contribuirá al fortalecimiento de la gestión hídrica en la región, proporcionando una herramienta de modelación que facilite la toma de decisiones para la prevención y control de eventos hidrológicos extremos.

## **1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

### **1.2.1. PROBLEMA GENERAL**

¿Es posible llevar a cabo la modelación hidrológica empleando PRECAUD v 1.0 con el propósito de obtener estimaciones de producción hídrica superficial basadas en términos de probabilidad en la cuenca del río Higueras?

### **1.2.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS**

- ¿Cómo se lleva a cabo el análisis de la variabilidad en las series pluviométricas e hidrométricas en la cuenca del río Higueras?
- ¿Cómo se determinan las características geomorfológicas de la cuenca del río Higueras?

- ¿Cuál es el enfoque para realizar el análisis de sensibilidad, calibración y validación del modelo hidrológico en la cuenca del río Higueras?
- ¿Cómo se procede a caracterizar tanto la disponibilidad actual como futura de agua superficial en la cuenca del río Higueras?

### **1.3. OBJETIVOS**

#### **1.3.1. OBJETIVO GENERAL**

Realizar la modelación hidrológica mediante el uso de PRECAUD v 1.0 para obtener la producción hídrica superficial en términos de probabilidad en la cuenca del río Higueras.

#### **1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Analizar la variabilidad de las series pluviométricas e hidrométricas usando PRECAUD v 1.0 en la cuenca del río Higueras.
- Determinar las características geomorfológicas de la cuenca del río Higueras.
- Realizar el análisis de sensibilidad, calibración y validación del modelo hidrológico empleando PRECAUD v 1.0 en la cuenca del río Higueras.
- Caracterizar la disponibilidad hídrica superficial actual y futura en la cuenca del río Higueras.

### **1.4. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN**

#### **1.4.1. JUSTIFICACIÓN PRÁCTICA**

La razón práctica detrás de esta investigación de modelación hidrológica de escorrentía radica en su capacidad para proporcionar

información esencial para administrar y planificar el uso de los recursos hídricos. Algunas de las razones clave incluyen:

**Gestión de inundaciones:** La modelación hidrológica permite prever el comportamiento de los sistemas fluviales durante eventos de lluvia intensa, ayudando a identificar áreas propensas a inundaciones y permitiendo la adopción de medidas de mitigación.

**Abastecimiento de agua:** Comprender los patrones de escorrentía es esencial para evaluar la disponibilidad de agua para consumo doméstico, agrícola e industrial, permitiendo la planificación adecuada de la distribución de recursos hídricos.

**Planificación urbana:** Al entender cómo la escorrentía afecta a las áreas urbanas, es posible desarrollar diseños de desarrollo urbano que minimicen los riesgos de inundaciones y erosión.

**Optimización de recursos:** La modelación hidrológica facilita la toma de decisiones informadas sobre la asignación de recursos, lo que conduce a un uso más eficiente y sostenible del agua.

En resumen, la modelación hidrológica de escorrentía proporciona información valiosa para abordar desafíos relacionados con el agua y el medio ambiente, optimizar recursos y tomar decisiones fundamentadas para una gestión más efectiva y sostenible del agua.

#### **1.4.2. JUSTIFICACIÓN TEÓRICA**

La justificación teórica de esta investigación de modelación hidrológica de escorrentía se basa en la necesidad de comprender y predecir el comportamiento del ciclo del agua en una determinada cuenca hidrográfica. Esta investigación busca desarrollar modelos matemáticos o computacionales que representen de forma precisa los fenómenos hidrológicos implicados en la producción, distribución y flujo de agua superficial en esa cuenca. Afectar los recursos hídricos y los ecosistemas acuáticos en una cuenca.

### **1.4.3. JUSTIFICACIÓN METODOLÓGICA**

La justificación metodológica de esta investigación de modelación hidrológica de escorrentía radica en la necesidad de comprender y predecir de manera precisa el comportamiento de los sistemas hidrológicos en cuencas y áreas específicas. Esta modelación busca proporcionar información crucial para la toma de decisiones en la gestión de recursos hídricos y la planificación del uso del suelo.

### **1.5. LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN**

Una limitación común en la investigación de modelación hidrológica de escorrentía es la dificultad inherente de los conjuntos hidrológicos naturales y el requerimiento de simplificar ciertos aspectos para que sean representables en un modelo. Estas simplificaciones pueden introducir incertidumbres en los resultados del modelo y limitar su capacidad para capturar con precisión los procesos hidrológicos reales. Algunas de las limitaciones específicas incluyen:

- Datos limitados y calidad de datos
- Complejidad del sistema
- Variabilidad espacial y temporal
- Incertidumbre en parámetros y calibración
- Falta de consideración de procesos detallados
- El estudiante se hace cargo del costo en su totalidad.

### **1.6. VIABILIDAD DE LA INVESTIGACIÓN**

#### **1.6.1. VIABILIDAD OPERATIVA**

La viabilidad operativa depende de varios factores clave que deben ser evaluados antes de emprender el estudio. Algunos de estos factores incluyen:

- Disponibilidad de Datos: La investigación de modelación hidrológica requiere datos precisos y completos, como series temporales de precipitación, caudales, características topográficas y geomorfológicas de la cuenca, uso del suelo, entre otros. La

disponibilidad y calidad de estos datos influyen en la confiabilidad de los resultados del modelo.

- **Herramientas y Software:** Es necesario contar con herramientas y software adecuados para llevar a cabo la modelación hidrológica. Se deben evaluar las capacidades y la idoneidad de los programas disponibles para los objetivos específicos del estudio.
- **Conocimientos:** Realizar una modelación hidrológica requiere comprensión en hidrología, matemáticas y programación, dependiendo del nivel de complejidad del modelo. Contar con expertos en el equipo de investigación es esencial para interpretar resultados y tomar decisiones adecuadas.
- **Aplicación Práctica:** Evaluar la relevancia y utilidad práctica de los resultados de la modelación. ¿Cómo se usarán los resultados para abordar problemas hidrológicos o tomar decisiones de manejo de recursos hídricos?
- **Colaboración y Acceso a Información.**
- **Impacto Ambiental y Social.**

### **1.6.2. VIABILIDAD TÉCNICA**

La viabilidad técnica de este estudio ofrece una ocasión excepcional debido a la escasez de investigaciones similares realizados previamente. Además, proporciona información crucial para el control y análisis de futuros estudios, representando un progreso considerable en la ampliación del entendimiento en este campo.

La información y los recursos hídricos técnicamente accesibles. posibilitan modelarlo para calibrar estos estudios, que se pueden realizar a través de programas gratuitos como Excel.

En cuanto al avance de la investigación espacial, existe la disponibilidad de espacio y equipo suficiente para hacer este proyecto de tesis es factible desde el punto de vista técnico, dado que se trata De un procedimiento sin adulteraciones y que no necesite un estudio exclusivo.

### **1.6.3. VIABILIDAD ECONÓMICA SOCIAL**

Esta investigación se financia íntegramente con los propios recursos del estudiante, desde el inicio de la investigación hasta que se complete y, por consiguiente, no se obtiene ningún beneficio económico de la misma.

Desde la perspectiva del ámbito social, este estudio contribuye significativamente a estudiantes, compañías y la población en general, ya que ofrece datos esenciales para comprender las particularidades de los cursos de agua.

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

##### 2.1.1. ANTECEDENTES INTERNACIONALES

Para Ortiz (2017) en su tesis llevada a cabo en la universidad nacional de Autónoma de México, titulada “*Implementación del modelo Hidrológico swat: modelación y simulación de las precipitaciones en la cuenca del lago Cuitzeo.*” Para su investigación, el tesista tuvo como objetivo utilizar el modelo de Evaluación de Suelo y Agua (SWAT), el cual fue concebido para su implementación en cuencas hidrográficas de gran envergadura. Además, este modelo cuenta con una amplia validación gracias a su extensa aplicación en cuencas alrededor del mundo, abarcando una diversidad de características. Este enfoque incorpora y combina numerosos submodelos y parámetros. Para Ortiz los valores anuales de flujo superficial proporcionan una visión tanto general como detallada. No obstante, al realizar un análisis de un año al cambiar la cobertura (manteniendo la precipitación constante), se observaron tendencias en los datos. No obstante, es importante tener en cuenta que hay otros factores que influyen en las simulaciones, y no se puede atribuir únicamente a los cambios en la cobertura y uso del suelo. La influencia de la zona de cada subcuenca y su contribución al flujo también puede desempeñar un papel, así como la forma en que el modelo distribuye y agrupa los parámetros climáticos. Por ende, realizo simulaciones manteniendo constante la cobertura a lo largo de los años, se observa una tendencia similar a las simulaciones sin cambios. Obteniendo las siguientes conclusiones: 1) Aunque los parámetros del modelo SWAT no fueron ajustados y tampoco se realizó un análisis de sensibilidad para determinar qué parámetros son más sensibles a cambios pequeños, el hecho de que el modelo funcione sin calibración es un indicativo significativo de su desempeño en ausencia de datos de aforo, una situación común en muchos países. 2) Se caracteriza

particularmente valiosa el modelo SWAT, ya que es recomendado para cuencas que carecen de registros de aforo. 3) Evaluar las implicaciones físicas y económicas de la degradación de las cuencas nos permitiría comprender la relevancia de los servicios ecológicos que proporcionan. Además, esta acción representaría un primer paso hacia la planificación y gestión integral de las cuencas.

Para Gonzales & De la Ossa (2018), en su investigación denominada “*Metodología para estimar hidrogramas de crecientes a partir de modelos lluvia-escorrentía empleando hyfran y hec-hms. casode estudio: cuenca del arroyo Matute, localizado en el departamento de Bolívar*” tuvo como objetivo desarrollar un enfoque para calcular hidrogramas de crecida relacionados con varios intervalos de recurrencia utilizando recursos informáticos de acceso gratuito, como Hyfran y Hec-HMS, junto con los datos hidrometeorológicos disponibles. Mediante la estimación de comportamiento de las cuencas y los cálculos de hidrogramas para los periodos de retorno que se tengan diferentes, las tesisas propusieron los siguientes pasos para la obtención del hidrograma de caudal: 1) Calcular la intensidad de precipitación para distintos períodos de recurrencia. 2) Evaluar las variaciones temporales de la precipitación. 3) Estimar las pérdidas por infiltración. 4) Calcular el hidrograma unitario. 5) Aplicar el método de convolución numérica. 6) Generar el hidrograma de caudal. No obstante, se encuentran numerosos obstáculos en el acceso a tales recursos, especialmente debido a los costos significativos que su adquisición implica. Por esta razón, surge la necesidad de proponer un enfoque para la predicción de hidrogramas de crecida con distintos intervalos de recurrencia. Este enfoque se basaría en programas comerciales ya existentes y, en conjunto con los datos hidrometeorológicos disponibles, permitiría obtener soluciones mediante herramientas computacionales de bajo costo. Esto sería de gran utilidad para abordar problemas en diversas situaciones de estudio hidrológico y, por ende, para el progreso de pequeñas y medianas empresas en este ámbito. Obteniendo como resultado las siguientes conclusiones: En el caso del Arroyo Matute, se

realizaron estimaciones de hidrogramas de crecida relacionados con distintos intervalos de recurrencia empleando los programas Hyfran y Hec-HMS. Los resultados arrojaron los siguientes valores de caudal máximo: para un periodo de retorno de 2.33 años, se obtuvo un caudal pico de 38.5 m<sup>3</sup>/s.

Para Chamat (2019), en su trabajo de investigación denominado “Modelación de lluvia-escorrentía y del fenómeno de primer lavado generado por eventos de precipitación en un tren de suds. caso de estudio piloto parque metropolitano San Cristóbal” que tuvo como objetivo el discernir y evaluar los impactos originados por la urbanización y la consiguiente impermeabilización en los procesos hidrológicos naturales, se requiere llevar a cabo un seguimiento continuo de variables clave en la cuenca, tales como la precipitación, los caudales y la calidad de la escorrentía. En particular, se enfocó en la evaluación del parámetro de sólidos suspendidos totales (SST) para analizar el nivel de carga contaminante en la escorrentía. La elección de los sólidos suspendidos totales como indicador se justifica dado que se ha observado que constituye el principal medio de transporte para contaminantes habituales presentes en la escorrentía, incluyendo metales pesados. Dando las siguientes conclusiones: Los propósitos de la medición de caudales y sólidos suspendidos totales (SST) para diversos eventos de precipitación examinados se lograron gracias a las actividades de recolección de muestras llevadas a cabo en el primer semestre de 2018. Este éxito fue posible gracias al esfuerzo del equipo encargado de las tareas de campo y a la colaboración brindada por la entidad de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá, cuya contribución se reflejó en los análisis de laboratorio realizados. En lo que respecta a la calibración hidrológica del modelo para los eventos analizados, la herramienta CITY DRAIN resultó invaluable al permitir el descarte inicial de aquellos eventos en los cuales la alta incertidumbre y la inconsistencia de los datos recolectados en el campo habrían generado un costo computacional considerable para su calibración. De los eventos en los cuales fue factible llevar a cabo la calibración, se puede concluir que

CITY DRAIN demostró una eficacia notable, ya que logró calibrar el 60% de los eventos analizados. Además, el valor promedio del coeficiente de eficiencia de Nash-Sutcliffe (NSE) fue de 0.89, indicando una muy buena concordancia entre las series de caudales modelados y la calibración de los parámetros.

Según Flores, G., Martínez, R., & Rivera, J. (2024) en su tesis llamada “Modelamiento de precipitación-escorrentía en la Quebrada Caupicho, Ecuador (2024)” tuvo como objetivo analizar la respuesta hidrológica de la cuenca de la Quebrada Caupicho, Quito, mediante el modelo hidrológico HEC-HMS, evaluando eventos extremos de precipitación y su impacto en los caudales pico. Metodología: Se utilizaron datos de precipitación de eventos registrados el 12 de abril de 2020. Se calibró y validó HEC-HMS para simular caudales en periodos de retorno de 10 y 50 años. Resultados: Se observó un incremento en los caudales pico debido a la urbanización y cambios en el uso del suelo, reduciendo los tiempos de concentración y aumentando la escorrentía. Relevancia para la investigación: Este estudio resalta la importancia de los modelos hidrológicos en la predicción de escorrentía y la gestión de cuencas urbanas, similar a la cuenca del río Higueras.

Para Méndez, L., García, C., & Soto, A. (2024) en su tesis denominada “Predicción de sequías con inteligencia artificial en la cuenca del Río Santa Lucía, Uruguay (2024)” tuvo como objetivo desarrollar un sistema basado en inteligencia artificial para predecir sequías en la cuenca del Río Santa Lucía, Uruguay, usando imágenes satelitales y machine learning. Metodología: Se aplicaron redes neuronales artificiales (RNA) a datos hidrometeorológicos para predecir reducciones de caudal del río. Resultados: El modelo de IA alcanzó un 85 % de precisión en la predicción de crisis hídricas, facilitando la planificación de recursos. Relevancia para la investigación: Demuestra cómo la modelación computacional puede mejorar la gestión de recursos hídricos, aplicable a la modelación en la cuenca del río Higueras.

Para Fernández, P., Navarro, J., & Ruiz, D. (2024), en su estudio de investigación denominada “Análisis de capacidad de drenaje en la Región de Murcia, España (2024)” tuvo como objetivo evaluar la capacidad de drenaje en localidades de la Región de Murcia frente a eventos extremos de precipitación. Metodología: Simulaciones de escorrentía con modelos hidrológicos y de transporte de sedimentos para analizar riesgos de inundación. Resultados: Se identificaron zonas críticas con alto riesgo de inundación y se propusieron mejoras en drenaje pluvial e infraestructura verde. Relevancia para la investigación: Demuestra cómo los modelos hidrológicos pueden ayudar a la planificación y mitigación de inundaciones, reforzando la importancia de modelar la cuenca del río Higueras.

### **2.1.2. ANTECEDENTES NACIONALES**

Según Alvarado (2021) en su tesis denominada “Modelación de máximas avenidas a paso diario (1964-2014), con enfoque semidistribuido usando GR4J, en la cuenca del río Camaná” tiene el propósito consiste en adoptar un modelo de transformación de precipitación a escorrentía (GR4J) a nivel cotidiano en el área de drenaje del río Camaná, adoptando un enfoque semi distribuido a través de la plataforma RS-MINERVE. Este enfoque tiene como objetivo representar de manera precisa los flujos diarios promedio durante épocas de aumento del caudal y sequías. La intención es proporcionar una alternativa para anticipar caudales en situaciones de avenidas máximas, lo que permitirá emitir alertas tempranas frente a la posibilidad de eventos extremos. Estas alertas se ajustarán a los umbrales o niveles de alerta actuales utilizados en la cuenca del río Camaná. La implementación del Modelo GR4J implicó, en una primera etapa, comprender la morfología de la cuenca del Camaná a través de un Sistema de Información Geográfica. Se recopilaron datos de entrada como precipitación y temperatura, y datos de salida como caudales. A través de un análisis exploratorio de datos, se empleó la técnica del Vector Regional para agrupar estaciones y completar datos faltantes

posteriormente. Para llevar a cabo esta implementación, se utilizó la plataforma RS-MINERVE, que incluye el Modelo GR4J. La puesta en marcha de este modelo requirió la creación de un esquema de Modelos Hidrológicos mediante objetos hidrológicos, considerando ríos, infraestructuras y estaciones virtuales, junto con las condiciones iniciales de los parámetros. Obteniendo las siguientes conclusiones: La evaluación de los Caudales Observados en comparación con los Caudales Simulados resultó en un valor de coeficiente de determinación ( $R^2$ ) de 0.8672. La utilización práctica de la modelación a través del Modelo GR4j en la cuenca del río Camaná en intervalos diarios permitiría la generación de pronósticos de caudales en la Estación Hidrométrica Huatiapa. Esta información resulta crucial para predecir los caudales aguas abajo y emitir alertas de manera oportuna a las comunidades ribereñas, e incluso a la ciudad de Camaná.

Para Alvarado (2017) en su tesis denominada "Modelación del proceso lluvia escorrentía usando sistemas de información geográfica, teniendo como objetivos la metodología para llevar a cabo la modelación de la propagación del flujo en una cuenca hidrográfica mediante la utilización de sistemas de información geográfica (SIG)". En esta tesis se describen diversas aproximaciones para abordar la propagación del flujo en una cuenca hidrográfica, y se expone el motivo por el cual se selecciona el enfoque de propagación "desde la fuente hasta la salida" para este estudio en particular. Se desarrolla una metodología que emplea SIG para calcular el caudal directo en el punto de salida de una cuenca hidrográfica. Para lograr esto, se introducen datos de topografía, propiedades del suelo y precipitación efectiva, los cuales están distribuidos de manera espacial en toda la cuenca. Es fundamental enfatizar que este trabajo presenta la metodología general aplicable para la modelación de cualquier cuenca en cualquier parte del mundo, utilizando SIG y siguiendo el enfoque de propagación del flujo "desde la fuente hasta la salida". No obstante, para obtener información precisa y detallada acerca de una cuenca en particular, se requieren características específicas del terreno y datos concretos de

precipitación, así como los caudales observados correspondientes para llevar a cabo la calibración adecuada del modelo. Generando las siguientes conclusiones: Las herramientas de sistemas de información geográfica resultan valiosas en la modelación hidrológica gracias a su capacidad sobresaliente para gestionar datos de forma espacial. La integración del lenguaje de programación Visual Basic con ArcView mostró una adaptabilidad considerable en la implementación computacional del modelo hidrológico. Esto se debe a que permite procesar y gestionar matrices de dimensiones considerables, que pueden alcanzar miles de celdas. La estrategia de subdividir la cuenca en un gran número de celdas fuente con dimensiones uniformes garantiza, por un lado, la coherencia del modelo hidrológico, y, por otro lado, facilita la gestión de diversas aplicaciones del modelo mediante el archivo de centros de cada una de estas celdas fuente.

Para Canales (2017), en su estudio de investigación “Modelación del proceso precipitación escorrentía en la cuenca del río Ica” en el que llevan a cabo un modelado hidrológico para evaluar el proceso de precipitación escorrentía en la cuenca del río Ica mediante el uso, teniendo como objetivo el modelamiento del proceso de precipitación mediante el PRECAUD, esta tesis sirve como guía para el uso del programa que se empleara en esta tesis, dando como resultado las siguientes conclusiones: Se llevó a cabo un análisis exhaustivo, el proceso de afinación, calibración y validación del modelo hidrológico PRECAUD. A través del estudio de sensibilidad, se examinó cómo responde el sistema hidrológico a cambios en los parámetros del modelo en cada zona de aporte. Esto pudo clasificar los parámetros en función de su relevancia en la reacción del modelo. La evaluación de la eficacia del modelo hídrico se realizó durante la fase de validación, lo cual fue una experiencia singular y específico para cada cuenca de drenaje. Los resultados de esta calibración fueron considerados satisfactorios, lo que indica que PRECAUD v1.0 cuenta con la capacidad suficiente para modelar los procesos hidrológicos en la Cuenca del Río Pucará-Rímac-Ica (CPRI). Se llevó a cabo una evaluación de la disponibilidad histórica

de recursos hídricos en superficie (1964-2011), y se realizó una estimación de la futura producción (2019-2038/2070-2098) en cada cuenca de drenaje utilizando la probabilidad de excedencia como métrica. En términos históricos, se encontró que el área de contribución I (Río Tambo) exhibe un incremento producción hídrica en comparación con el área II (Río Santiago), y esta diferencia se mantiene en los periodos futuros. Para el periodo 2020-2039, se proyecta un aumento en los flujos observados en la estación La Achiana, con aumentos que varían entre un 2.9% y un 125.6%. Estos incrementos equivalen a variaciones respecto a la media en el rango de 0.13 a 1.09 m<sup>3</sup>/s. Similarmente, para el periodo 2079-2098, se anticipa un incremento en las descargas que oscila entre un 12% y un 128%, lo que representa aumentos por encima del promedio de 1 a 1.2 metros cúbicos por segundo.

Para Gutiérrez, M., Ramos, S., & Torres, J. (2024) en su tesis titulada “Comparación de modelos precipitación-escorrentía en la Cuenca del Río Coata, Perú (2024)” tuvo como objetivo: Evaluar el desempeño de modelos hidrológicos en la simulación del proceso precipitación escorrentía en la cuenca del río Coata, Puno. Metodología: Se utilizaron los modelos SWAT y HEC-HMS con datos de 2000-2020, evaluando su precisión mediante el coeficiente de Nash-Sutcliffe. Resultados: SWAT mostró mejor capacidad predictiva (NSE > 0.85) comparado con HEC-HMS (NSE ≈ 0.78), destacando la importancia de la selección del modelo. Relevancia para la investigación: Reafirma la utilidad de modelos hidrológicos para simular la relación precipitación escorrentía en cuencas sin medición directa de caudales.

Para Rojas, F., Quispe, L., & Delgado, E. (2024) en su tesis titulada “Modelamiento de precipitación-escorrentía aplicando inteligencia artificial en la Cuenca del Río Chancay Lambayeque, Perú (2024)” tuvo como objetivo: Implementar un modelo híbrido de IA y modelación 24 hidrológica para simular escorrentía en la cuenca del río Chancay Lambayeque. Metodología: Se aplicó el modelo distribuido TETIS y

redes LSTM a datos de 1991-2020 para predecir caudales. Resultados: El modelo basado en LSTM tuvo una eficiencia Nash-Sutcliffe de 0.927, mostrando alta precisión en la predicción hidrológica. Relevancia para la investigación: Valida la posibilidad de integrar modelos hidrológicos como PRECAUD v1.0 con técnicas avanzadas para mejorar la estimación de producción hídrica superficial.

### **2.1.3. ANTECEDENTES LOCALES**

Según Garay & Vicente (2021), La investigación titulada "Análisis Hidráulico para la Mitigación de Riesgos de Inundación en el Río Nupe" se centró en el estudio detallado de la cuenca y la realización de un análisis específico para el río Nupe. En esta región, las máximas crecidas que ocurren en los meses de enero, febrero y marzo causan desbordamientos del río, resultando en daños a los cultivos y pastoreo en la localidad de Pilcocancha. El objetivo principal de esta investigación es abordar el problema de inundaciones identificando y aplicando un análisis hidráulico para reducir los riesgos asociados al río. El enfoque metodológico se basa en el uso del software Hec-Ras para realizar el análisis hidráulico. El proceso comienza con una descripción exhaustiva de la cuenca, incluyendo su accesibilidad. Después se enfoca en la caracterización geomorfológica de la cuenca, considerando aspectos ecológicos, geomorfológicos y la calidad del agua. Posteriormente, se lleva a cabo un análisis hidrológico que aborda la identificación de caudales máximos utilizando el método del número de curva. En resumen, esta investigación se propone resolver la problemática de inundaciones en la cuenca del río Nupe a través de un análisis hidráulico detallado, en el cual se hace uso del método de escorrentía y precipitación y se puede usar como base teórica para el desarrollo de esta investigación.

Los estudios revisados destacan la importancia de los modelos hidrológicos en la estimación de la producción hídrica superficial. Se ha demostrado la capacidad de estas metodologías para mejorar la

precisión en la simulación de caudales, evidenciando la aplicabilidad del modelo PRECAUD v1.0 en la cuenca del río Higueras.

Según Espinoza (2023), en su tesis denominada “Generación y calibración de caudales medios mensuales con el modelo GR2M en la subcuenca del río Higueras”, en este estudio se centró en la aplicación del modelo hidrológico GR2M para simular la esorrentía en la subcuenca del río Higueras. Se utilizaron datos mensuales de precipitación, evapotranspiración y caudal para calibrar y validar el modelo. Los resultados mostraron un coeficiente de Nash-Sutcliffe de 0.821 y un coeficiente de determinación de 0.852, indicando una buena precisión en las simulaciones. Además, se proyectaron las demandas futuras de agua para los años 2029, 2039 y 2049, identificando un déficit hídrico en los meses de julio a octubre. Este antecedente es directamente aplicable a tu investigación, ya que aborda la modelación hidrológica en la misma cuenca de estudio, proporcionando una base sólida para comparar y validar los resultados obtenidos con el modelo PRECAUD v1.0.

Castro (2021), en su tesis titulada “Modelación hidráulica e hidrológica del río Huallaga para reducir la vulnerabilidad ante inundaciones en la Urbanización Huayopampa, Distrito de Amarilis, Huánuco”, Este trabajo se centró en identificar zonas vulnerables a inundaciones en la Urbanización Huayopampa mediante la modelación hidrológica e hidráulica del río Huallaga. Se utilizaron datos pluviométricos y herramientas como HEC-RAS para simular escenarios de inundación y elaborar mapas de riesgo. Los resultados facilitaron la identificación de áreas críticas y la propuesta de medidas para mitigar el riesgo de inundaciones. Aunque se enfoca en el río Huallaga, este estudio es relevante por su proximidad geográfica y por utilizar metodologías similares a las que podrías emplear en tu investigación, ofreciendo un marco de referencia para la aplicación de modelos hidrológicos en la región

Estos antecedentes sustentan la relevancia y viabilidad de la presente investigación, ya que reafirman la utilidad de la modelación hidrológica para la gestión de recursos hídricos en cuencas sin medición directa de caudales.

## **2.2. BASES TEÓRICAS**

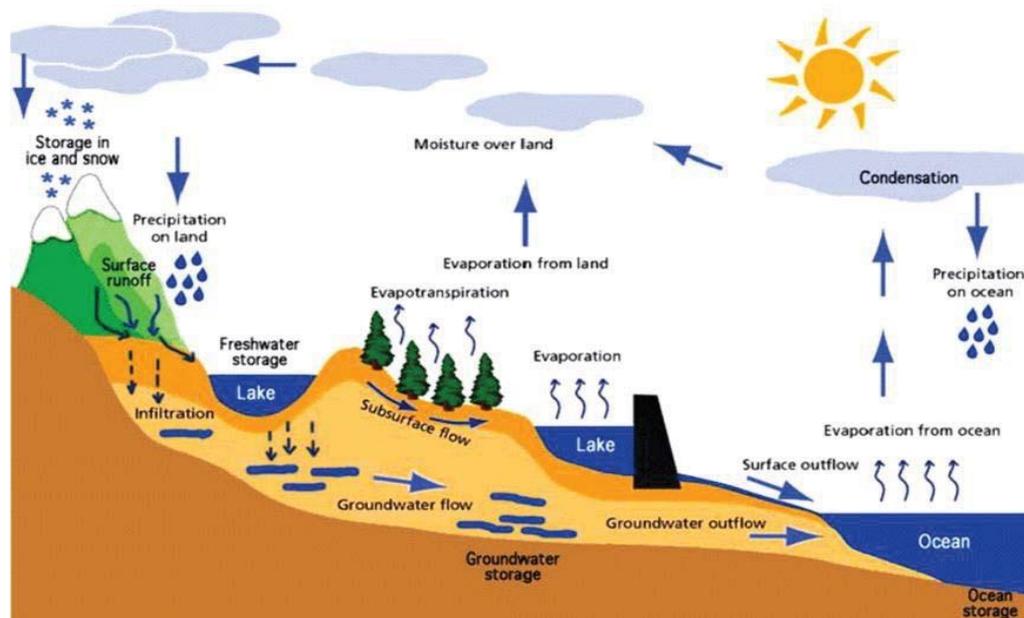
### **2.2.1. CICLO DEL AGUA**

Es un proceso global en constante movimiento que involucra la circulación cerrada del agua entre la superficie terrestre y la atmósfera. Este fenómeno es impulsado principalmente por la energía solar, la gravedad y la rotación de la Tierra. En este ciclo, la superficie terrestre abarca continentes y océanos, y se caracteriza por la existencia de una capa permeable que se extiende sobre los continentes y un vasto depósito de agua en forma de océanos.

El ciclo hidrológico comprende diversos aspectos, incluyendo el movimiento del líquido vital en la superficie terrestre, su infiltración a suelos y rocas, así como su circulación en los océanos y su participación en los procesos biológicos. La Figura 1 proporciona una representación esquema de este ciclo hídrico, como se describen sus componentes en detalle. (Breña, 2006, pág. 23)

**Figura 1**

*Representación esquemática del ciclo del agua*



*Fuente.* (Escenarios Hidricos 2030, 2021), se muestra el proceso de ciclo del agua desde el inicio al final

## 2.2.2. PRECIPITACIÓN

La precipitación engloba fenómenos como las precipitaciones, la nevada y otros fenómenos que implican la generación del agua descendiende hacia la superficie del suelo, incluyendo el granizo y la aguanieve. La creación de la precipitación necesita que cuando una cantidad de agua en la atmósfera se eleva y se enfría, una parte de su humedad se condensa. Conforme el aire asciende y se enfría, el vapor de agua se convierte en líquido. Si la temperatura es inferior al punto de congelación, se crean cristales de hielo. Para que se produzca esta condensación, se necesita una partícula conocida como núcleo de condensación, donde las moléculas de agua tienen la posibilidad de agruparse. Estas gotas pequeñas de agua aumentan de tamaño a medida que se condensan y chocan con otras debido a la turbulencia del aire, hasta que alcanzan un tamaño que supera la resistencia del aire, lo que hace que comiencen a caer y se agranden aún más al colisionar con otras gotas en su descenso.

### 2.2.3. INTERCEPCIÓN

Este proceso implica que la vegetación retiene temporalmente la precipitación, ya que parte de esta agua vuelve a la atmósfera debido a la evaporación, o puede volver al suelo debido a la acción del viento, o cuando la vegetación ya no puede retener más agua debido a su capacidad de almacenamiento alcanzada se satura. La determinación de esta fenómeno resulta valiosa para revisar la cantidad de precipitación que, en última instancia, llega a la tierra, ya que esta cantidad es fundamental para el desarrollo de las fases restantes del ciclo hidrológico en una cuenca o área determinada. (Martinez E. , 2005)

La persona que presentó una fórmula empírica para calcular la retención de agua por parte de la vegetación propuso la siguiente expresión  $L = a + b.P^n$ . Esta fórmula permite estimar la cantidad de agua retenida por la vegetación original, y los datos de los parámetros a y b se encuentran detallados en la Tabla 1. La mayoría de los tipos de cobertura vegetal estudiados por Horton (1919), se recomienda un valor de 1 para el exponente n en esta ecuación, a excepción de los bosques de pinos, para los cuales el valor de n es de 0.5. La fórmula proporcionada, P representa la precipitación total mensual medida en milímetros. (Campos D. , 1992)

**Tabla 1**

*Coef. del modelo de Horton para intercepción-captura*

| <b>Tipo de cobertura vegetal</b> | <b>A</b> | <b>B</b> |
|----------------------------------|----------|----------|
| <b>Huertos</b>                   | 1.016    | 0.18     |
| <b>Fresnos</b>                   | 0.508    | 0.18     |
| <b>Haya</b>                      | 1.016    | 0.18     |
| <b>Robles</b>                    | 1.27     | 0.18     |
| <b>Arce</b>                      | 1.016    | 0.18     |
| <b>Sauce</b>                     | 0.508    | 0.4      |
| <b>Pinos</b>                     | 1.27     | 0.2      |
| <b>Habas</b>                     | 1.667 h  | 0.492 h  |

*Fuente.* (Horton, 1919), se muestra los coeficientes para cuando se use el modelo de Horton.

### 2.2.4. EVAPORACIÓN

Se puede describir como una transformación física en la que un líquido o sólido se convierte en forma gaseosa. En el contexto

meteorológico, la evaporación se refiere específicamente al proceso de agua líquida a vapor causada por la energía solar y los procesos de dispersión molecular y turbulenta. Además de la energía solar, los factores meteorológicos que afectan la evaporación, especialmente en cuerpos de agua abiertos, comprenden la temperatura del aire, la velocidad del viento y la presión de vapor. A una temperatura de 25°C, este cambio de estado consume 585 calorías por gramo. Por lo tanto, la evaporación está mayormente determinada por la disponibilidad de energía originada por la energía del sol. La temperatura del aire se encuentra estrechamente relacionada con la radiación solar y, por lo tanto, exhibe una correlación positiva con la evaporación. Un incremento en la temperatura atmosférica promueve la evaporación, ya que genera que más vapor de agua pueda existir en un volumen de aire dado antes de que se alcance el punto de saturación. (Tucci, 1993)

La evaporación que ocurre desde la superficie terrestre involucra dos componentes principales: la evaporación directa desde la superficie del suelo y la superficie de la vegetación, así como la transpiración a través de las hojas de las plantas. En este proceso, el agua es extraída del suelo por las raíces de las plantas, se transporta hacia arriba a lo largo de sus tallos y se libera a la atmósfera a través de pequeñas aberturas en las hojas conocidas como estomas. Estos dos procesos, la evaporación desde la superficie terrestre y la transpiración de la vegetación, se agrupan bajo el término evapotranspiración. (Chow, Maidment, & Mays, 1994)

$$E_o = C (e_s - e_o) f(u), \text{ en (mm/día)}$$

Donde:

C: Es una función que depende de varios factores meteorológicos.

$e_s$ : Representa la presión de saturación de vapor del aire a la temperatura de la capa límite que separa el agua y el aire.

$e_o$ : Corresponde a la presión de vapor de agua a la temperatura del aire.

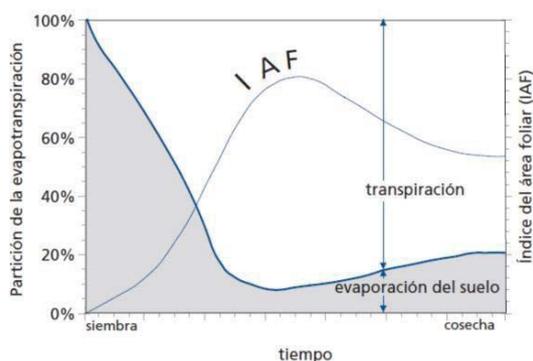
$f(u)$ : Es una función que varía en función de la velocidad del viento.

## 2.2.5. EVAPOTRANSPIRACIÓN

Este proceso se origina debido a la suma de la evaporación procedente de la superficie húmeda del suelo y cuerpos de agua, junto con la pérdida de agua por parte de la vegetación (según Chow, 1994). El proceso de evaporación y la pérdida de agua a través de la transpiración se suceden de manera simultánea, y no existe una manera sencilla de distinguir uno de otro. Además de la presencia de agua en las capas superficiales del suelo, la evaporación en suelos cultivados se ve principalmente afectada por la cantidad de radiación solar que alcanza la superficie del suelo. La cantidad de radiación solar se reduce a medida que la vegetación crece y proyecta más sombra sobre el suelo durante su crecimiento y desarrollo. Durante las etapas iniciales del cultivo, la pérdida de agua se debe principalmente a la evaporación directa desde el suelo, pero a medida que el cultivo crece y finalmente cubre completamente el suelo, la transpiración se vuelve el proceso dominante. La Figura 2 representa descomponiendo la evapotranspiración en sus dos elementos constituyentes (evaporación y transpiración), basándose en la cantidad de área foliar por unidad de superficie de suelo. Durante las etapas iniciales de la siembra, casi toda la evapotranspiración se produce en forma de evaporación. Sin embargo, a medida que la vegetación crece y se desarrolla, más del 90% de la evapotranspiración ocurre como transpiración.

**Figura 2**

*Evaporación durante el crecimiento del cultivo anual de forma repartida*



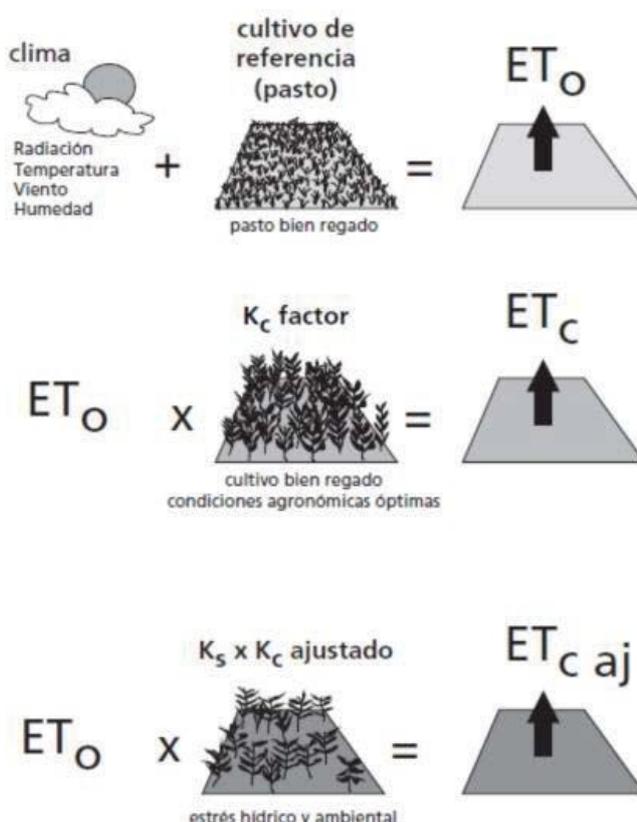
*Fuente.* (FAO, 2006), se muestra el gráfico de evapotranspiración de un cultivo repartido de forma anual

Además, la FAO (2006) proporciona explicaciones sobre los siguientes conceptos:

La velocidad de evapotranspiración de una superficie estándar, la cual se produce bajo condiciones ideales de agua, se denomina evapotranspiración de referencia ( $ET_0$ ). Esta La superficie estándar se relaciona con un cultivo imaginario de pasto con atributos particulares. No es aconsejable utilizar términos distintos, como evapotranspiración potencial, debido a posibles ambigüedades en su descripción. Los solos elementos que influyen en la  $ET_0$  son los parámetros climáticos. Por consiguiente, la  $ET_0$  se considera también un aspecto climático que podría determinarse mediante datos meteorológicos. La  $ET_0$  refleja la capacidad de evaporación de la atmósfera en una ubicación y período de tiempo determinados, sin tener en cuenta ni las particularidades del ni las características del suelo ni los elementos del cultivo.

**Figura 3**

*Evapotranspiración de cultivo*



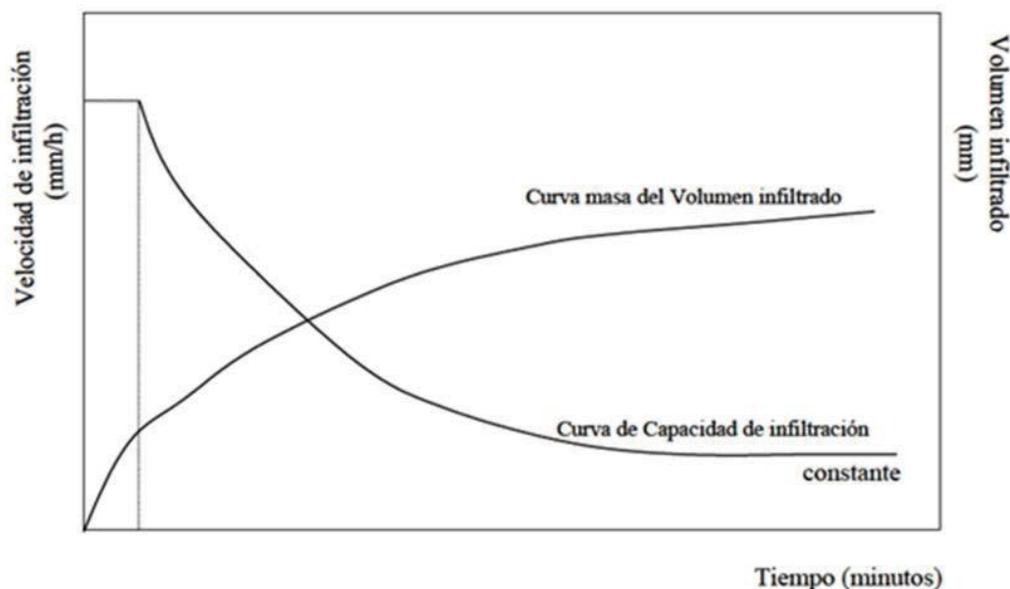
*Fuente.* (FAO, 2006), se muestra el proceso de la evaporación del cultivo

## 2.2.6. INFILTRACIÓN

La infiltración desempeña un papel crucial en la relación entre la lluvia y el flujo de agua superficial, lo que tiene un impacto significativo en los desafíos relacionados con el diseño y la predicción de obras hidráulicas. Durante una tormenta determinada, el volumen de agua que se infiltra en el suelo es varias veces mayor que el volumen de agua que se convierte en escurrimiento, únicamente en áreas con un grado relativamente bajo de urbanización (Aparicio, 1992). Usualmente, la velocidad de infiltración empieza con un nivel elevado para luego decrecer gradualmente durante precipitaciones continuas, alcanzando finalmente un nivel reducido y casi constante, tal como se ilustra en la Figura 4.

**Figura 4**

*Capacidad de infiltración*



*Fuente.* (FAO, 2006), relación de la capacidad de infiltración

## 2.2.7. ESCORRENTÍA SUPERFICIAL

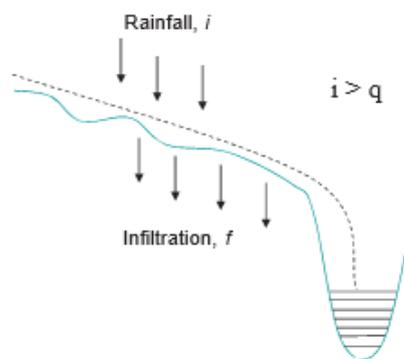
Horton (1933) define el escurrimiento superficial como aquel que ocurre cuando la lluvia no se absorbe en el suelo y, en su lugar, fluye sobre la superficie del terreno, sin considerar la intercepción por parte de la vegetación. Cuando la intensidad de la lluvia, representada como  $i$ , es inferior a la capacidad de infiltración del suelo, denotada como  $f$  y medida

en milímetros por hora, toda la lluvia se absorbe por completo y no hay flujo superficial, como se muestra en la Figura 5. Aproximadamente, se podría expresar que, si  $i$  supera a  $f$ , el flujo superficial ocurre a una velocidad equivalente a la diferencia entre ambos valores, es decir,  $(i - f)$ .

Es crucial señalar la distinción entre el flujo superficial saturado y el flujo superficial según el método de Horton. Según Chow (2006), La diferencia entre el escurrimiento superficial saturado y el escurrimiento superficial según el método de Horton radica en que, en este último caso, el suelo alcanza su saturación a partir de la superficie debido a En el flujo superficial de saturación, el suelo alcanza su saturación a partir del subsuelo debido al flujo subterráneo. El escurrimiento superficial saturado generalmente se da con mayor frecuencia en la parte baja de las pendientes de las colinas, cerca de los bordes de los cuerpos de agua.

**Figura 5**

*Flujo superficial*



*Fuente.* (Horton, 1919), grafico del flujo superficial para tenerse en cuenta

## 2.2.8. HIDROMETEOROLÓGICA

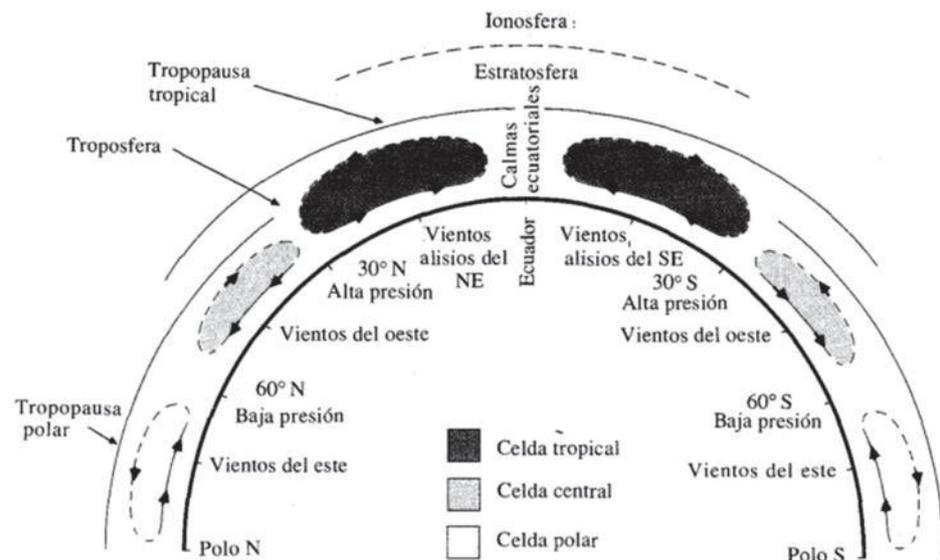
### Troposfera

Chow (2006) sostiene que el sistema de circulación atmosférica sigue un patrón que consta de tres células en cada hemisferio, como se ilustra en la Figura 6. En la célula tropical, el aire caliente se eleva en la región ecuatorial, se desplaza hacia las zonas polares en las capas

superiores de la atmósfera, pierde calor y desciende alrededor de la latitud de 30°. A nivel de la superficie terrestre, se bifurca en dos corrientes, una que se desplaza en dirección al ecuador y otra en dirección a los polos. En la región polar, el aire se eleva alrededor de la latitud de 60° y se desplaza en dirección a los polos en las capas más altas, posteriormente se enfría y retorna cerca de la superficie terrestre hacia la latitud de 60°. La célula central es inducida por la fricción producida por las otras dos células; su aire superficial se desplaza hacia los polos, formando un patrón de circulación de aire principal de oeste a este en las latitudes intermedias.

**Figura 6**

*Circulación de la atmósfera*



*Fuente.* (Chow, Maidment, & Mays, 1994), se muestra como es el proceso de circulación en la atmósfera.

## Temperatura

La comprensión de cómo se forma la precipitación es fundamental y depende en gran medida de cómo está distribuida la temperatura en la atmósfera. La lluvia se origina cuando el vapor de agua presente en la atmósfera se condensa debido al enfriamiento, alcanzando así su nivel de saturación. La temperatura atmosférica cambia debido a la alternancia entre el día y la noche, los cambios estacionales, la presencia de nubes (que alteran la reflectividad de la superficie) y el movimiento de

corrientes de aire. Esta variabilidad en la temperatura se puede describir en términos de un gradiente de temperatura promedio, que muestra una disminución de 6.5°C por cada kilómetro de ascenso en la atmósfera. (Martinez E. , 2005)

### **Humedad de la Atmosfera**

La humedad atmosférica refleja la cantidad de vapor de agua presente en la atmósfera, la cual se origina a partir de procesos de evaporación que ocurren en cuerpos de agua (tales como cuerpos de agua como ríos, lagos y mares), en suelos con contenido de humedad y por medio de la transpiración de las plantas. La humedad presente en la atmósfera es importante por dos razones principales: en primer lugar, es la fuente de origen de las precipitaciones, es decir, de las aguas que caen del cielo; en segundo lugar, influye en la velocidad a la que se produce la evaporación. (Chereque, 1987)

### **2.2.9. MODELOS CLIMÁTICOS**

Un modelo climático se refiere a una representación matemática del clima. Para lograr esto, estos modelos fragmentan la Tierra, los océanos y la atmósfera en una estructura de malla o red. En cada punto de esta red, se calculan los datos de diversos factores cambiantes climáticas, tales como la presión atmosférica, la velocidad del viento, la temperatura, la humedad y la lluvia, a lo largo del tiempo para prever sus valores futuros. El período de tiempo entre cada conjunto de cálculos, es decir, el intervalo de tiempo el espacio entre una solución y la siguiente en los modelos depende de la resolución de la malla utilizada: a mayor detalle en la resolución, menor será el intervalo entre cada cálculo. (Canales, 2017)

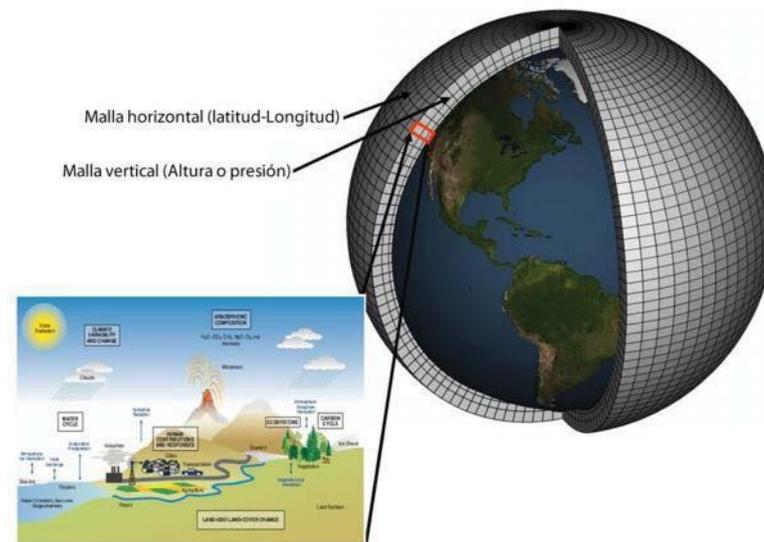
### **Modelo de circulación global (MCG)**

Los modelos de circulación general (MCG) son considerados la metodología más sofisticada para simular el clima. La elaboración tridimensional (3-D) La construcción del modelo se fundamenta en los

principios básicos de la física, que abarcan la conservación de la energía, el momento y la masa, además de la aplicación de la ley de los gases ideales (conforme se observa en la Figura 8). Al emplear programas informáticos complejos para resolver estas ecuaciones en relación con la atmósfera o el océano, se obtiene un modelo de circulación general atmosférica (AGCM) o un modelo de circulación general oceánica (OGCM). Cuando se incorporan elementos adicionales, como un modelo de la banquisa marina o un modelo para simular la evaporación y transpiración de la tierra, se obtiene un Modelo de Circulación General Atmosférica y Oceánica (AOGCM), el cual constituye la estructura fundamental de un modelo climático integral. (Sun & Hansen, 2003)

**Figura 7**

*Esquema del MCG*



*Fuente.* NOAA, se muestra el esquema de circulación global.

## 2.2.10. SISTEMA HIDROLÓGICO

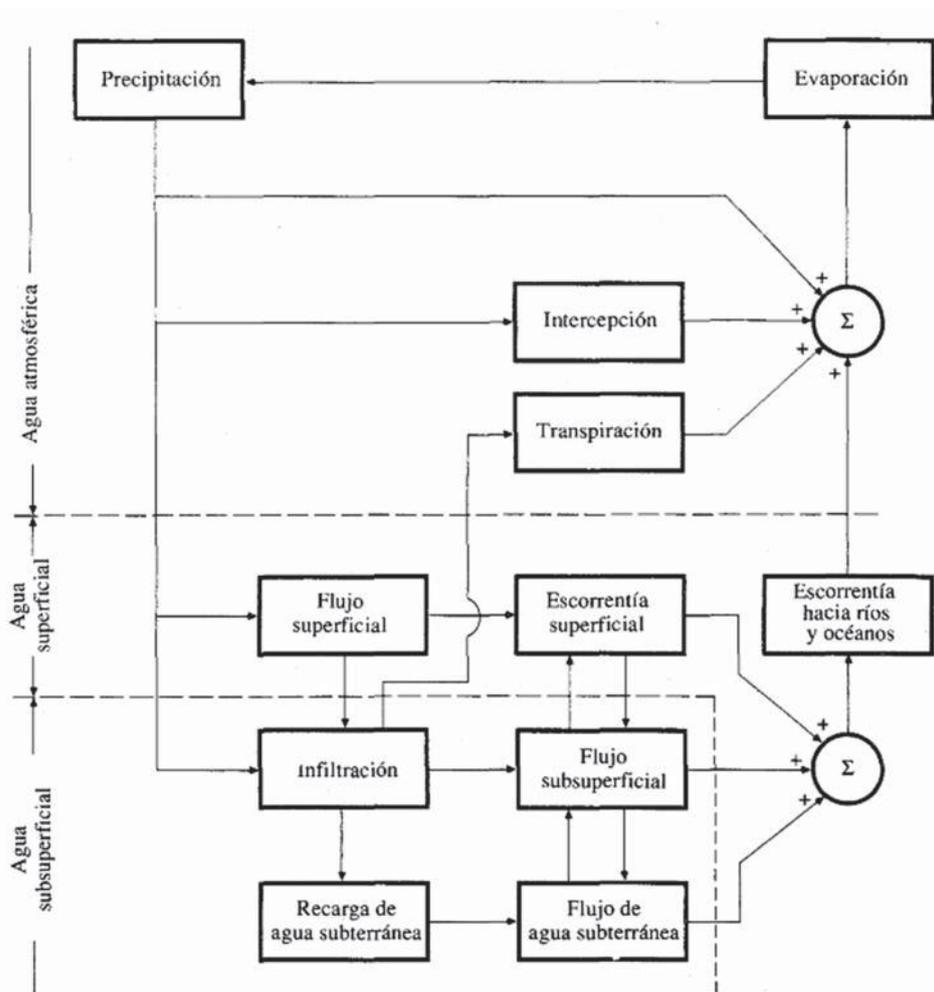
Un sistema se refiere a un conjunto de elementos interconectados que operan como una unidad integral. El ciclo hidrológico puede ser considerado como un sistema en el cual sus elementos principales incluyen la precipitación, la evaporación, la escorrentía y otras etapas involucradas en el ciclo del agua. Estos elementos pueden ser subdivididos en subsistemas más específicos dentro del ciclo hidrológico

global. Para comprender el sistema en su totalidad, es posible analizar estos subsistemas más simples de manera individual y luego combinar los resultados, teniendo en cuenta las interacciones que ocurren entre los diferentes subsistemas. (Chow, Maidment, & Mays, 1994)

La Figura 8 ofrece una representación gráfica del ciclo hidrológico, considerándolo como un sistema. El gráfico se divide en tres subsistemas mediante líneas discontinuas: el sistema de agua atmosférica, que incluye procesos como la precipitación, la evaporación, la interceptación y la transpiración; el sistema de agua superficial, que abarca procesos como el flujo superficial, la escorrentía superficial, los manantiales de agua subsuperficial y subterránea, y la escorrentía hacia ríos y océanos; y el sistema de agua subsuperficial, que comprende procesos como la infiltración, la recarga de acuíferos, el flujo subsuperficial y el flujo de agua subterránea en capas profundas de suelo y roca. En términos generales, se puede definir un sistema hidrológico como una entidad o un espacio delimitado en el espacio, que recibe entradas de agua y otros elementos, realiza operaciones internas en estos componentes y produce salidas en forma de productos hidrológicos.

**Figura 8**

Diagrama del sistema global hidrológico



Fuente. (Chow, Maidment, & Mays, 1994), se muestra un gráfico donde se explica el sistema global hidrológico.

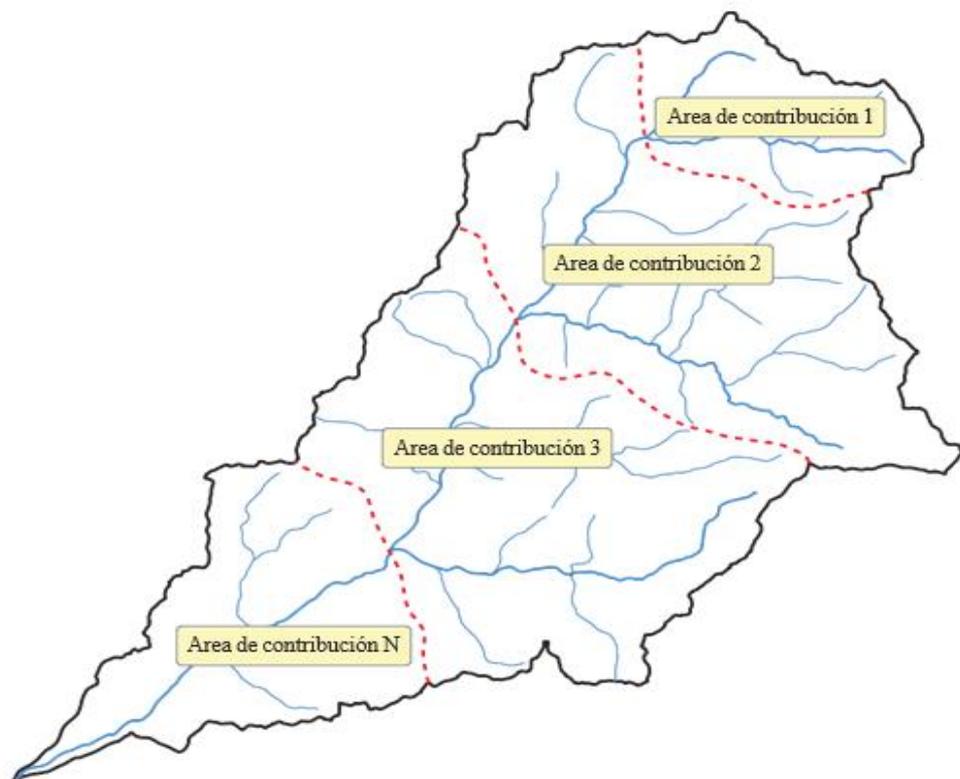
### 2.2.11. PRECAUD V1.0

Se caracteriza el modelo considerando, la cuenca se encuentra formada por múltiples áreas de contribución dispuestas de manera secuencial, tal como se ilustra de manera esquemática en la Figura 9. Esto implica que comienza con la zona de aportación 1 en la región más elevada, que está conectada con el área de contribución 2 (es decir, suministra agua a esta área), y así sucesivamente, hasta alcanzar la última zona de aportación, donde L es igual a N, que se encuentra en la salida de la cuenca completa. Además, se supone cada zona de aportación está conformada por tres tipos de almacenamiento: uno superficial, otro en la zona no saturada (suelo) y un tercero en el área

saturada (capa freática). Cada uno de estos compartimentos cada uno de ellos cuenta con flujos de entrada y salida de agua, como se ilustra en la Figura 10. La inclusión del almacenamiento superficial es facultativa y varía según el método de modelado del escurrimiento superficial. Igualmente, el modelo considera la influencia de la interceptación de la vegetación en la cuenca, así como el impacto de zonas impermeables dentro de su área de estudio.

**Figura 9**

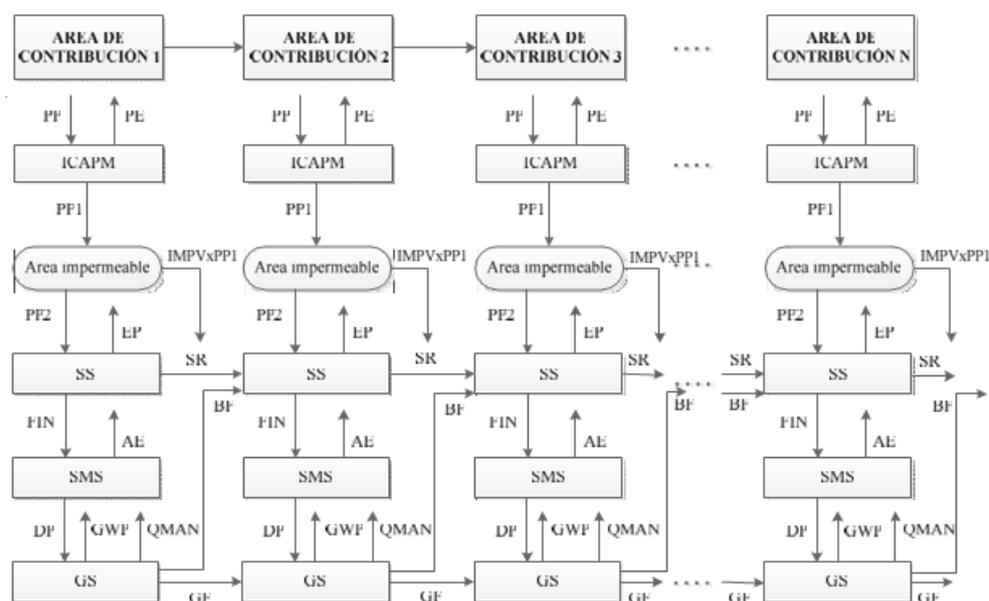
*División de N áreas de la cuenca*



*Fuente.* (Chávarri & Salas, 2009), se muestra la división que se da en las cuencas referente al área de contribución.

**Figura 10**

*Ciclo hidrológico del PRECAUD V1.0*



*Fuente.* (Chávarri & Salas, 2009), se muestra el desarrollo sistemático del PRECAUD 1.0

### 2.3. DEFINICIONES CONCEPTUALES

**Calibración:** Es un proceso de ajuste y verificación sistemático y preciso de un instrumento, dispositivo, equipo o sistema de medición para asegurar que sus lecturas o salidas sean coherentes y precisas con respecto a un estándar de referencia conocido. El propósito principal de la calibración es garantizar que el instrumento o equipo proporcione mediciones confiables y exactas, lo que es esencial en diversas aplicaciones, como la investigación científica, la industria, la medicina y la ingeniería. (Alvarado R. E., 2017)

**Ciclo del Agua:** es un proceso continuo en el que el agua se mueve entre la atmósfera, la superficie terrestre y los cuerpos de agua, experimentando cambios de fase y participando en diversas formas de interacción con el entorno terrestre. Este ciclo es esencial para mantener el suministro de agua dulce en la Tierra y es vital para la vida en el planeta. (Villodas, 2008)

**Escorrentía superficial:** Según (Martinez A. V., 1999) es el proceso en el cual el agua de lluvia o de otra forma de precipitación fluye sobre la superficie del suelo en lugar de infiltrarse en él. Esta agua superficial se

desplaza por la superficie terrestre, siguiendo pendientes o desniveles del terreno, hasta que alcanza un cuerpo de agua, como un río, un lago, un arroyo o un océano, o hasta que es capturada y canalizada por sistemas de drenaje artificial, como alcantarillas o canales.

**Infiltración:** es un proceso hidrológico en el cual el agua de la lluvia o cualquier forma de precipitación penetra y se absorbe en el suelo, pasando desde la superficie terrestre hacia las capas más profundas del sustrato. Este proceso implica que el agua atraviese la capa superior del suelo y alcance las zonas subterráneas, como el perfil del suelo y el acuífero, donde puede almacenarse temporalmente o continuar moviéndose lentamente a través de formaciones geológicas subterráneas. (Campos D. , 1998)

**Intercepción:** es la cantidad de agua de lluvia que queda atrapada en las hojas, ramas y troncos de las plantas, así como en otros elementos como edificios, árboles, o estructuras antes de llegar al suelo o fluir hacia abajo. (Campos D. , 1992)

**Precipitación:** La precipitación es un fenómeno atmosférico que se refiere a la caída de agua, ya sea en forma líquida (lluvia), sólida (nieve o granizo) o en otras formas, desde la atmósfera hacia la superficie de la Tierra. Este proceso ocurre cuando el vapor de agua presente en la atmósfera se condensa en partículas más grandes que eventualmente caen debido a la gravedad. La precipitación es una parte fundamental del ciclo hidrológico y desempeña un papel crucial en la distribución y disponibilidad de agua en la Tierra, afectando el clima, la agricultura, la hidrología y otros aspectos del medio ambiente. (Cahuana & Yugar, 2009)

**Modelación Hidrológica:** La modelación hidrológica es una herramienta matemática y computacional que permite representar los procesos del ciclo hidrológico, como la precipitación, la escorrentía y la infiltración, con el fin de estimar el comportamiento del agua en una cuenca. Estos modelos pueden ser conceptuales, empíricos o físicos, y se utilizan para la gestión de recursos hídricos, evaluación de eventos extremos y planificación de infraestructuras hidráulicas (Singh & Woolhiser, 2002).

**Precipitación-escorrentía:** El proceso de precipitación escorrentía es la transformación de la lluvia en escorrentía superficial que fluye a través de una cuenca hidrográfica. Depende de factores como la intensidad y duración de la precipitación, el tipo de suelo, la cobertura vegetal y la pendiente del terreno. Su modelación es fundamental para la predicción de caudales y la gestión de riesgos hidrológicos (Chow, Maidment & Mays, 1988).

**Producción Hídrica Superficial:** La producción hídrica superficial se refiere al volumen de agua generado en una cuenca hidrográfica como resultado de la escorrentía superficial directa, después de que parte de la precipitación haya sido interceptada, infiltrada o evaporada. Es un parámetro clave en estudios hidrológicos, ya que permite estimar la disponibilidad de agua para diferentes usos y evaluar el impacto de los cambios en el uso del suelo y el clima (McCuen, 2004).

**Modelos Probabilísticos en Hidrología:** Los modelos probabilísticos en hidrología se utilizan para estimar eventos extremos y caracterizar la incertidumbre en la ocurrencia de caudales máximos o mínimos en una cuenca. Estos modelos se basan en distribuciones estadísticas de datos hidrometeorológicos y permiten realizar análisis de riesgo para la toma de decisiones en la gestión del agua (Hosking & Wallis, 1997).

**Cuenca Hidrográfica:** es una unidad geográfica delimitada por divisorias topográficas, dentro de la cual el agua que precipita fluye hacia un punto común, como un río, lago o embalse. (Morán-Tejeda, 2013)

**Balance Hídrico:** una contabilidad del ingreso, almacenamiento y salida de agua en un sistema hidrológico específico, como una cuenca o embalse. Su análisis permite evaluar la sostenibilidad del recurso hídrico. (Custodio & Llamas, 1996)

**Tiempo de Concentración:** Es el tiempo que tarda una gota de agua en desplazarse desde el punto más alejado de una cuenca hasta su salida. (Viessman & Lewis, 2002)

**Curva Número (CN) del SCS:** Es un parámetro empírico desarrollado por el Servicio de Conservación de Suelos (SCS) de EE.UU., que estima el volumen de escorrentía directa a partir de la lluvia total, considerando el tipo de suelo, cobertura vegetal y condiciones de humedad del suelo. (USDA-SCS, 1986)

**Evapotranspiración:** Es la suma de la evaporación del agua desde el suelo y otras superficies, y la transpiración de las plantas. Es un proceso clave en el ciclo hidrológico que influye en la disponibilidad de agua en el suelo y en la escorrentía. (Allen et al., 1998)

**Hidrograma:** es una representación gráfica del caudal de un río o corriente en función del tiempo, generalmente como respuesta a un evento de precipitación. Es útil para analizar la magnitud y duración de eventos hidrológicos como crecidas. (Ponce, 1989)

**Simulación Hidrológica:** Consiste en reproducir el comportamiento del agua en una cuenca usando modelos matemáticos que imitan los procesos físicos del ciclo hidrológico, permitiendo predecir respuestas a diferentes condiciones climáticas o de uso del suelo. (Beven, 2001)

**Eventos de Diseño Hidrológico:** Son eventos hidrológicos, como lluvias o caudales, seleccionados para el diseño de obras hidráulicas con base en su probabilidad de ocurrencia (periodo de retorno). Se utilizan para garantizar la seguridad y funcionalidad de infraestructuras ante eventos extremos. (Chow, 1988)

**Capacidad de Retención del Suelo:** Es la cantidad máxima de agua que un suelo puede retener antes de que ocurra escorrentía. Depende de las propiedades físicas del suelo, como textura, estructura y contenido de materia orgánica. Afecta la infiltración y la generación de escorrentía. (Rawls & Brakensiek, 1985)

**Análisis de Frecuencia:** Es una técnica estadística usada en hidrología para determinar la probabilidad de ocurrencia de eventos extremos, como

lluvias intensas o caudales máximos. Se basa en el ajuste de datos históricos a distribuciones de probabilidad. (Maidment, 1993)

## **2.4. HIPÓTESIS**

### **2.4.1. HIPÓTESIS GENERAL**

HG: Si al realizar la modelación hidrológica utilizando PRECAUD v 1.0 en la cuenca del río Higueras, se obtendrán estimaciones precisas de la producción hídrica superficial en términos de probabilidad.

HE01: Si las series pluviométricas e hidrométricas de la cuenca del río Higueras presentan una variabilidad significativa, entonces podrán ser modeladas con precisión mediante PRECAUD v1.0, permitiendo evaluar tendencias y patrones en la disponibilidad hídrica.

HE02: Si las características geomorfológicas de la cuenca del río Higueras influyen en los patrones de escorrentía y en la producción hídrica superficial, entonces podrán ser representadas adecuadamente en el modelo PRECAUD v1.0.

HE03: Si el modelo hidrológico PRECAUD v1.0 es calibrado y validado correctamente, entonces podrá reproducir de manera precisa el comportamiento hidrológico de la cuenca del río Higueras, proporcionando estimaciones confiables de la escorrentía superficial.

HE04: Si la disponibilidad hídrica superficial en la cuenca del río Higueras varía en el tiempo y el espacio, entonces podrá ser estimada con PRECAUD v1.0, permitiendo realizar proyecciones futuras bajo distintos escenarios climáticos.

## **2.5. VARIABLES**

### **2.5.1. VARIABLE DEPENDIENTE**

Estimación de la producción hídrica superficial en términos de probabilidad.

**Indicadores:**

- Precisión en las estimaciones de producción hídrica.
- Términos de probabilidad utilizados para representar la distribución de la producción hídrica superficial.
- Capacidad del modelo para capturar las variaciones temporales en la producción hídrica.
- Adecuación de las estimaciones en relación con los datos hidrométricos y pluviométricos disponibles.
- Coherencia de las estimaciones con el comportamiento observado de la escorrentía en la cuenca del río Higuera

**2.5.2. VARIABLE INDEPENDIENTE**

Modelación hidrológica

**Indicadores:**

- Implementación de PRECAUD v 1.0 como herramienta de modelación.
- Selección y definición de la cuenca del río Higuera como área de estudio.

## 2.6. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

Tabla 2

*Sistema de variables-dimensiones e indicadores*

| VARIABLE                                                                                                              | DIMENSIÓN                                                                                                                          | INDICADOR                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | DEFINICION CONCEPTUAL                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | DEFINICION OPERACIONAL                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>V. dependiente</b><br><br><b>Estimación de la producción hídrica superficial en términos de probabilidad.</b><br>. | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Obtención de datos</li> <li>• Cálculo</li> <li>• Precisión</li> <li>• Análisis</li> </ul> | Precisión en las estimaciones de producción hídrica. Términos de probabilidad utilizados para representar la distribución de la producción hídrica superficial. Capacidad del modelo para capturar las variaciones temporales en la producción hídrica. Adecuación de las estimaciones en relación con los datos hidrométricos y pluviométricos disponibles. Coherencia de las estimaciones con el comportamiento observado de la escorrentía en la cuenca del río Higueras). | La producción hídrica superficial se refiere al volumen de agua generado en una cuenca hidrográfica como resultado de la escorrentía superficial, después de que parte de la precipitación haya sido interceptada, infiltrada o evaporada. Su estimación en términos de probabilidad implica el uso de modelos matemáticos y estadísticos para predecir la cantidad de agua disponible en diferentes escenarios hidrológicos y periodos de retorno (McCuen, 2004). | Se medirá a través de la modelación hidrológica con PRECAUD v1.0, obteniendo valores cuantitativos de producción hídrica superficial en función de diferentes escenarios probabilísticos. Se expresará en metros cúbicos por segundo (m <sup>3</sup> /s) y se analizarán datos históricos de precipitación, escorrentía y parámetros geomorfológicos de la cuenca del río Higueras. |

---

|                                                                                                                                                |                                                                                                                           |                                                                                                                                                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p><b>V. independientes</b></p> <p><b>Realización de la modelación hidrológica utilizando PRECAUD v 1.0 en la cuenca del río Higueras.</b></p> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Técnica</li> <li>• Datos</li> <li>• Parámetros.</li> <li>• Simulación</li> </ul> | <p>Implementación de PRECAUD v 1.0 como herramienta de modelación.</p> <p>Selección y definición de la cuenca del río Higueras como área de estudio</p> | <p>La modelación hidrológica es un proceso que permite representar matemáticamente el ciclo hidrológico en una cuenca, considerando factores como la precipitación, la infiltración, la escorrentía y la evapotranspiración. PRECAUD v1.0 es un modelo hidrológico que simula el comportamiento del agua en la cuenca a partir de datos meteorológicos, hidrológicos y fisiográficos (Singh &amp; Woolhiser, 2002)</p> | <p>Se implementará el modelo PRECAUD v1.0 en la cuenca del río Higueras mediante la recopilación de datos climáticos, hidrométricos y geoespaciales. Se ajustarán los parámetros del modelo, se realizarán simulaciones y se validarán los resultados mediante comparación con registros históricos. La modelación se evaluará en función de su capacidad para reproducir caudales observados y predecir escenarios probabilísticos de escorrentía.</p> |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

---

## **CAPÍTULO III**

### **METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN**

#### **3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN**

##### **3.1.1. ENFOQUE**

En el trabajo se enfoca en los hallazgos de la descripción hidráulica en términos de parámetros mínimos, recolección de datos y análisis de datos, según Hernández (2014) Se puede hacer referencia a la definición de este concepto como un estudio de enfoque cuantitativo.

Asimismo, este estudio de investigación tiene un enfoque cuantitativo, ya que utilizará la recolección de datos para probar hipótesis a través del análisis estadístico para la modelación hidrológica de escorrentía.

##### **3.1.2. ALCANCE O NIVEL**

Según Hernandez (2014), El nivel de explicación abarca simplemente la descripción de ideas o sucesos; involucra establecer las relaciones entre estos conceptos. En otros términos, su enfoque radica en describir a las razones detrás de los sucesos y fenómenos, tanto de índole física como social. Como su denominación sugiere, su objetivo es aclarar por qué ocurre un fenómeno o evento y cómo se manifiesta. Además, se centra en cómo las variables se interrelacionan y también en la consideración de qué o quiénes serán los sujetos de recolección de datos, ya sean individuos, grupos, comunidades, objetos, animales o hechos.

Por consiguiente, basándonos en lo expuesto anteriormente, El estudio es de carácter explicativo en el sentido de que abordo las razones o motivos detrás de los eventos y fenómenos observados, con el fin de comprender por qué se mencionan.

### **3.1.3. DISEÑO**

Según Hernandez (2014), Se reconoce que un estudio sin diseño experimental es aquella que involucra factores independientes que pueden no tener intervención intencionada, carece de un conjunto de control apropiado y ausencia sigue un enfoque experimental. Por lo tanto, se dedica a investigar y repasar los eventos la cual ocurren luego de que el hecho se ha manifestado.

Como se hizo mención previamente, el enfoque del diseño de la investigación es transversal y no experimental. En este caso, los datos empleados para el estudio no serán alterados ni manipulados de manera alguna. Por ende, no hubo alteraciones ni modificaciones, y las variables únicamente fueron analizadas en un único punto temporal. Esto resulta más costoso para el investigador.

## **3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA**

### **3.2.1. POBLACIÓN**

La población abarca los casos en su totalidad la cual cumplen con una serie de especificaciones, ya sea que la población sea finita o infinita, formada por ciertos elementos que comparten opciones similares y que requieren ser evaluados, Hernandez (2014).

Según lo dicho, la población para mi trabajo de investigación fue la cuenca del río Higuera.

### **3.2.2. MUESTRA**

Según Tamayo (2004), La muestra es un subgrupo preciso de la población de interés del cual se recopilan datos, siendo esencial que sea representativa. Los resultados obtenidos de la muestra buscan ser generalizables a toda la población.

#### Criterios de inclusión

- Características demográficas: mediante la ubicación geográfica que facilita el estudio y la toma de datos.

#### Criterios de exclusión

- Doble inclusión: para no tomar dobles datos y que no se encuentre confusión con investigación donde se tomaron como estudio el río Higuera en otros tramos.
- Interferencia con los objetivos del estudio

Basándonos en lo expuesto anteriormente, este estudio utilizó como muestra los datos que se obtienen de la población de la cuenca del río Higuera, en el tramo de la laguna hasta la unión con el río Huallaga la región de Huánuco. (0.45km)

### **3.3. TÉCNICAS E INSTRUMENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS**

#### **3.3.1. PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS**

La recopilación de datos en este estudio se relaciona con el procedimiento de adquisición de información de manera no experimental, lo que facilita la medición de modificaciones en la entidad de investigación con el fin de adquirir los datos necesarios para el análisis del estudio. Las interrogantes de investigación abordan los fundamentos de la realidad social, según Hernández (2014).

Este estudio se basó en la aplicación de métodos de observación y análisis de contenido. Entre otras medidas, a través de la utilización y revisión de fuentes y la recopilación de datos, estas técnicas mencionadas se emplearon para recolectar la información inicial necesaria para llevar a cabo la investigación.

Dichas técnicas comprenden el análisis de literatura, procedimientos de laboratorio, métodos estadísticos y observación directa. Como es ampliamente reconocido, las encuestas exigen la





**Figura 14**

*Para la presentación de datos parte 4*

| Prueba Kolmorov - Smirnov para Distribución Log Normal |              |   |        |          |          |             |            |   |
|--------------------------------------------------------|--------------|---|--------|----------|----------|-------------|------------|---|
| Intervalo                                              | Probabilidad | z | Log Ls | LN       | N° Datos | Frec. Rango | Frec. Acum | Δ |
|                                                        |              |   |        | LS (mm.) |          |             |            |   |
| 1                                                      |              |   |        |          |          |             |            |   |
| 2                                                      |              |   |        |          |          |             |            |   |
| 3                                                      |              |   |        |          |          |             |            |   |
| 4                                                      |              |   |        |          |          |             |            |   |
| 5                                                      |              |   |        |          |          |             |            |   |
| 6                                                      |              |   |        |          |          |             |            |   |
| 7                                                      |              |   |        |          |          |             |            |   |
|                                                        |              |   |        |          |          |             |            |   |
| Se toma el máximo del valor de Δ=                      |              |   |        |          |          |             |            |   |

Para la recolección de datos en cuanto caracterización de la cuenca se utilizará cartografía digital.

Para recabar los datos de precipitación, se emplearán las estaciones meteorológicas disponibles en la zona de Huánuco.

Para procesar los datos mediante fórmulas empíricas, se utilizarán hojas de cálculo de Excel, aprovechando el formato proporcionado por este software de Microsoft y añadiendo las fórmulas pertinentes para cada procedimiento.

### **3.3.3. PARA EL ANÁLISIS DE DATOS**

Después de procesar los datos, se empleará el software PRECAUD v1.0 para llevar a cabo la modelización, seguido de una calibración utilizando Excel y, en caso necesario, otros programas que contribuyan al propósito de este proyecto. Finalmente, con los resultados obtenidos, se cumplirá con los objetivos establecidos.

#### **Aporte práctico de la investigación**

Esta investigación, centrada en la modelación de la precipitación y escorrentía utilizando PRECAUD v1.0 para estimar la producción hídrica superficial en la cuenca del río Higuera, ofrece varios aportes prácticos clave:

- La estimación precisa de la producción hídrica superficial en términos de probabilidad permitirá obtener una visión más clara de

la disponibilidad de agua en la cuenca del río Higueras, tanto en condiciones normales como en eventos extremos (como inundaciones o sequías). Esto es crucial para la gestión y planificación del uso del agua en la región.

- El modelo hidrológico PRECAUD v1.0, al proporcionar datos de probabilidad sobre la esorrentía, será una herramienta útil para los responsables de la gestión del agua, facilitando la toma de decisiones informadas en relación con el almacenamiento, distribución y conservación de los recursos hídricos.
- La investigación ayudará a identificar escenarios de esorrentía extremos, como inundaciones, proporcionando información clave para la planificación de infraestructuras de control de aguas (presas, canales de drenaje, defensas ribereñas) y la implementación de medidas preventivas, reduciendo el riesgo de daños en las comunidades cercanas al río Higueras.

Este aporte práctico, centrado en la modelación hidrológica y la predicción de la producción hídrica, será un recurso invaluable para los encargados de la gestión hídrica y la planificación del desarrollo regional en la cuenca del río Higueras.

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS

#### 4.1. PROCESAMIENTO DE DATOS

##### 4.1.1. CARACTERÍSTICA GEOMORFOLÓGICA

Se procede a descargar las imágenes del satélite Landsat 5 TM (<http://glovis.usgs.gov/index.shtml>) que se descargó en formato ráster.

**Figura 15**

*Ráster*



Interpretación: Dicho ráster tiene un numero de bandas de 7 y % de cobertura nubosa de 2%-5%, la calidad de la banda es de 8.

Luego se procede a obtener los registros de flujo de agua media por mes de la suma mensual de lluvia, la evaporación del depósito y la temperatura promedio.

#### 4.1.2. ANÁLISIS PLUVIOMÉTRICOS

Estación: Huánuco

Ubicación:

Latitud: 09°57'56"

Longitud: 76°14'13"

Altitud: 2090 msnm

Años de registro: 2002-  
2022

**Tabla 3***Precipitación*

| Estación: HUANUCO  |                      |         |       |       |      |       |       |        |           |         |           |           |
|--------------------|----------------------|---------|-------|-------|------|-------|-------|--------|-----------|---------|-----------|-----------|
| AÑO / MES /<br>DÍA | PRECIPITACION MAXIMA |         |       |       |      |       |       |        |           |         |           |           |
|                    | ENERO                | FEBRERO | MARZO | ABRIL | MAYO | JUNIO | JULIO | AGOSTO | SETIEMBRE | OCTUBRE | NOVIEMBRE | DICIEMBRE |
| 2002               | 29.5                 | 56.4    | 83.1  | 56.5  | 18.2 | 2.9   | 12.8  | 4.1    | 8.4       | 109.8   | 40.8      | 20.3      |
| 2003               | 44.7                 | 26.9    | 70.5  | 24.6  | 14.3 | 0.3   | 0.1   | 9.4    | 12.6      | 17.1    | 77.3      | 83.1      |
| 2004               | 33.6                 | 31.7    | 56.9  | 31.2  | 24.8 | 5.1   | 5.6   | 16.7   | 16.2      | 28.6    | 34.8      | 104.6     |
| 2005               | 32.6                 | 45      | 92.7  | 12.2  | 1.4  | 0     | 2     | 8.6    | 5.8       | 51.5    | 26.3      | 106.9     |
| 2006               | 81.9                 | 48.4    | 112.7 | 38.6  | 2    | 6.2   | 3.5   | 2.9    | 11.4      | 46      | 66.7      | 89.1      |
| 2007               | 33.9                 | 6.9     | 83.1  | 35.8  | 7.8  | 1.9   | 6.7   | 3.9    | 4.4       | 59.2    | 40.6      | 70.3      |
| 2008               | 29.8                 | 90.8    | 91.3  | 36.3  | 3.6  | 5.5   | 0.1   | 2      | 33.4      | 38      | 50.9      | 68.1      |
| 2009               | 67.2                 | 72.5    | 87.9  | 57.2  | 13.7 | 10.3  | 11.9  | 4.4    | 11        | 44.6    | 40.2      | 59.6      |
| 2010               | 21.8                 | 85.9    | 91.6  | 19    | 3.4  | 2.6   | 4.9   | 7.2    | 13.6      | 26.7    | 55.1      | 81.9      |
| 2011               | 74.3                 | 64      | 141.6 | 43.9  | 21.1 | 5.7   | 1.9   | 3.7    | 22.6      | 67.7    | 56.6      | 114.2     |
| 2012               | 78.6                 | 55.7    | 30.1  | 75.9  | 13.7 | 3.8   | 7.8   | 3.4    | 4.9       | 75      | 94.5      | 154.7     |
| 2013               | 36.2                 | 90      | 92    | 33.6  | 5.7  | 10.7  | 12.5  | 22.1   | 6.6       | 37.8    | 71.3      | 76.1      |
| 2014               | 72                   | 92      | 76.3  | 43.1  | 29.2 | 6.6   | 2.9   | 0.7    | 28.9      | 49.7    | 32.1      | 84.9      |
| 2015               | 75.6                 | 48.9    | 62.3  | 59    | 37.8 | 2.8   | 3.9   | 2.3    | 3.1       | 22.7    | 71.4      | 35.3      |
| 2016               | 34.7                 | 47.3    | 67.8  | 11.6  | 0.2  | 0.8   | 0.2   | 1.1    | 1.7       | 34.3    | 37.5      | 70.2      |
| 2017               | 72.1                 | 70.9    | 74    | 24.6  | 12.3 | 4     | 4.8   | 5.1    | 15.9      | 32.3    | 49.4      | 132.1     |
| 2018               | 88.5                 | 87.9    | 85.3  | 61.4  | 10.6 | 11.3  | 2.4   | 9.8    | 18.1      | 96.1    | 47.6      | 52.3      |
| 2019               | 116.5                | 56.3    | 130.9 | 20.2  | 9.1  | 12    | 1.1   | 4.4    | 13.4      | 58.5    | 18.5      | 125.2     |
| 2020               | 42.4                 | 61.2    | -     | -     | -    | -     | 5.9   | 0.6    | 4.8       | 24.3    | 15.3      | 56.3      |
| 2021               | 74.8                 | 72.2    | 66.5  | 33.8  | 3.2  | 3.2   | 0.9   | 3.2    | 29.7      | 34.2    | 126.7     | 39        |
| 2022               | 54.4                 | 82.6    | 50.3  | 15.5  | 9.6  | 9.6   | 6     | 11     | 10        | 10.3    | 28.7      | 79.1      |

De la tabla anterior se muestra los datos descargados del SENAMHI y debidamente separados por años y meses para su mejor desarrollo.

**Tabla 4**

*Datos*

| <b>DATOS DE LA CUENCA</b>                     |                      |                 |
|-----------------------------------------------|----------------------|-----------------|
| <b>ÁREA DE LA CUENCA</b>                      | 250.4800             | Km <sup>2</sup> |
| <b>PERÍMETRO DE LA CUENCA</b>                 | 128.4580             | Km              |
| <b>PENDIENTE PROMEDIO DE LA CUENCA</b>        | 10.349               | %               |
| <b>PENDIENTE DEL CAUCE PRINCIPAL</b>          | 6.51                 | %               |
| <b>LONGITUD DEL CURSO PRINCIPAL</b>           | 43.18269             | Km              |
| <b>NÚMERO DE CURVA</b>                        | 70                   |                 |
| <b>ESTACIÓN X</b>                             | Precipitación máxima | 24 horas        |
| <b>PRECIPITACIÓN TIPO SCS</b>                 | III                  |                 |
| <b>DURACIÓN</b>                               | 120                  | minutos         |
| <b>INCREMENTOS DE TIEMPO DE PRECIPITACIÓN</b> | 20                   | minutos         |

De la tabla anterior se obtiene los datos de la cuenca siendo esta obtenida de la parte de característica geomorfológica de la figura 15 ráster.

**Tabla 5**

*Precipitación máx*

| <b>N°</b> | <b>ESTACIÓN</b> | <b>AÑO</b> | <b>P<sub>máx</sub> (mm)</b> | <b>Log P</b> |
|-----------|-----------------|------------|-----------------------------|--------------|
| 1         | HUÁNUCO         | 2002       | 109.8                       | 2.04060234   |
| 2         | HUÁNUCO         | 2003       | 83.1                        | 1.919601024  |
| 3         | HUÁNUCO         | 2004       | 104.6                       | 2.019531685  |
| 4         | HUÁNUCO         | 2005       | 106.9                       | 2.028977705  |
| 5         | HUÁNUCO         | 2006       | 112.7                       | 2.051923916  |
| 6         | HUÁNUCO         | 2007       | 83.1                        | 1.919601024  |
| 7         | HUÁNUCO         | 2008       | 91.3                        | 1.960470778  |
| 8         | HUÁNUCO         | 2009       | 87.9                        | 1.943988875  |
| 9         | HUÁNUCO         | 2010       | 91.6                        | 1.961895474  |
| 10        | HUÁNUCO         | 2011       | 141.6                       | 2.151063253  |
| 11        | HUÁNUCO         | 2012       | 154.7                       | 2.189490314  |
| 12        | HUÁNUCO         | 2013       | 92                          | 1.963787827  |
| 13        | HUÁNUCO         | 2014       | 92                          | 1.963787827  |
| 14        | HUÁNUCO         | 2015       | 75.6                        | 1.878521796  |
| 15        | HUÁNUCO         | 2016       | 70.2                        | 1.846337112  |
| 16        | HUÁNUCO         | 2017       | 132.1                       | 2.120902818  |
| 17        | HUÁNUCO         | 2018       | 96.1                        | 1.982723388  |

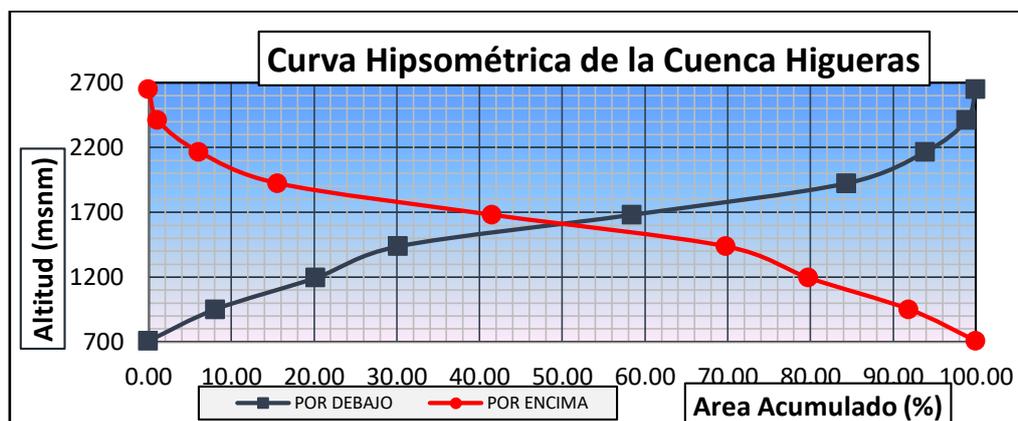
|    |         |      |       |             |
|----|---------|------|-------|-------------|
| 18 | HUÁNUCO | 2019 | 130.9 | 2.116939647 |
| 19 | HUÁNUCO | 2020 | 61.2  | 1.786751422 |
| 20 | HUÁNUCO | 2021 | 126.7 | 2.102776615 |
| 21 | HUÁNUCO | 2022 | 82.6  | 1.916980047 |

Interpretación: En la tabla anterior una vez obtenido los datos de precipitación máxima de la estación se procede a obtener los Log P para emplearlo en las siguientes partes.

Luego de obtener los datos del SENAMHI y empleando las fórmulas en el Excel se procede a usar esos datos en el PRECAUD v1.0, pero antes se procede a sacar los datos geomorfológicos de la cuenca.

**Figura 16**

*Curva Hipsométrica*



Interpretación: La curva Hipsométrica se obtiene de las áreas parciales y acumuladas que se muestran en la tabla 6, este gráfico sirve para un entendimiento mejor en relación a las áreas y el porcentaje que se tiene.

**Tabla 6**

*Áreas parciales*

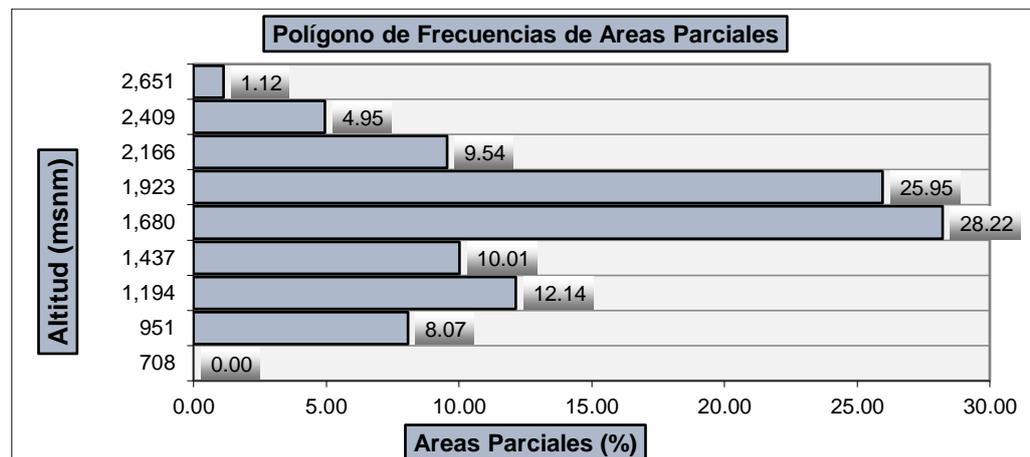
| AREAS PARCIALES |       | AREAS ACUMULADAS |       |            |        |
|-----------------|-------|------------------|-------|------------|--------|
| Km2             | (%)   | POR DEBAJO       |       | POR ENCIMA |        |
|                 |       | (KM2)            | (%)   | KM2        | (%)    |
| 0.00            | 0.00  | 0.00             | 0.00  | 250.48     | 100.00 |
| 20.21           | 8.07  | 20.21            | 8.07  | 230.27     | 91.93  |
| 30.41           | 12.14 | 50.62            | 20.21 | 199.87     | 79.79  |
| 25.07           | 10.01 | 75.69            | 30.22 | 174.80     | 69.78  |
| 70.68           | 28.22 | 146.37           | 58.43 | 104.11     | 41.57  |

|                      |        |        |        |       |       |
|----------------------|--------|--------|--------|-------|-------|
| <b>65.00</b>         | 25.95  | 211.37 | 84.38  | 39.11 | 15.62 |
| <b>23.90</b>         | 9.54   | 235.28 | 93.93  | 15.21 | 6.07  |
| <b>12.41</b>         | 4.95   | 247.68 | 98.88  | 2.80  | 1.12  |
| <b>2.80</b>          | 1.12   | 250.48 | 100.00 | 0.00  | 0.00  |
| <b>Total= 250.48</b> | 100.00 |        |        |       |       |

Interpretación: según la información presentada en la tabla previa, se establece una conexión entre la curva hipsométrica y la tabla 6, ya que los datos extraídos de esta última son representados gráficamente en la curva hipsométrica. Esta curva nos proporciona una representación visual de la altitud promedio, basada en las áreas parciales contempladas en la tabla.

**Figura 17**

*Polígono de Frecuencias*



Interpretación: Un polígono de frecuencias es una representación gráfica de una distribución de frecuencias que se utiliza comúnmente en estadística para visualizar la distribución de datos. Se realiza con el propósito de mostrar cómo se distribuyen los valores de una variable en un conjunto de datos específico. Este tipo de gráfico es útil para identificar patrones, tendencias y características importantes en los datos.

Al trazar un polígono de frecuencias, se coloca en el eje horizontal (eje x) los valores de la variable y en el eje vertical (eje y) se representan las frecuencias o el porcentaje de ocurrencia de cada valor. Luego, se

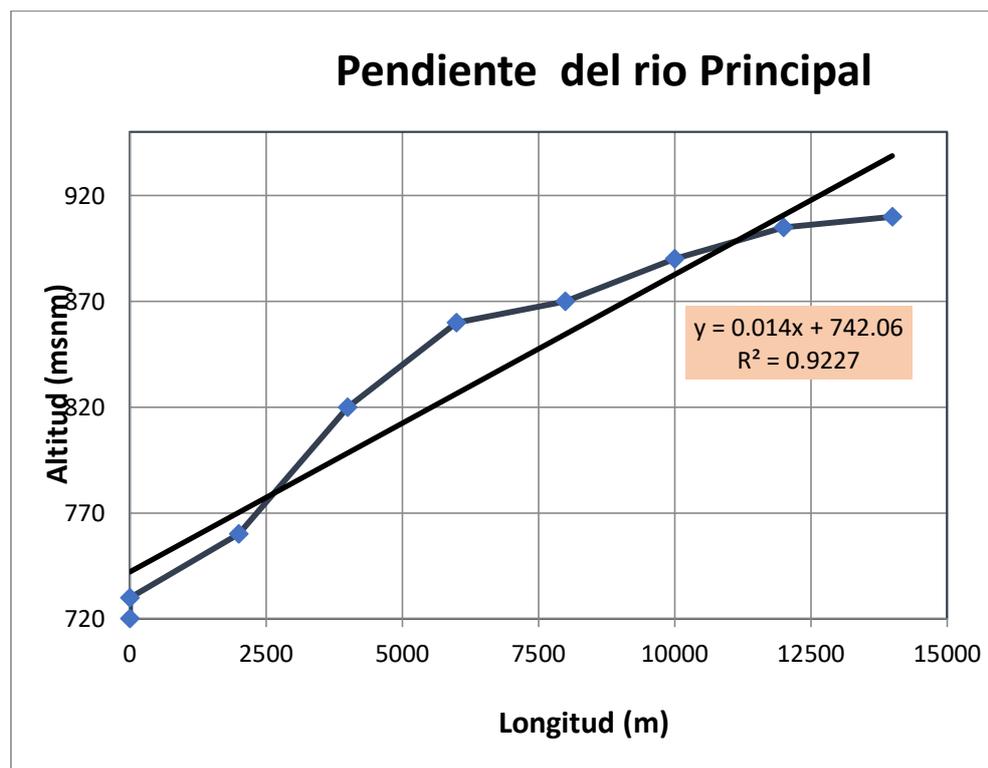
unen los puntos correspondientes a cada valor con líneas rectas, formando un polígono que muestra la distribución de los datos.

Se realiza un polígono de frecuencias para proporcionar una representación visual clara y concisa de cómo se agrupan o dispersan los datos en una distribución específica, lo que facilita la interpretación y el análisis de los mismos. Además, permite comparar diferentes distribuciones de datos de manera rápida y efectiva.

Del polígono de frecuencias se obtiene del promedia de cada una de las pendientes obtenidas previamente y se observa una variación muy notoria de 9.54 a 25.95 y luego de 28.22 a 10.01.

**Figura 18**

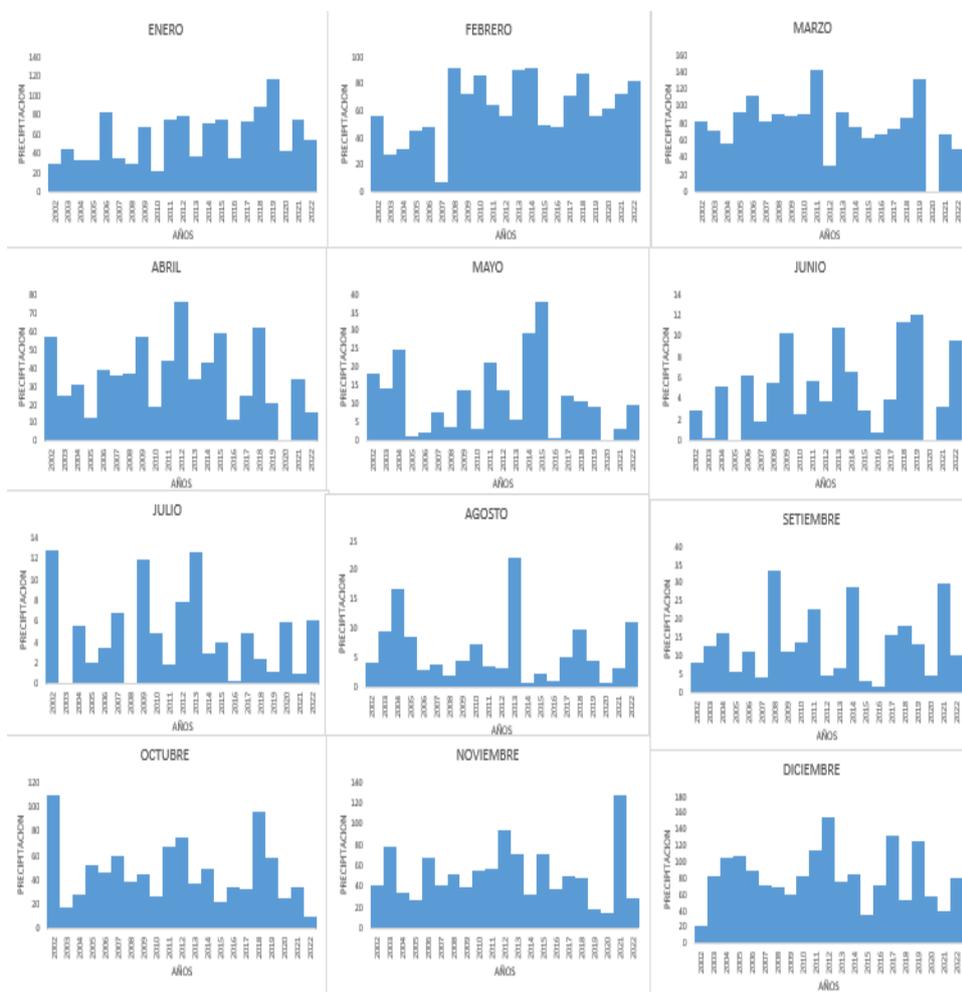
*Pendiente*



Interpretación: De la pendiente del rio se muestra que es de forma continua con un ligero cambio lo normal es que la pendiente tienda a la recta de la ecuación mostrada.

## Distribución de la precipitación mensual:

**Figura 19**  
*Distribución*

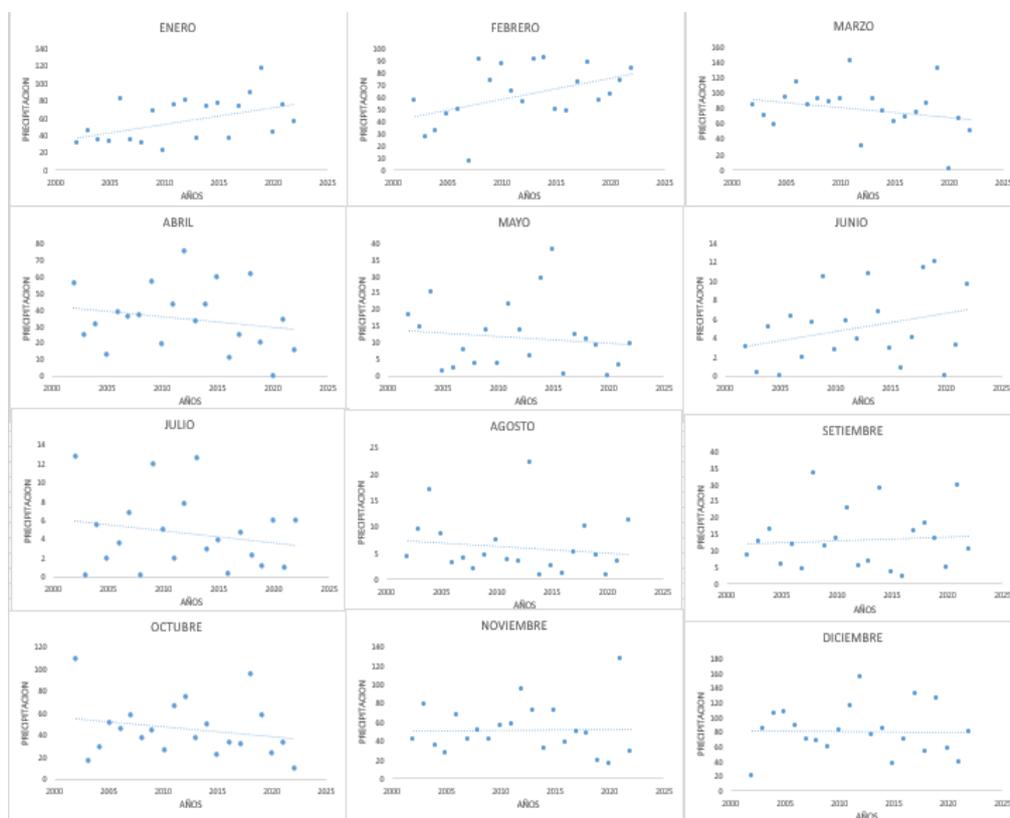


Interpretación: Se presenta la cantidad total de lluvias mensuales en la estación meteorológica de Huánuco, evidenciando que el periodo de mayor precipitación ocurre en los meses de enero, febrero y abril, constituyendo la temporada húmeda, mientras que los meses de mayo, junio y diciembre representan el periodo seco. La visualización anterior revela que cada barra proporciona información sobre la distribución de los datos en intervalos específicos de tiempo, como se observa claramente entre enero y marzo, donde la precipitación es significativamente mayor que en los otros meses.

A continuación, se procede con el análisis de la probabilidad normal de la precipitación total.:

**Figura 20**

*Probabilidad de precipitación*



Interpretación: Se puede notar en los gráficos de cuantil-cuantil (Q-Q plot) correspondientes a la estación Huánuco que Los puntos marcados en azul representan los datos registrados, mientras que La línea de trazo rojo representa la distribución normal teórica. La representación visual indica que los registros de la estación no siguen una distribución normal teórica, ya que exhiben un sesgo hacia la derecha.

Luego se procede con la prueba de Kolmorov-Smirnov

Se usa para evaluar cuán bien se ajusta una distribución de probabilidad teórica a los datos observados, lo que es crucial para desarrollar modelos precisos de eventos hidrológicos y tomar decisiones informadas en la gestión del agua y la planificación de recursos hídricos.

**Tabla 7**

*Distribución Normal*

| <b>Prueba Kolmorov - Smirnov para Distribución Normal</b>  |              |          |                    |             |             |            |               |
|------------------------------------------------------------|--------------|----------|--------------------|-------------|-------------|------------|---------------|
| <b>Intervalo</b>                                           | Probabilidad | z        | Normal<br>LS (mm.) | N°<br>Datos | Frec. Rango | Frec. Acum | $\Delta$      |
| <b>1</b>                                                   | 0.143        | -1.06757 | 75.1088            | 2           | 0.095       | 0.095      | 0.0476        |
| <b>2</b>                                                   | 0.286        | -0.56595 | 87.4019            | 4           | 0.190       | 0.286      | 0.0000        |
| <b>3</b>                                                   | 0.429        | -0.18001 | 96.8599            | 6           | 0.286       | 0.571      | 0.1429        |
| <b>4</b>                                                   | 0.571        | 0.18001  | 105.6829           | 1           | 0.048       | 0.619      | 0.0476        |
| <b>5</b>                                                   | 0.714        | 0.56595  | 115.1410           | 3           | 0.143       | 0.762      | 0.0476        |
| <b>6</b>                                                   | 0.857        | 1.06757  | 127.4341           | 1           | 0.048       | 0.810      | 0.0476        |
| <b>7</b>                                                   | 1.000        |          | 154.7000           | 4           | 0.190       | 1.000      | 0.0000        |
|                                                            |              |          |                    | 21          | 1.000       |            |               |
| <b>Se toma el máximo del valor de <math>\Delta</math>=</b> |              |          |                    |             |             |            | <b>0.1429</b> |

**Tabla 8**

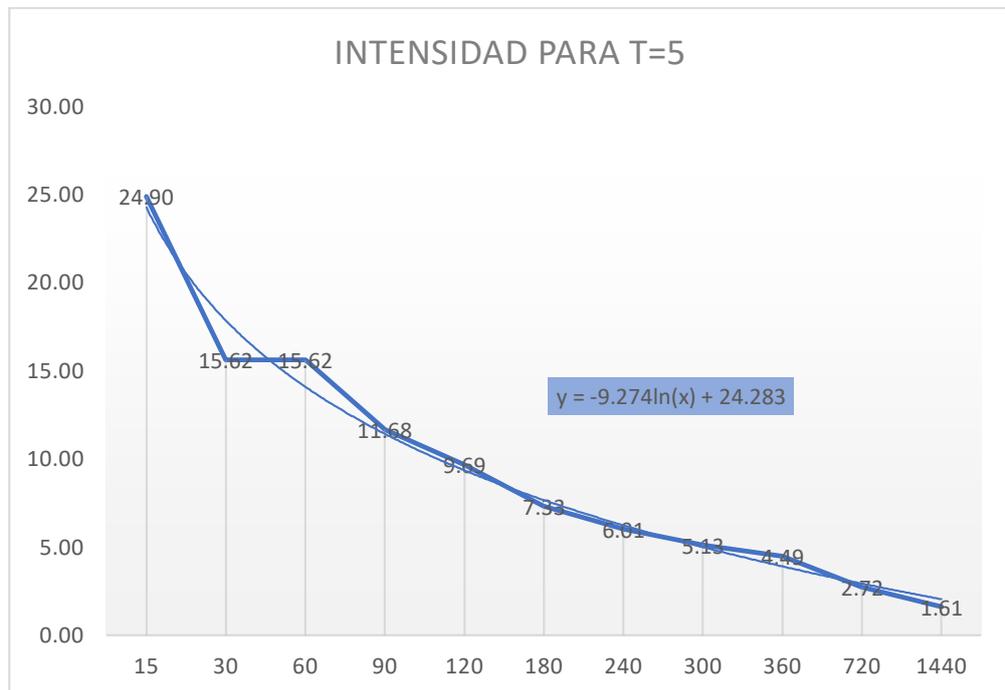
*Distribución Log Normal*

| <b>Prueba Kolmorov - Smirnov para Distribución Log Normal</b> |              |          |        |          |             |             |               |          |
|---------------------------------------------------------------|--------------|----------|--------|----------|-------------|-------------|---------------|----------|
| <b>Intervalo</b>                                              | Probabilidad | z        | Log Ls | LN       | N°<br>Datos | Frec. Rango | Frec. Acum    | $\Delta$ |
|                                                               |              |          |        | LS (mm.) |             |             |               |          |
| <b>1</b>                                                      | 0.143        | -1.06757 | 1.8830 | 76.3752  | 3           | 0.143       | 0.143         | 0.0000   |
| <b>2</b>                                                      | 0.286        | -0.56595 | 1.9350 | 86.0927  | 3           | 0.143       | 0.286         | 0.0000   |
| <b>3</b>                                                      | 0.429        | -0.18001 | 1.9750 | 94.4027  | 5           | 0.238       | 0.524         | 0.0952   |
| <b>4</b>                                                      | 0.571        | 0.18001  | 2.0123 | 102.8765 | 1           | 0.048       | 0.571         | 0.0000   |
| <b>5</b>                                                      | 0.714        | 0.56595  | 2.0523 | 112.8066 | 4           | 0.190       | 0.762         | 0.0476   |
| <b>6</b>                                                      | 0.857        | 1.06757  | 2.1043 | 127.1593 | 1           | 0.048       | 0.810         | 0.0476   |
| <b>7</b>                                                      | 1.000        |          | 1.9937 | 154.7000 | 4           | 0.190       | 1.000         | 0.0000   |
|                                                               |              |          |        |          | 21          | 1.000       |               |          |
| <b>Se toma el máximo del valor de <math>\Delta</math>=</b>    |              |          |        |          |             |             | <b>0.0952</b> |          |

Interpretación de las dos tablas: Según los resultados de la prueba de Kolmogorov, se evidencia que la distribución que presenta el menor valor de delta teórico es la distribución Log normal, con un valor de 0.0952. Basándonos en este hallazgo, es posible generar las intensidades de manera teórica, lo que conduce a los resultados que se describen a continuación:

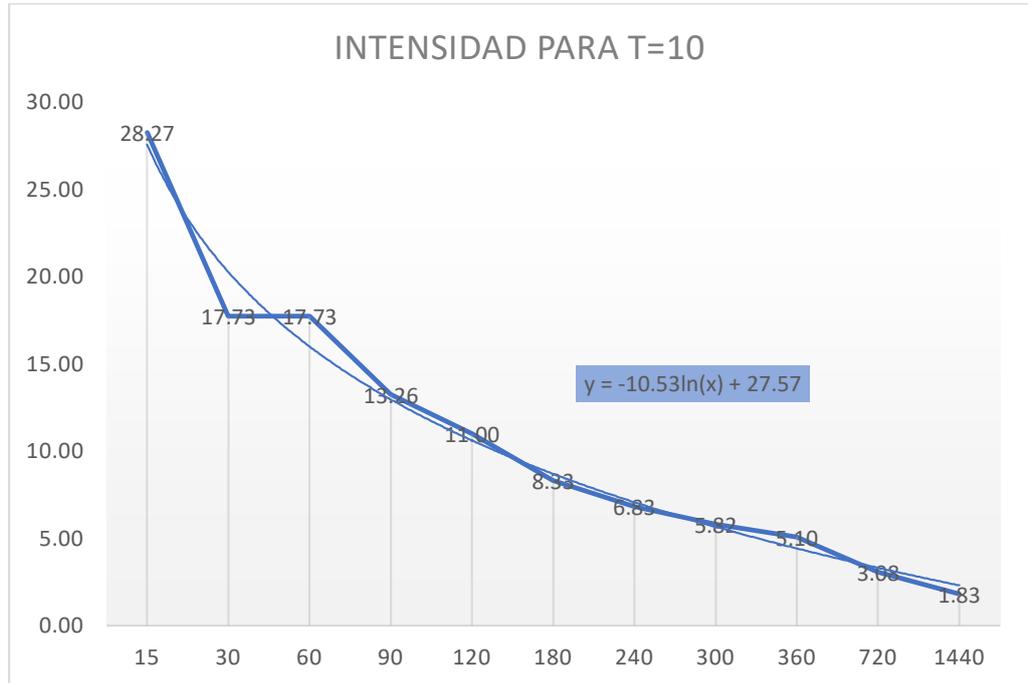
**Figura 21**

*Intensidad 5 años*



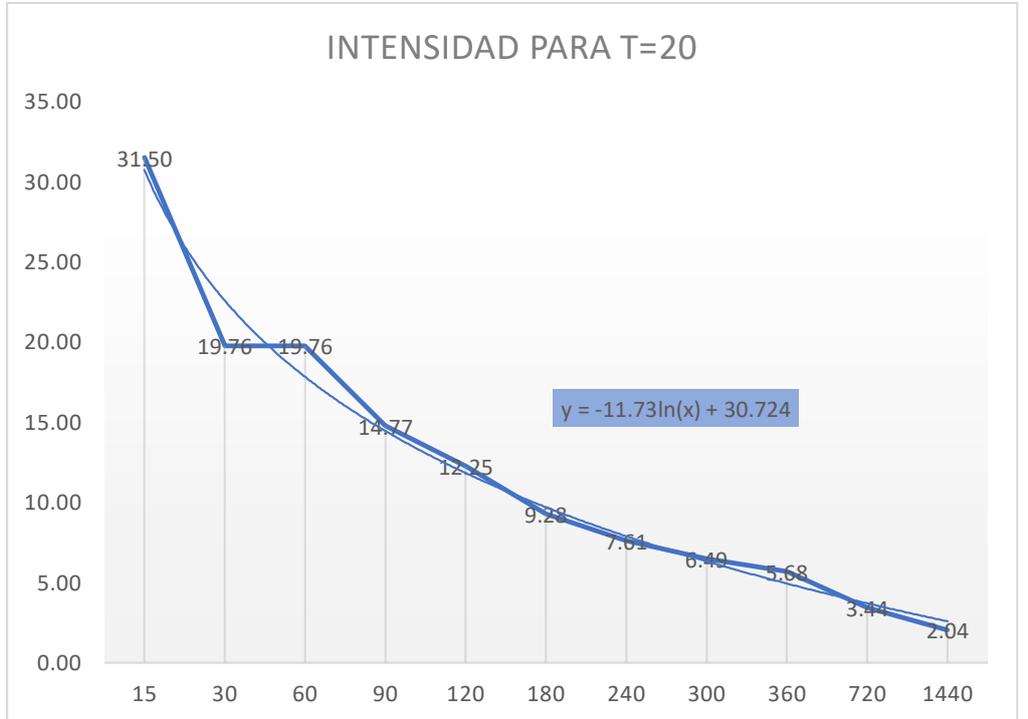
**Figura 22**

*Intensidad 10 años*



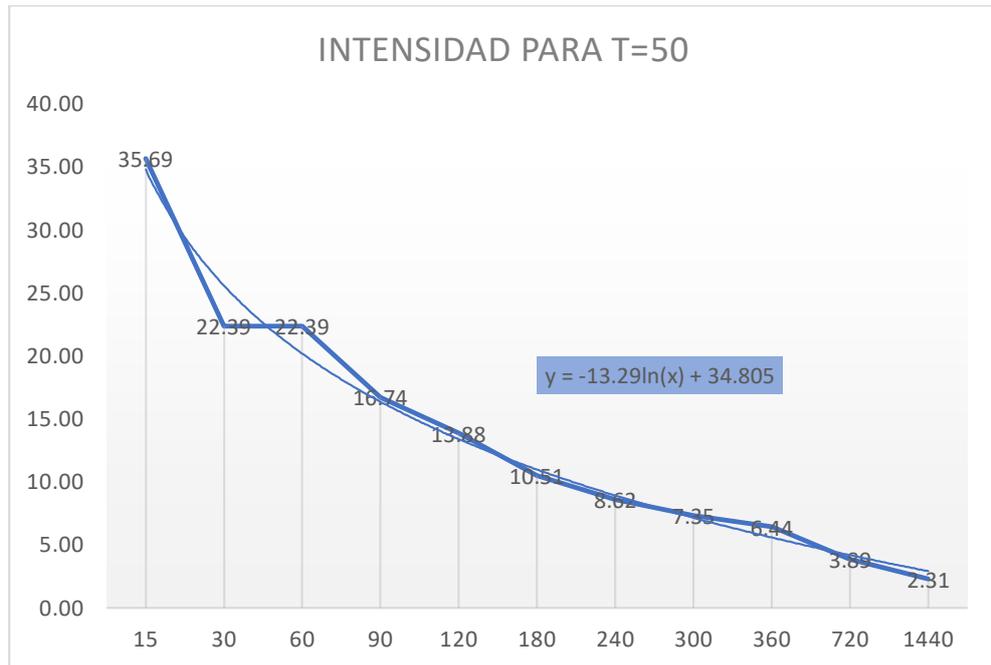
**Figura 23**

*Intensidad 20 años*



**Figura 24**

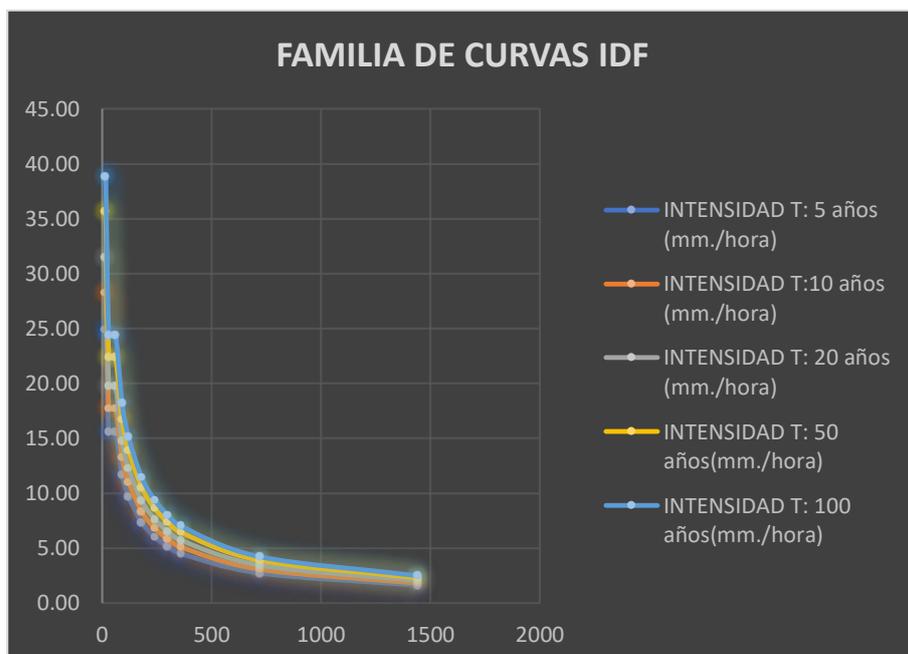
*Intensidad 50 años*



Luego al unir todas las intensidades se da una proyección de familia de intensidades para verificar la tendencia de la misma y su proyección futura.

**Figura 25**

*Curva de Intensidades*



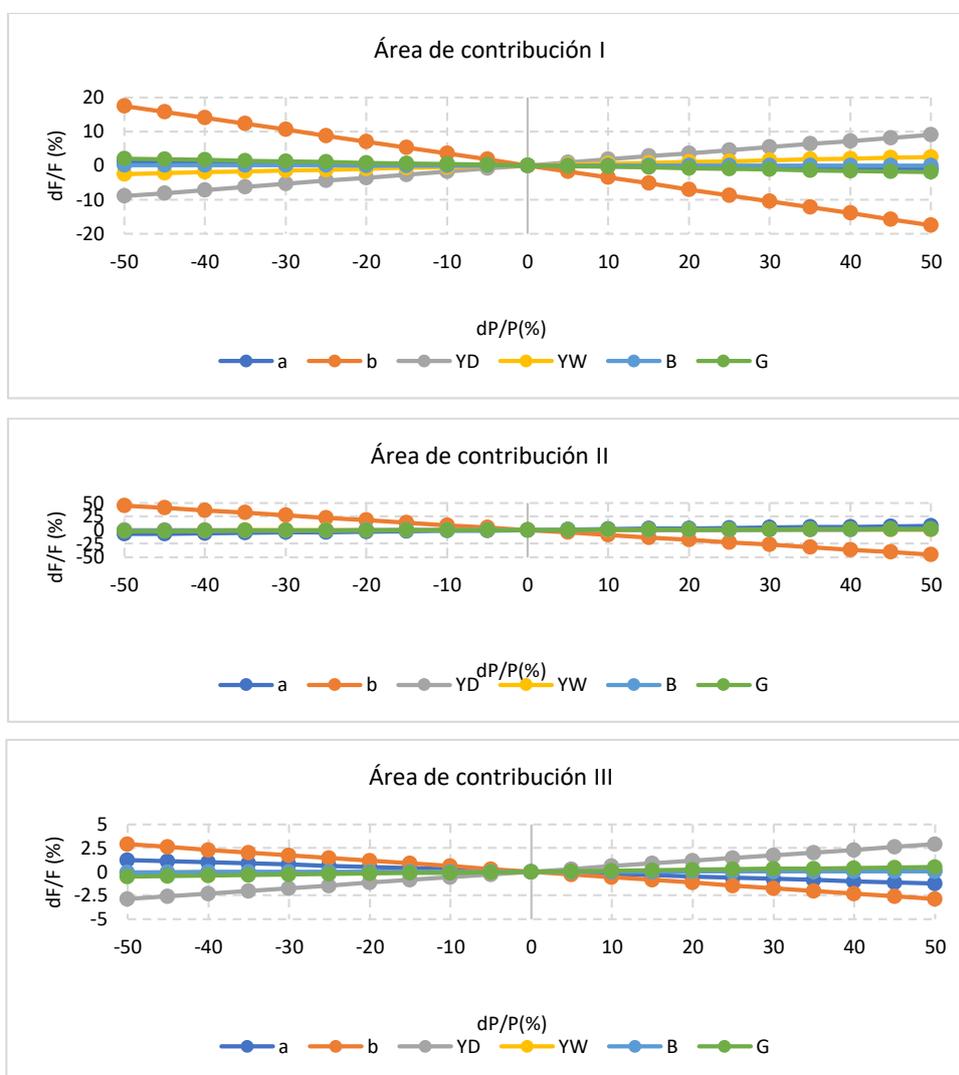
### 4.1.3. ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD Y LA DISPONIBILIDAD ACTUAL

PRECAUD v1.0:

El modelo PRECAUD V1.0 incorpora diversos procesos hidrológicos que cuentan con variables específicas para la configuración, los cuales se ajustan según las características de la cuenca bajo análisis. En este trabajo, se utilizó el enfoque de Horton para describir el fenómeno de la intercepción y, además, se aplicó una función de precipitación para modelar tanto el flujo superficial como la infiltración.

**Figura 26**

Área de contribución

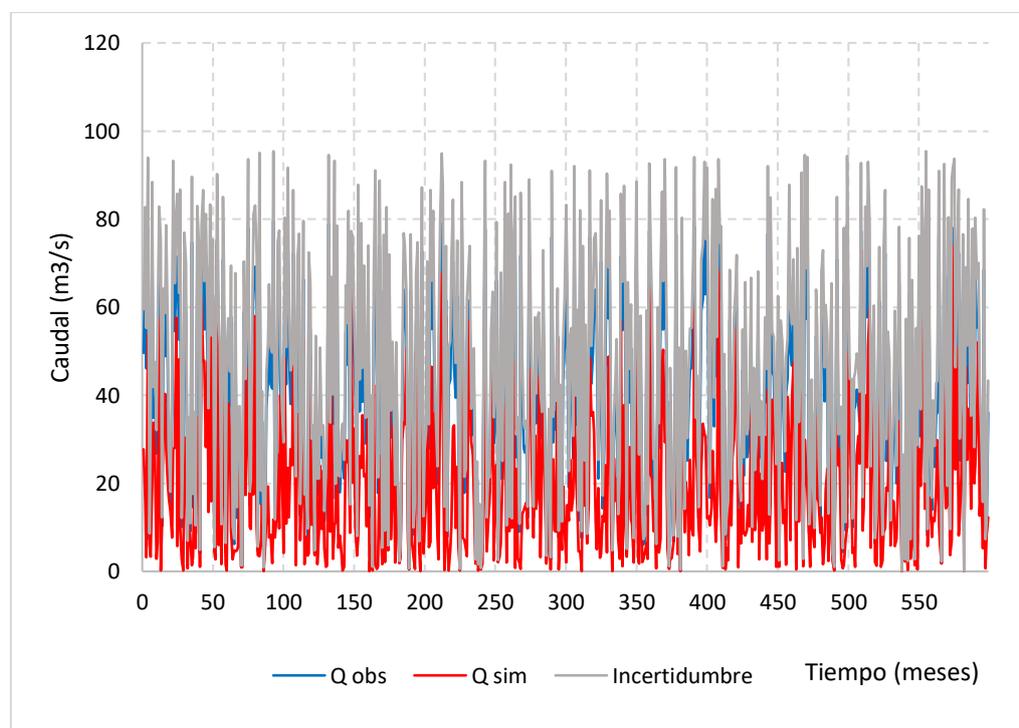


Interpretación: Se exponen los hallazgos obtenidos a partir del estudio de la sensibilidad de los factores relacionados con los procesos

hídricos dichos previamente. Se destaca que el parámetro b tiene el impacto más notorio en el caudal que se simula en las 3 áreas de contribución. Una alteración del 27% en dicho parámetro provoca reducciones del 11%, 20% y 2.5% en el caudal medio anual de las áreas de contribución I, II y III, respectivamente. En cuanto al parámetro B, se observa que tiene un efecto menor de cambio en el caudal modelado en las áreas de contribución II y III, salvo en el caso del área de contribución I, donde el parámetro menos sensible es a.

**Figura 27**

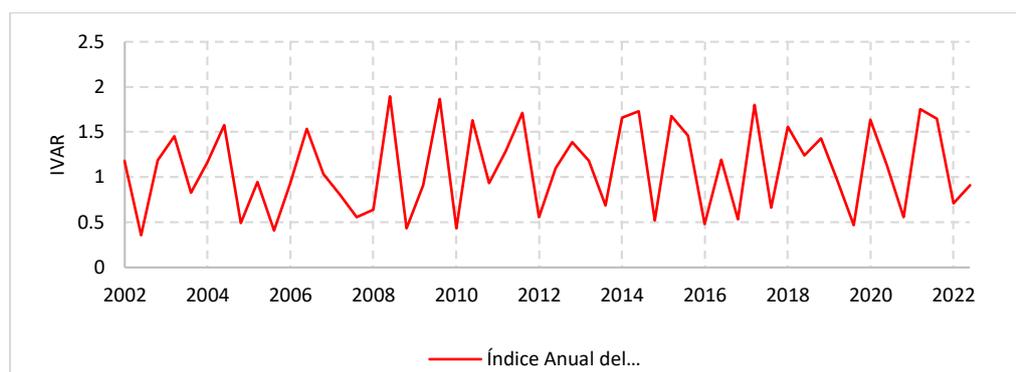
*Hidrograma de caudales*



Interpretación: Se presenta el hidrograma de caudales que incluye tanto las descargas observadas como las simuladas, junto con el valor de  $\pm 1.5$  veces el RIC (rango intercuartílico), que indica la incertidumbre de la simulación. El análisis de la relación entre los flujos simulados y observados, así como la lluvia en la CPRI se realiza mediante la representación conjunta de los índices anuales del vector regional (IAVR), como se visualiza en la sección a. En la sección b, se muestran los promedios anuales de los caudales. Los coeficientes de correlación entre el IAVR y los flujos simulados son de 0.91 y 0.66, respectivamente.

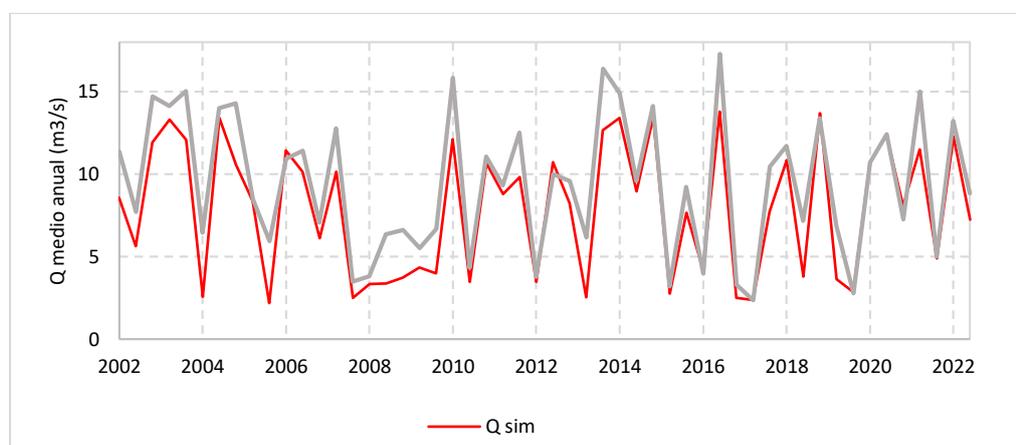
**Figura 28**

*Índice anual*



**Figura 29**

*Régimen de sensibilidad*



Interpretación: Se analiza la respuesta del modelo ante cambios en los parámetros de los procesos hidrológicos en las áreas de contribución I, II y III se evaluó mediante la sensibilidad de la descarga simulada. Se analizó la relación entre la variación relativa en la descarga simulada ( $dF/F$ ) y la variación relativa en los valores de los parámetros del modelo de precipitación ( $dP/P$ ) se evalúa para los años 2018 y 2019, los cuales presentan un comportamiento similar con un IAVR cercano a 1.5. Este comportamiento se traduce en similitudes en los caudales observados en esos años.

Sin embargo, es relevante destacar que, en el año 2019, el promedio anual del caudal ( $18.75 \text{ m}^3/\text{s}$ ) experimenta un aumento del 100% en comparación con el año 2018 ( $9.32 \text{ m}^3/\text{s}$ ). Este fenómeno sugiere una discrepancia entre el caudal observado y la precipitación

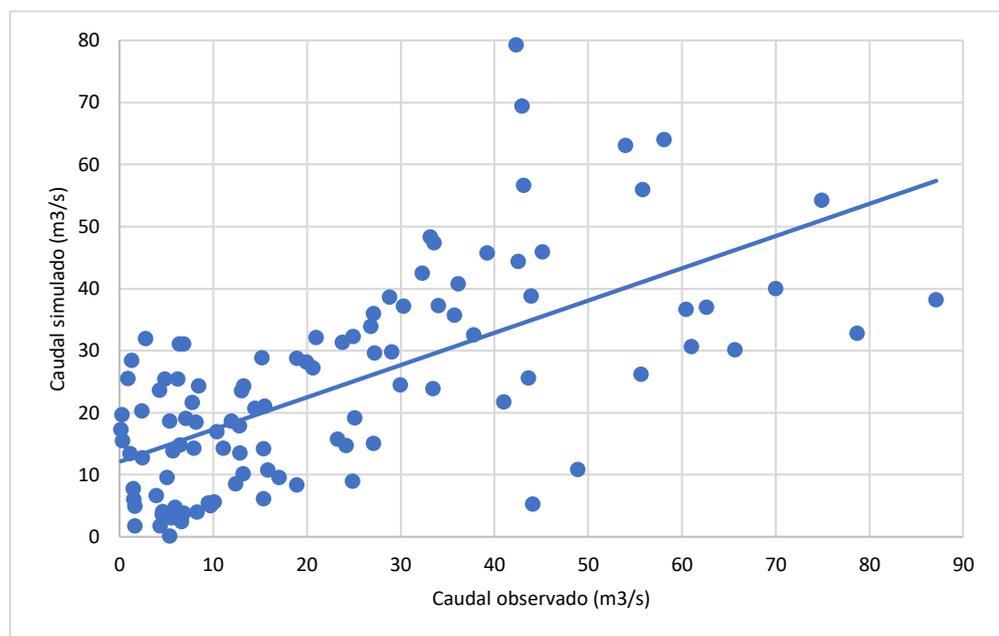
durante ese periodo. De manera similar, en el año 2015, el caudal medio anual muestra un incremento de más del 200% con respecto al año 2014, a pesar de que los índices IAVR en esos años se sitúan en torno a 1.1, lo que indica una falta de coherencia entre la respuesta hidrológica y la precipitación en 1994.

A nivel mensual, se confirma lo mencionado anteriormente, ya que las descargas observadas en febrero de 2015 (70.42 m<sup>3</sup>/s) y marzo de 2019 (90.10 m<sup>3</sup>/s) exceden los límites de la incertidumbre, lo que podría indicar posibles errores en el registro de esos meses.

Validación del modelo:

**Figura 30**

*Modelo de dispersión*



Los datos tomados previamente de la precipitación máxima descargada del SENAMHI.

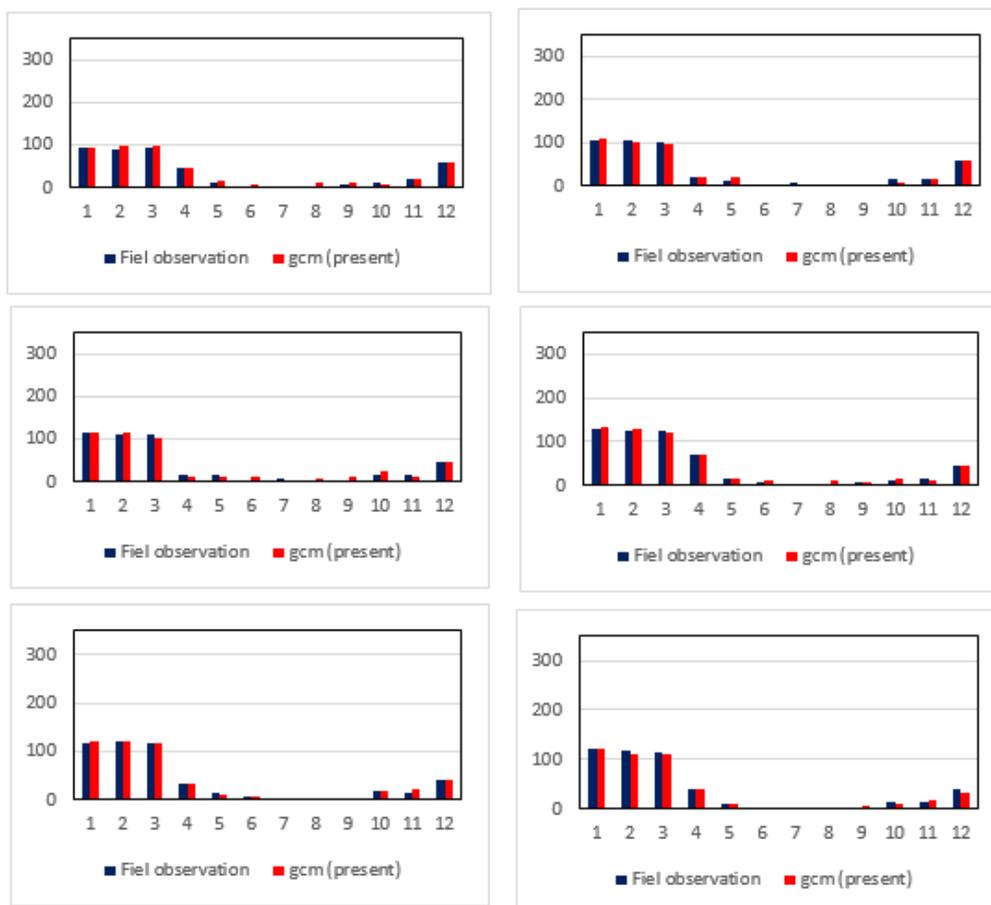
La comparación entre la relación entre el flujo observado y el flujo simulado se muestra en un diagrama de dispersión, revelando un coeficiente de correlación lineal de Pearson ( $r$ ) de 0.75. Al llevar a cabo la validación de las descargas modeladas, se examina la significancia del coeficiente de correlación, obteniendo un valor de 0.107. A partir de

estos resultados, se evidencia que este último valor es mayor que el anterior, indicando así que hay una probabilidad cercana al 90% de que el  $r=0.75$  difiera de cero.

### Proyección de precipitación

**Figura 31**

*Modelo MRI-AGCM*



Se examinó la relación lineal entre la precipitación del modelo MRI-AGCM y los registros observados utilizando el coeficiente de correlación de Pearson ( $r$ ) como indicador. Los valores máximos de  $r$  se obtuvieron al emplear el modelo MRI-AGCM 3.2S en la técnica no paramétrica en la estación pluviométrica, esto se debió a la presencia significativa de datos vacíos. Luego, se recopilaron los valores de precipitación para cada estación pluviométrica durante los periodos 2020-2039 y 2080-2099, revelando incrementos notables durante la temporada de lluvias. En el periodo 2020-2039, se observa un aumento promedio del 40.2%,

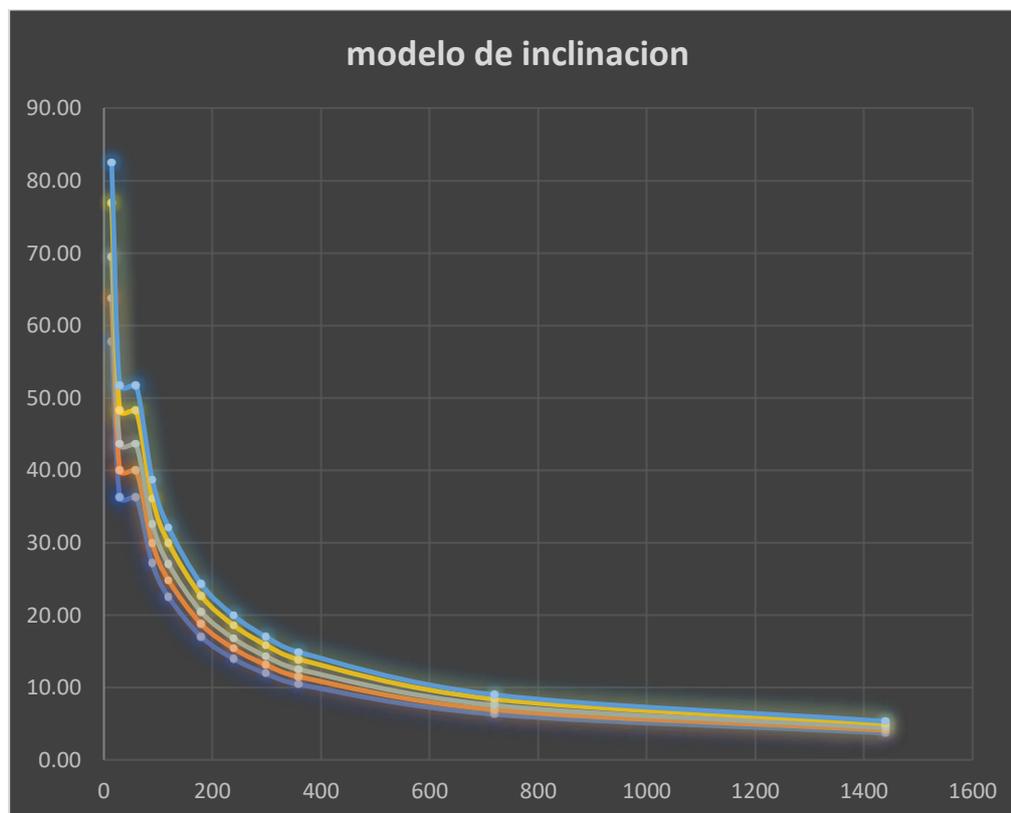
10%, 45.4%, y 51% en los meses de enero, febrero, marzo y abril, respectivamente. Asimismo, durante el periodo 2080-2099, se registran aumentos del 62.8%, 14.2%, 96.5%, y 109% en esos mismos meses.

### **Disponibilidad Hídrica**

Se construyó la curva de duración (CD) en la estación hidrométrica utilizando caudales observados y simulados durante el periodo de estudio. Los caudales observados y simulados, asociados a probabilidades de excedencia superiores al 25%, presentan una buena concordancia, divergiendo en un máximo de 1.2 m<sup>3</sup>/s. Además, se evidencia las estimaciones de descarga proporcionadas por el modelo hidrológico tienden a mostrar una sobreestimación promedio de 2.2 m<sup>3</sup>/s para el intervalo de probabilidades de excedencia que va del 10% al 30%, mientras que presentan una subestimación promedio de 0.5 m<sup>3</sup>/s para probabilidades de excedencia por debajo del 10%. Además, se generaron un cálculo de las Concentraciones de Desbordamiento (CD) específicas en las salidas de las áreas de contribución I y II empleando los caudales obtenidos a través de la simulación del modelo PRECAUD V1.0.

**Figura 32**

*Modelo de inclinación*



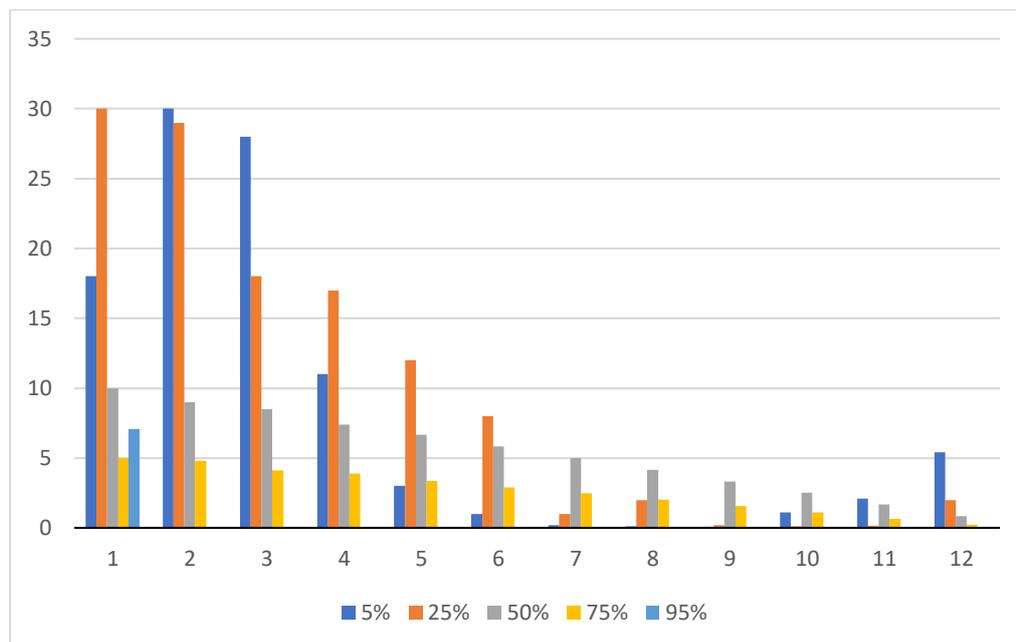
Interpretación: Se señala que la pendiente de la curva de duración (CD) en el área de contribución I es más pronunciada que en la II para probabilidades de excedencia inferiores al 60%. Esto indica que el patrón de flujos mensuales promedio en el área de influencia I exhibe.

La contribución I exhibe una variabilidad más pronunciada en comparación con la contribución II, lo que indica que la capacidad de retención en la contribución II es mayor que en la contribución I.

Con el propósito de caracterizar la disponibilidad hídrica a nivel mensual en la estación, se elaboraron curvas de duración utilizando las descargas observadas para cada mes durante el periodo analizado. La precisión del ajuste se examinó utilizando el coeficiente de determinación de Pearson (R). Los meses de enero, febrero, marzo y diciembre mostraron los valores más altos de R, con valores superiores a 0.97.

**Figura 33**

*Caudales*



Interpretación: Se presenta El caudal anual medio con una persistencia del 75%, simulando descargas medias mensuales durante los periodos 2019-2035 y 2079-2098. Estas simulaciones se llevaron a cabo utilizando datos de precipitación provenientes del modelo climático MRI-AGCM3.2S. Las descargas obtenidas fueron utilizadas para construir curvas de duración (CD) y curvas de variabilidad específica (CVE) tanto en la estación como aguas arriba de esta, específicamente en las salidas de las áreas.

En este contexto, se observa que, para la misma probabilidad de excedencia, el caudal promedio aumenta en promedio a 1.1 m³/s en un futuro cercano y lejano. Las descargas muestran una tendencia decreciente hacia valores nulos para probabilidades de excedencia por encima del 50%, mientras que se registra un incremento gradual para probabilidades inferiores al 50%. Por ejemplo, las descargas que se igualan o superan el 25% del tiempo en el período actual son de 8.5 m³/s, pero se proyecta que en un futuro próximo y distante sean de 12.2 y 16.1 m³/s, respectivamente.

## 4.2. CONSTATACIÓN DE HIPÓTESIS Y PRUEBA DE HIPÓTESIS

HG: Si al realizar la modelación hidrológica utilizando PRECAUD v 1.0 en la cuenca del río Higueras, se obtendrán estimaciones precisas de la producción hídrica superficial en términos de probabilidad

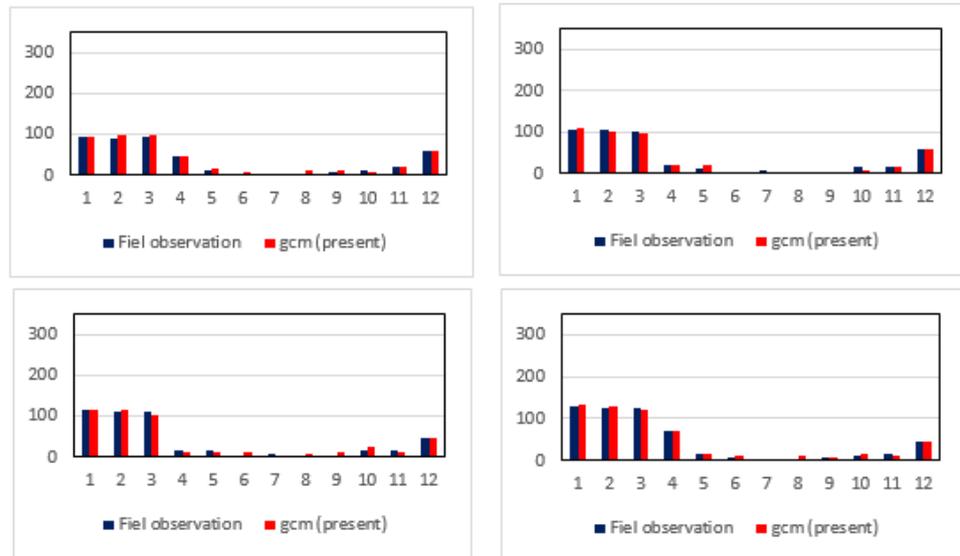
A partir de la hipótesis presentada, se procede a evaluar si se cumplió con lo propuesto. Según los resultados previamente expuestos obtenidos del programa utilizado, se destacan los siguientes hallazgos:

- Para el caudal medio anual, se registra una disminución anual del 27%, presentando reducciones progresivas del 2.5%, 11% y 20% respectivamente.
- Los coeficientes de correlación obtenidos son de 0.91 y 0.66, evidenciando la relación entre las variables analizadas.
- El análisis del régimen de sensibilidad de la descarga indica que en 2019 se registró un caudal de 18.75 m<sup>3</sup>/s, mientras que en 2018 fue de 9.38 m<sup>3</sup>/s. Asimismo, para el año 2015, se observó un caudal de 70.42 m<sup>3</sup>/s y en marzo de 2019, de 90.10 m<sup>3</sup>/s.
- En cuanto a las proyecciones futuras, se destaca que la precipitación promedio aumenta en un 40.2%, 10%, 45.4%, y 51% durante los meses de enero, febrero, marzo y abril, respectivamente, en el periodo 2020-2039. Además, en el periodo 2080-2099, se pronostica un incremento del 62.8%, 14.2%, 96.5%, y 109% para esos mismos meses.
- Disponibilidad hídrica: Las descargas observadas y simuladas, correspondientes a probabilidades de excedencia superiores al 25%, presentan una concordancia satisfactoria y varían en un máximo de 1.2 m<sup>3</sup>/s. También, los flujos estimados por el modelo hídrico, tienden a ser sobreestimadas en promedio en 2.2 m<sup>3</sup>/s para el rango de probabilidades de excedencia de 10 a 30%, mientras que son subestimadas en promedio en 0.5 m<sup>3</sup>/s para probabilidades de excedencia inferiores al 10%.

- El caudal experimenta un incremento promedio de 1.1 m<sup>3</sup>/s para la misma probabilidad de excedencia. Las descargas asociadas a probabilidades de excedencia superiores al 50% experimentan una disminución progresiva hasta llegar a valores nulos, mientras que aumentan para probabilidades de excedencia inferiores al 50%.

**Figura 34**

*Resultados*



De acuerdo a lo mostrado anteriormente se puede constatar que la hipótesis planteada es validada por que el uso del programa nos genera unos resultados de la producción hídrica superficial en términos de probabilidad.

### **Hipótesis Específicas**

**HE01:** Si las series pluviométricas e hidrométricas de la cuenca del río Higueras presentan una variabilidad significativa, entonces podrán ser modeladas con precisión mediante PRECAUD v1.0, permitiendo evaluar tendencias y patrones en la disponibilidad hídrica.

Validación:

Se presenta una variabilidad en los caudales medios anuales, con una disminución progresiva del 27% en los caudales a lo largo de los años. Los coeficientes de correlación obtenidos entre las variables pluviométricas e

hidrométricas (0.91 y 0.66) son altos, lo que sugiere una relación significativa entre las variables.

**Conclusión:** La hipótesis HE01 es válida, ya que la variabilidad significativa observada en las series de caudales e índices de correlación sugiere que el modelo PRECAUD v1.0 puede ser utilizado para modelar las tendencias y patrones de la disponibilidad hídrica de la cuenca del río Higueras. Los resultados indican que la variabilidad en los datos es suficiente para aplicar el modelo con precisión.

**HE02:** Si las características geomorfológicas de la cuenca del río Higueras influyen en los patrones de escorrentía y en la producción hídrica superficial, entonces podrán ser representadas adecuadamente en el modelo PRECAUD v1.0.

Validación:

Resultados Relevantes:

El análisis de sensibilidad de los caudales muestra una amplia variabilidad en los caudales, con valores que varían desde 9.38 m<sup>3</sup>/s hasta 90.10 m<sup>3</sup>/s en diferentes períodos. Esta variabilidad puede estar relacionada con las características geomorfológicas de la cuenca lo que impacta directamente en la escorrentía.

Conclusión:

La hipótesis HE02 es válida, ya que los resultados muestran que las variaciones en los caudales están correlacionadas con el análisis de sensibilidad y la influencia de las características geomorfológicas, lo que valida que estas pueden ser representadas adecuadamente en el modelo PRECAUD v1.0.

**HE03:** Si el modelo hidrológico PRECAUD v1.0 es calibrado y validado correctamente, entonces podrá reproducir de manera precisa el comportamiento hidrológico de la cuenca del río Higueras, proporcionando estimaciones confiables de la escorrentía superficial.

Validación:

Resultados Relevantes:

Las descargas observadas y simuladas muestran una concordancia satisfactoria, con una variación máxima de 1.2 m<sup>3</sup>/s en probabilidades de excedencia superiores al 25%. Sin embargo, el modelo tiende a sobrestimar los flujos en ciertos rangos (2.2 m<sup>3</sup>/s para probabilidades de excedencia entre 10 y 30%) y subestimarlos en otros (0.5 m<sup>3</sup>/s para probabilidades inferiores al 10%).

Conclusión: La hipótesis HE03 es válida parcialmente. Si bien el modelo PRECAUD v1.0 puede reproducir el comportamiento hidrológico en general y proporciona estimaciones confiables en ciertas probabilidades, la presencia de sobreestimaciones y subestimaciones indica que, aunque el modelo es adecuado, podría beneficiarse de ajustes adicionales en la calibración para mejorar la precisión en algunos rangos específicos de probabilidades de excedencia.

**HE04:** Si la disponibilidad hídrica superficial en la cuenca del río Higuera varía en el tiempo y el espacio, entonces podrá ser estimada con PRECAUD v1.0, permitiendo realizar proyecciones futuras bajo distintos escenarios climáticos.

Validación:

Resultados Relevantes:

Se observó una variabilidad en la disponibilidad hídrica, con incrementos de hasta un 109% en la precipitación proyectada para el periodo 2080-2099 en ciertos meses. Las proyecciones futuras muestran un aumento significativo en la precipitación durante los meses de enero, febrero, marzo y abril para el periodo 2020-2039.

### Conclusión:

La hipótesis HE04 es válida, ya que el modelo PRECAUD v1.0 permitió estimar la disponibilidad hídrica superficial actual y futura, incluyendo variaciones temporales y espaciales, y proyectó adecuadamente los cambios bajo distintos escenarios climáticos.

## CAPÍTULO V

### DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Según Alvarado (2017) en su investigación opto por un ráster que tenía el número de bandas de 10 y % de cobertura nubosa de 1%-3%, siendo la calidad de la banda es de 9, pero para nuestro estudio se obtuvo que el número de bandas fue de 7 y % de cobertura nubosa de 2%-5%, la calidad de la banda es de 8. Este cambio se debe a que el lugar y el año de muestra de cada investigación difiere, por ende, los ráster son con distintas características.

Para la parte geomorfológica esta investigación tuvo los siguientes resultados:

ÁREA DE LA CUENCA: 250.4800 Km<sup>2</sup>  
PERÍMETRO DE LA CUENCA: 128.4580 Km  
PENDIENTE PROMEDIO DE LA CUENCA: 10.349 %  
PENDIENTE DEL CAUCE PRINCIPAL: 6.51%  
LONGITUD DEL CURSO PRINCIPAL: 43.18269 Km  
NÚMERO DE CURVA: 70

Pero para Chamat (2019) obtuvo los siguientes resultados de su cuenca de estudio:

ÁREA DE LA CUENCA: 540.500 Km<sup>2</sup>  
PERÍMETRO DE LA CUENCA: 380.80 Km  
PENDIENTE PROMEDIO DE LA CUENCA: 20.9 %  
PENDIENTE DEL CAUCE PRINCIPAL: 16.15%  
LONGITUD DEL CURSO PRINCIPAL: 60.29 Km  
NÚMERO DE CURVA: 70

Se aprecia una diferencia en los resultados, ya que, en el caso de Chamat, el área de estudio abarca la cuenca de Lima, que es más extensa en comparación con este estudio, que se centra en una parte específica. A pesar de estas diferencias en ubicación y tamaño, ambos estudios comparten

similitudes en el número de curva, ya que ambas cuencas tienen un número de curva de 70, conforme a las especificaciones propuestas.

De manera similar, en este estudio, el polígono de frecuencias derivado del promedio de las pendientes muestra una variación significativa, oscilando entre 9.54 y 25.95, y luego de 28.22 a 10.01, con la distribución de menor delta teórico siendo el log Normal (0.0952). En contraste, en el estudio de Chamat, que abarca una cuenca de mayores dimensiones, la variación en el promedio de las pendientes para el polígono de frecuencias es más marcada, fluctuando entre 15.47 y 38.58, y luego de 39.24 a 11.15, con la distribución de menor delta teórico siendo la Gumbel (0.852).

Referente al uso del programa se obtiene los siguiente: se tiene unos coeficientes de correlación de 0.91 y 0.66. Pero para Canales (2017) los coeficientes de correlación que tuvo su estudio fueron de 0.56 y 0.76. Con la proyección futura realizada en este estudio, se evidenció un aumento de la precipitación entre enero y abril, con incrementos promedio del 40.2%, 10%, 45.4% y 50%. En contraste, Canales observó un aumento entre diciembre y marzo en su estudio, atribuible a diferencias en el lugar de investigación, siendo ICA para Canales y Huánuco para este estudio. Además, las fechas de realización de los estudios también fueron distintas.

De manera similar, al analizar la disponibilidad hídrica en este estudio, se encontró que los flujos registrados y estimados, correspondientes a probabilidades de superar el 25%, se adecuan de manera satisfactoria y presentan diferencias en un máximo de 1.2 m<sup>3</sup>/s. También, los caudales estimados por el modelo hidrológico tienden a ser calculadas en exceso en promedio en 2.2 m<sup>3</sup>/s para el intervalo de probabilidades de superación del 10% al 30%, y calculadas por defecto en promedio en 0.5 m<sup>3</sup>/s para probabilidades de excedencia inferiores al 10%. En el caso de Canales, la excedencia fue mayor al 30%, y las descargas presentaron un rango de probabilidades entre el 20% y el 40%.

## CONCLUSIONES

- Se llevó a cabo con éxito la modelización del proceso precipitación-escorrentía en la Cuenca del Río Higueras mediante el uso del modelo hidrológico semi agregado PRECAUD v1.0. Esto permitió la estimación de la producción hídrica tanto en la actualidad como en el futuro.
- El análisis geomorfológico reveló características importantes de la cuenca, con un área de 250.4800 km<sup>2</sup>, un perímetro de 128.4580 km, una pendiente promedio de la cuenca del 10.349%, una pendiente del cauce principal de 6.51%, una longitud del curso principal de 43.18269 km y un número de curva de 70.
- El examen de la coherencia y la variación en los registros de lluvia y flujo de agua proporcionó datos numéricos y representaciones visuales que respalda la confiabilidad de las series temporales para su utilización en la modelización hidrológica.
- Se llevaron a cabo estudios de sensibilidad, ajuste y comprobación del modelo hidrológico PRECAUD v1.0. La evaluación de la sensibilidad analizó cómo reaccionaba el sistema hidrológico ante variaciones en los factores del modelo en cada región de aporte, lo que facilitó la clasificación de su importancia. La etapa de calibración, única para cada área de contribución, fue satisfactoria, indicando que PRECAUD v1.0 tiene la capacidad adecuada para simular los procesos hidrológicos en la Cuenca del Río Higueras.
- Se evaluó la disponibilidad hídrica superficial, encontrando que los flujos registrados y los estimados, correspondientes a niveles de probabilidad de superación superiores al 25%, se ajustan de manera satisfactoria y difieren en un máximo de 1.2m<sup>3</sup>/s. También, las estimaciones de caudal realizadas por el modelo hidrológico tienden a exceder en promedio en 2.2m<sup>3</sup>/s para el intervalo de probabilidades de excedencia del 10%-30% mientras que son subestimadas en promedio en 0.5m<sup>3</sup>/s para probabilidades de excedencia inferiores al 10%.

## RECOMENDACIONES

- Se sugiere la instalación de estaciones hidrológicas automáticas en la confluencia del río Higueras para la transmisión en tiempo real de los caudales generados por dichos ríos. Estos registros podrían ser empleados tanto en el ajuste y verificación de modelos hidrológicos a una escala más pequeña, como en investigaciones de extrapolación de flujos.
- Se plantea la reactivación de la estación hidrométrica Huánuco-San Rafael, situada en la laguna que lleva su nombre, debido a que facilitaría el registro de los trasvases en el sistema. Esta medida resultaría crucial en la modelización hidrológica de la cuenca de los ríos cercanos, al identificar los caudales naturales producidos por la cuenca, los cuales quedan registrados en la estación hidrométrica.
- Se propone la implementación de un método computacional para ajustar automáticamente los factores en la simulación hidrológica, sirviendo como un complemento al procedimiento manual de ajuste en el modelo PRECAUD v1.0.
- Se aconseja aprovechar los resultados obtenidos en esta investigación para comprender la disponibilidad hídrica superficial tanto histórica como futura en la cuenca del río Higueras. Esto contribuirá significativamente a la toma de decisiones por parte de las autoridades encargadas de la gestión de los recursos hídricos en dicha cuenca.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alvarado, M. C. (2021). *Modelación de máximas avenidas a paso diario (1964-2014), con enfoque semidistribuido usando GR4J, en la cuenca del río Camaná*. Arequipa - Perú.
- Alvarado, R. E. (2017). *Modelacion del proceso de lluvia escorrentia usando sistemas de informacion geografica*. Piura - Perú.
- Aparicio, F. (1992). *Fundamentos de hidrología de superficie: Infiltración*. Mexico.
- Argota, T. (2011). *Simulación hidrológica de la cuenca del Rio Amajac, estado de Hidalgo aplicando el modelo SWAT*. Mexico.
- Breña, A. (2006). *Principios y Fundamentos de la Hidrologia Superficial* . México.
- Cahuana, A., & Yugar, W. (2009). *Material de apoyo didáctico para la enseñanza y aprendizaje de la asignatura de hidrología*. Cochabamba - UMSS.
- Campos, D. (1992). *Procesos del ciclo hidrológico: Intercepción y Almacenamiento en depresiones*. San Luis de Potosí.
- Campos, D. (1998). *Procesos del Ciclo Hidrologico* . San Luis de Potosi.
- Canales, T. M. (2017). *MODELACIÓN DEL PROCESO PRECIPITACIÓN ESCORRENTÍA EN LA CUENCA DEL RÍO ICA*.
- Chamat, T. J. (2019). *Modelacion de lluvia-escorrentia y del fenomeno de primer lavado generado por eventos de precipitaicon en un tren de suds. caso de estudio piloto parque metropolitano san cristobal*. Bogota - Colombia.
- Chávarri, E., & Salas, J. (2009). *Modelo precipitación escorrentía PRECAUD v1.0*. Lima.
- Chereque, W. (1987). *Mecanica de Fluidos I*. Lima-Perú.
- Chow, V. T., Maidment, D., & Mays, L. W. (1994). *Hidrologia Aplicada*. Bogota: Mc Graw Hill.
- Escenarios Hidricos 2030*. (25 de 05 de 2021). Obtido de <https://escenarioshidricos.cl/noticia/cuenca-hidrografica-la-unidad-territorial-optima-para-gestionar-recursos-hidricos/>

- FAO, (. d. (2006). *Evapotranspiración del cultivo: Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos.*
- Fernández, P. N. (2024). *Evaluación de capacidad de drenaje en la Región de Murcia mediante modelos hidrológicos.*
- Flores, G. M. (2024). *Análisis hidrológico de la Quebrada Caupicho mediante HEC-HMS.* Ecuador.
- Garay, S. G., & Vicente, T. H. (2021). *Analisis hidraulico para reducir riesgo de inundacion del rio Nupe, en el centro poblado de pilcocancho, distrito de Rondos-Lauricocha - Huanuco 2019.* Huanuco - Perú.
- Gonzales, C. M., & De la Ossa, D. M. (2018). *METODOLOGÍA PARA ESTIMAR HIDROGRAMAS DE CRECIENTES A PARTIR DE MODELOS LLUVIA-ESCORRENTÍA EMPLEANDO HYFRAN Y HEC-HMS. CASODE ESTUDIO: CUENCA DEL ARROYO MATUTE, LOCALIZADO EN EL DEPARTAMENTO DE BOLÍVAR.* Colombia.
- Gutiérrez, M. R. (2024). *Evaluación de modelos hidrológicos en la cuenca del río Coata, Puno.*
- Hernandez, R. F. (2014). *Metodología de la Investigación. (6ta ed.).* México D.F.: McGraw-Hill.
- Hernández, S. R. (2014). *Metodología de la Investigación.* Mexico: McGraw-Hill.
- Horton, R. (1919). *Rainfall interception. Monthly weather.*
- Hosking, J. R. (1997). *Regional frequency analysis: An approach based on L-moments.*
- Martinez, A. V. (1999). *Simulación y comprobación experimental de la escorrentía superficial en pequeñas cuencas no aforadas mediante modelos dsitribuidos implementados sobre el SIG.* Madrid.
- Martinez, E. (2005). *Hidrologia practica: infiltracion y retencion del terreno.* España.
- McCuen, R. H. (2004). *Hydrologic analysis and design (3rd ed.).*
- Méndez, L. G. (2024). *Inteligencia artificial para la predicción de sequías en la cuenca del Río Santa Lucía.*
- Nuñez, J. S. (2011). *Erosion e inundacion fluvial en el rio Higueras ( Desembocadura de Cabrito Pampa y en el rio Huallaga - puente calicanto).* Perú.

- Ortiz, R. A. (2017). *Implementacion del modelo hidrológico swat: modelacion y simulacion multitemporal de la variacion de escorrentia en la cuenca del lago cuitzeo*. Morelia - Mexico.
- Rojas, F. Q. (2024). *Modelamiento hidrológico híbrido en la cuenca del río Chancay Lambayeque*.
- Singh, V. P. (2002). *Mathematical modeling of watershed hydrology*.
- Sossa, E. (2009). *Modelos hidrológicos como una alternativa para la evaluación de los recursos hidricos*. Santiago - Bolivia.
- Sun, S., & Hansen, J. (2003). *Climate simulations for 1951-2050 with a coupled atmosphere-ocean model*.
- Tamayo, M. (2004). *El proceso de la investigación científica*. Limusa.
- Tucci, C. (1993). *Escoamento superficial*. In *Hidrología: ciencia y aplicación*. Sao Paulo.
- Villodas, R. (2008). *Hidrología*. Facultad de ingeniería Civil UNC.

## **COMO CITAR ESTE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN**

Cipriano Paredes, D. (2025). *Modelación mediante precaud v 1.0 del proceso de precipitación de escorrentía para las estimaciones de producción hídrica superficial en términos de probabilidad en la cuenca del rio Higuera–Huánuco - 2024* [Tesis de pregrado, Universidad de Huánuco]. Repositorio Institucional UDH. <http://...>

## **ANEXOS**

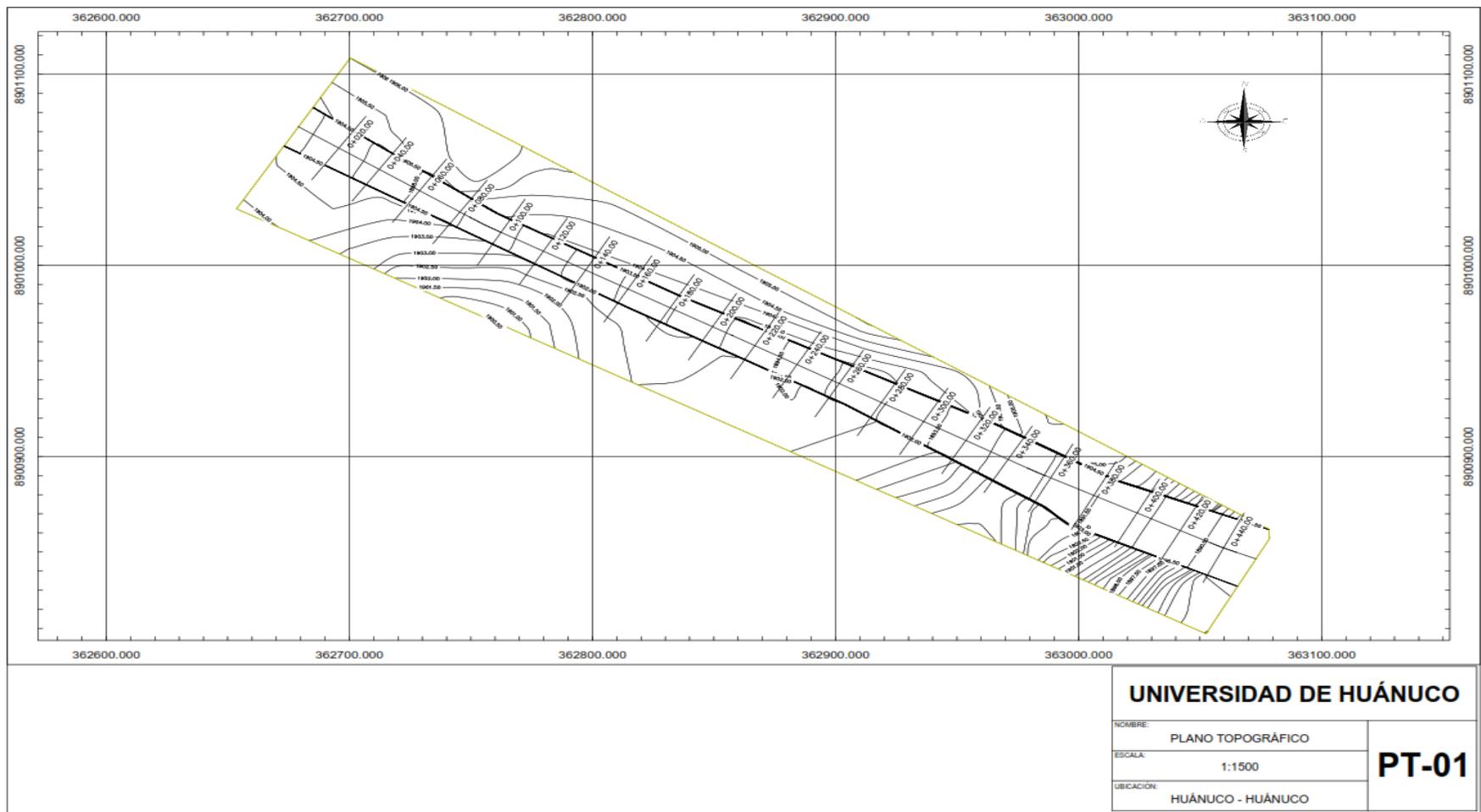
## ANEXO 1

### MATRIZ DE CONSISTENCIA

| FORMULACIÓN DEL PROBLEMA                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | OBJETIVOS                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>Problema General:<br/>¿Es posible llevar a cabo la modelación hidrológica empleando PRECAUD v 1.0 con el propósito de obtener estimaciones de producción hídrica superficial basadas en términos de probabilidad en la cuenca del río Higueras?</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                            | <p>Objetivo General<br/>Realizar la modelación hidrológica mediante el uso de PRECAUD v 1.0 para obtener la producción hídrica superficial en términos de probabilidad en la cuenca del río Higueras.</p>                                                                                                                                                                                                                                                 | <p>HIPÓTESIS GENERAL<br/>H1: Si al realizar la modelación hidrológica utilizando PRECAUD v 1.0 en la cuenca del río Higueras, se obtendrán estimaciones precisas de la producción hídrica superficial en términos de probabilidad.</p>                                                                                                                 |
| <p>Problemas Específicos:<br/>¿Cómo se lleva a cabo el análisis de la variabilidad en las series pluviométricas e hidrométricas en la cuenca del río Higueras?<br/>¿Cómo se determinan las características geomorfológicas de la cuenca del río Higueras?<br/>¿Cuál es el enfoque para realizar el análisis de sensibilidad, calibración y validación del modelo hidrológico en la cuenca del río Higueras?<br/>¿Cómo se procede a caracterizar tanto la disponibilidad actual como futura de agua superficial en la cuenca del río Higueras?</p> | <p>Objetivos Específicos<br/>Analizar la variabilidad de las series pluviométricas e hidrométricas usando PRECAUDV1.0. en la cuenca del río Higueras.<br/>Determinar las características geomorfológicas de la cuenca del río Higueras.<br/>Realizar el análisis de sensibilidad, calibración y validación del modelo hidrológico PRECAUD v1.0.<br/>Caracterizar la disponibilidad hídrica superficial actual y futura en la cuenca del río Higueras.</p> | <p>ENFOQUE, ALCANCE Y DISEÑO<br/>Enfoque: Cuantitativo.<br/>Alcance o nivel: Descriptivo.<br/>Diseño: No experimental.</p> <p>POBLACIÓN Y MUESTRA<br/>Población: la cuenca del río Higueras.<br/>Muestra: la sub cuenca del río Higueras, en el tramo de la laguna viña del río hasta la desembocadura con el río Huallaga de la región de Huánuco</p> |

## ANEXO 2 PLANO DE UBICACIÓN





# ANEXO 3

## FICHAS DEL SENAMHI

**Figura 35**

*Datos de la estación*



\* DECENIO DE LA IGUALDAD DE OPORTUNIDADES PARA MUJERES Y HOMBRE\*  
\* AÑO DE LA CONSOLIDACIÓN DE NUESTRA INDEPENDENCIA Y LA CONMEMORACIÓN DE LAS HEROICAS BATALLAS DE AYACUCHO Y JUNIN\*.

**ESTACIÓN:** CP HUANUCO

LATITUD: 09° 57' 7.24" S  
LONGITUD 76° 14' 54.80" W  
ALTITUD: 1919 msnm

DPTO.: Huánuco  
PROV.: Huánuco  
DIST.: Pillco Marca

Parámetro: Precipitación Total Mensual (m.m)

Periodo: 2022 - 2022

| N° | AÑO  | ENERO                             | FEBRERO                           | MARZO                             | ABRIL                             | MAYO                              | JUNIO                             | JULIO                             | AGOSTO                            | SETIEMBRE                         | OCTUBRE                           | NOVIEMBRE                         | DIEMBRE                           |
|----|------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
|    |      | Precipitación Total Mensual (m.m) |
| 1  | 2002 | 29.5                              | 56.4                              | 83.1                              | 56.5                              | 18.2                              | 2.9                               | 12.8                              | 4.1                               | 8.4                               | 109.8                             | 40.8                              | 20.3                              |
| 2  | 2003 | 44.7                              | 26.9                              | 70.5                              | 24.6                              | 14.3                              | 0.3                               | 0.1                               | 9.4                               | 12.6                              | 17.1                              | 77.3                              | 83.1                              |
| 3  | 2004 | 33.6                              | 31.7                              | 56.9                              | 31.2                              | 24.8                              | 5.1                               | 5.6                               | 16.7                              | 16.2                              | 28.6                              | 34.8                              | 104.6                             |
| 4  | 2005 | 32.6                              | 45.0                              | 92.7                              | 12.2                              | 1.4                               | 0.0                               | 2.0                               | 8.6                               | 5.8                               | 51.5                              | 26.3                              | 106.9                             |
| 5  | 2006 | 81.9                              | 48.4                              | 112.7                             | 38.6                              | 2.0                               | 6.2                               | 3.5                               | 2.9                               | 11.4                              | 46.0                              | 66.7                              | 89.1                              |
| 6  | 2007 | 33.9                              | 6.9                               | 83.1                              | 35.8                              | 7.8                               | 1.9                               | 6.7                               | 3.9                               | 4.4                               | 59.2                              | 40.6                              | 70.3                              |
| 7  | 2008 | 29.8                              | 90.8                              | 91.3                              | 36.3                              | 3.6                               | 5.5                               | 0.1                               | 2.0                               | 33.4                              | 38.0                              | 50.9                              | 68.1                              |
| 8  | 2009 | 67.2                              | 72.5                              | 87.9                              | 57.2                              | 13.7                              | 10.3                              | 11.9                              | 4.4                               | 11.0                              | 44.6                              | 40.2                              | 59.6                              |
| 9  | 2010 | 21.8                              | 85.9                              | 91.6                              | 19.0                              | 3.4                               | 2.6                               | 4.9                               | 7.2                               | 13.6                              | 26.7                              | 55.1                              | 81.9                              |
| 10 | 2011 | 74.3                              | 64.0                              | 141.6                             | 43.9                              | 21.1                              | 5.7                               | 1.9                               | 3.7                               | 22.6                              | 67.7                              | 56.6                              | 114.2                             |
| 11 | 2012 | 78.6                              | 55.7                              | 30.1                              | 75.9                              | 13.7                              | 3.8                               | 7.8                               | 3.4                               | 4.9                               | 75.0                              | 94.5                              | 154.7                             |
| 12 | 2013 | 36.2                              | 90.0                              | 92.0                              | 33.6                              | 5.7                               | 10.7                              | 12.5                              | 22.1                              | 6.6                               | 37.8                              | 71.3                              | 76.1                              |
| 13 | 2014 | 72.0                              | 92.0                              | 76.3                              | 43.1                              | 29.2                              | 6.6                               | 2.9                               | 0.7                               | 28.9                              | 49.7                              | 32.1                              | 84.9                              |
| 14 | 2015 | 75.6                              | 48.9                              | 62.3                              | 59.0                              | 37.8                              | 2.8                               | 3.9                               | 2.3                               | 3.1                               | 22.7                              | 71.4                              | 35.3                              |
| 15 | 2016 | 34.7                              | 47.3                              | 67.8                              | 11.6                              | 0.2                               | 0.8                               | 0.2                               | 1.1                               | 1.7                               | 34.3                              | 37.5                              | 70.2                              |
| 16 | 2017 | 72.1                              | 70.9                              | 74.0                              | 24.6                              | 12.3                              | 4.0                               | 4.8                               | 5.1                               | 15.9                              | 32.3                              | 49.4                              | 132.1                             |
| 17 | 2018 | 88.5                              | 87.9                              | 85.3                              | 61.4                              | 10.6                              | 11.3                              | 2.4                               | 9.8                               | 18.1                              | 96.1                              | 47.6                              | 52.3                              |
| 18 | 2019 | 116.5                             | 56.3                              | 130.9                             | 20.2                              | 9.1                               | 12.0                              | 1.1                               | 4.4                               | 13.4                              | 58.5                              | 18.5                              | 125.2                             |
| 19 | 2020 | 42.4                              | 61.2                              | S/D                               | S/D                               | S/D                               | S/D                               | 5.9                               | 0.6                               | 4.8                               | 24.3                              | 15.3                              | 56.3                              |
| 20 | 2021 | 74.8                              | 72.2                              | 66.5                              | 33.8                              | 16.2                              | 3.2                               | 0.9                               | 3.2                               | 29.7                              | 34.2                              | 126.7                             | 39.0                              |
| 21 | 2022 | 54.4                              | 82.6                              | 50.3                              | 15.5                              | 3.3                               | 9.6                               | 6.0                               | 11.0                              | 10.0                              | 10.3                              | 28.7                              | 79.1                              |

DONDE: S/D= Sin Datos

SLUMP N° 23560 (PROHIBIDO PROPORCIONAR A TERCEROS)

INFORMACIÓN PREPARADA PARA : **TESISTA DAYSI MILAGROS CIPRIANO PAREDES.**

**OBRA:**

\*MODELACION MEDIANTE PRECAUD v 1.0 DEL PROCESO DE PRECIPITACIÓN DE ESCORRENTÍA PARA LAS ESTIMACIONES DE PRODUCCIÓN HÍDRICA SUPERFICIAL EN TÉRMINOS DE PROBABILIDAD EN LA CUENCA DEL RIO HIGUERAS- HUANUCO - 2024\*

COD. REG. N° T006/2024

EXPEDIENTE N° 2024-0007523

HUANUCO, 09 DE AGOSTO DEL 2024.



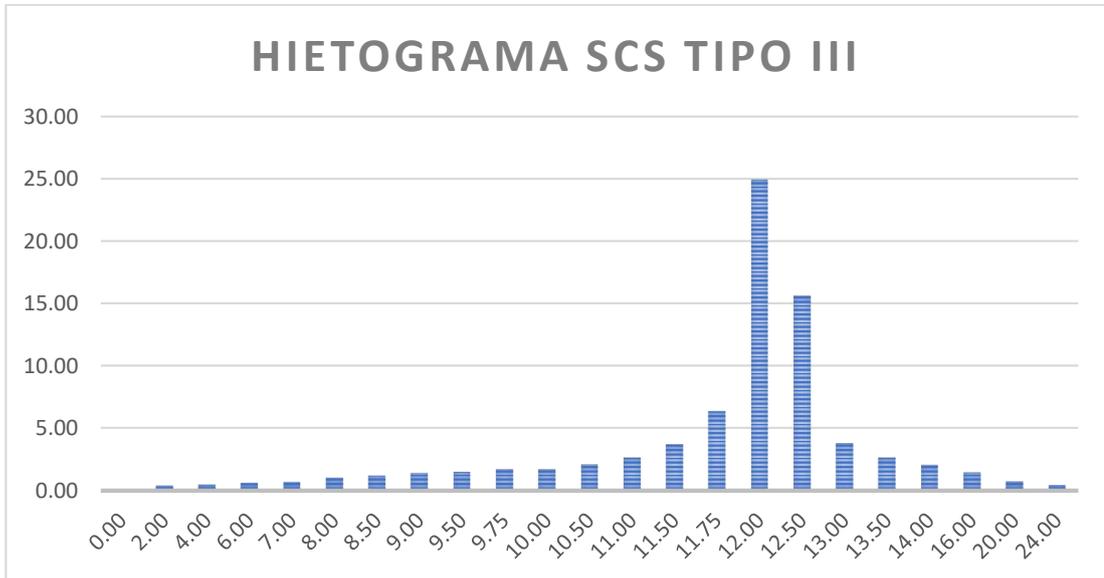
Ing. Yureisse Mariam Barqueta Faching.  
Director Zonal 10 (e)  
SENAMHI  
Jr. Leoncio Prado N° 235 - Huánuco, Huánuco.  
Tel.: 062 - 512070 CEL. 955899144  
Link: <http://huanuco.senamhi.gob.pe>  
[www.senamhi.gob.pe](http://www.senamhi.gob.pe)

**Figura 36***Para la obtención de las intensidades*

| N°                              | ESTACIÓN     | AÑO  | Pmáx (mm)   | Log P       |
|---------------------------------|--------------|------|-------------|-------------|
| 1                               | Tranferencia | 2002 | 109.8       | 2.04060234  |
| 2                               | Tranferencia | 2003 | 83.1        | 1.919601024 |
| 3                               | Tranferencia | 2004 | 104.6       | 2.019531685 |
| 4                               | Tranferencia | 2005 | 106.9       | 2.028977705 |
| 5                               | Tranferencia | 2006 | 112.7       | 2.051923916 |
| 6                               | Tranferencia | 2007 | 83.1        | 1.919601024 |
| 7                               | Tranferencia | 2008 | 91.3        | 1.960470778 |
| 8                               | Tranferencia | 2009 | 87.9        | 1.943988875 |
| 9                               | Tranferencia | 2010 | 91.6        | 1.961895474 |
| 10                              | Tranferencia | 2011 | 141.6       | 2.151063253 |
| 11                              | Tranferencia | 2012 | 154.7       | 2.189490314 |
| 12                              | Tranferencia | 2013 | 92          | 1.963787827 |
| 13                              | Tranferencia | 2014 | 92          | 1.963787827 |
| 14                              | Tranferencia | 2015 | 75.6        | 1.878521796 |
| 15                              | Tranferencia | 2016 | 70.2        | 1.846337112 |
| 16                              | Tranferencia | 2017 | 132.1       | 2.120902818 |
| 17                              | Tranferencia | 2018 | 96.1        | 1.982723388 |
| 18                              | Tranferencia | 2019 | 130.9       | 2.116939647 |
| 19                              | Tranferencia | 2020 | 61.2        | 1.786751422 |
| 20                              | Tranferencia | 2021 | 126.7       | 2.102776615 |
| 21                              | Tranferencia | 2022 | 82.6        | 1.916980047 |
|                                 |              |      |             |             |
|                                 |              |      |             |             |
| PROMEDIO (mm)                   |              |      | 101.271     | 1.99365023  |
| DESVIACIÓN ESTÁNDAR             |              |      | 24.507      | 0.10369151  |
| COEFICIENTE DE VARIACIÓN (C.V.) |              |      | 0.24        | 0.052011    |
| COEFICIENTE DE ASIMETRÍA        |              |      | 0.59        | 0.095207613 |
| K/6                             |              |      | 0.097873396 | 0.01586794  |
| N°                              |              |      | 21          | 21          |

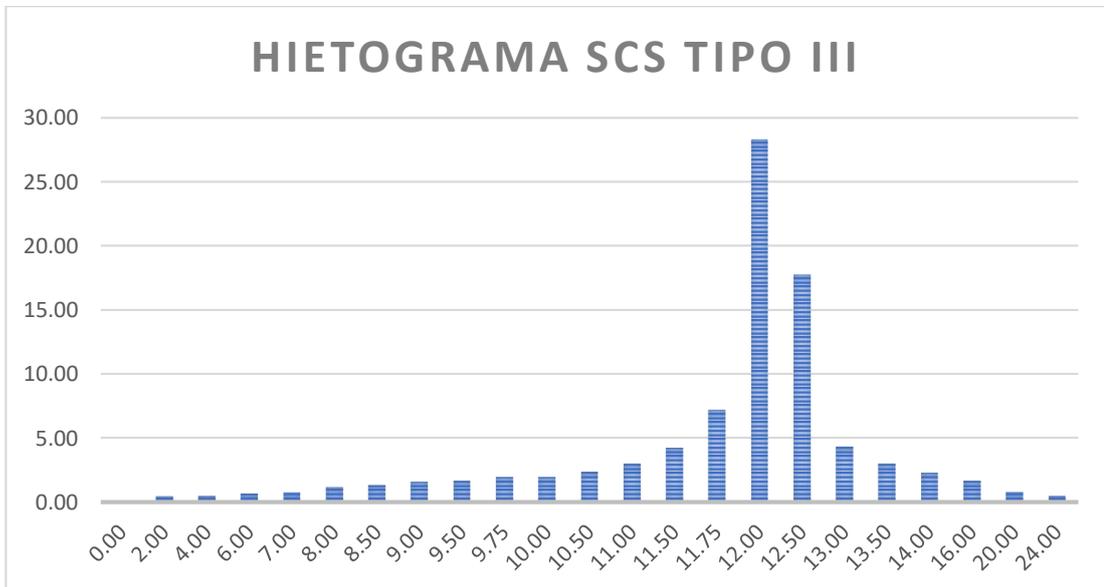
**Figura 37**

*Hietograma para 5 años*



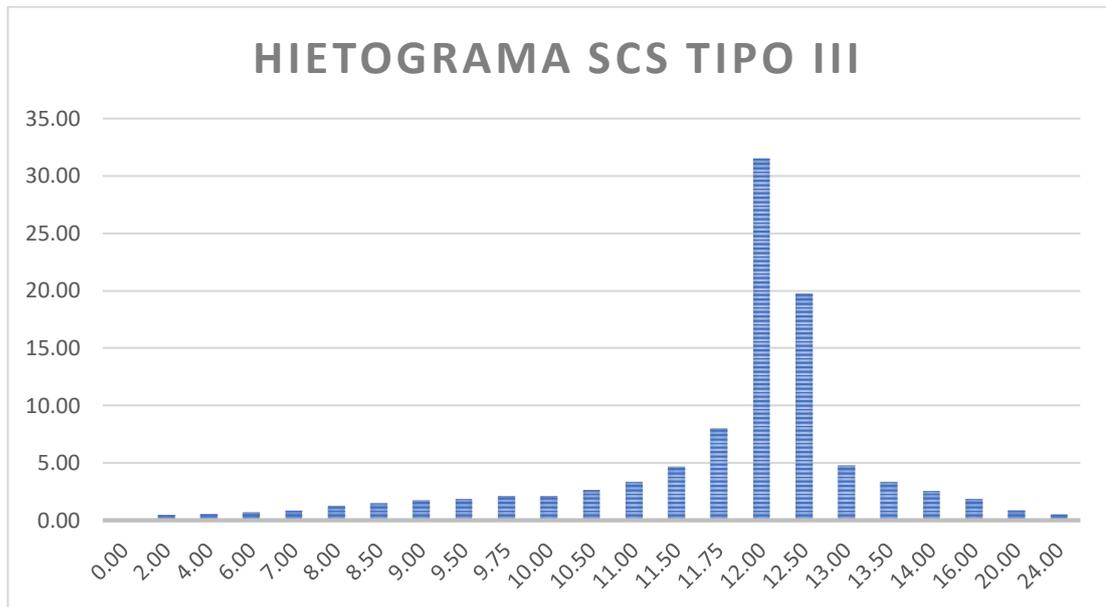
**Figura 38**

*Hietograma para 10 años*



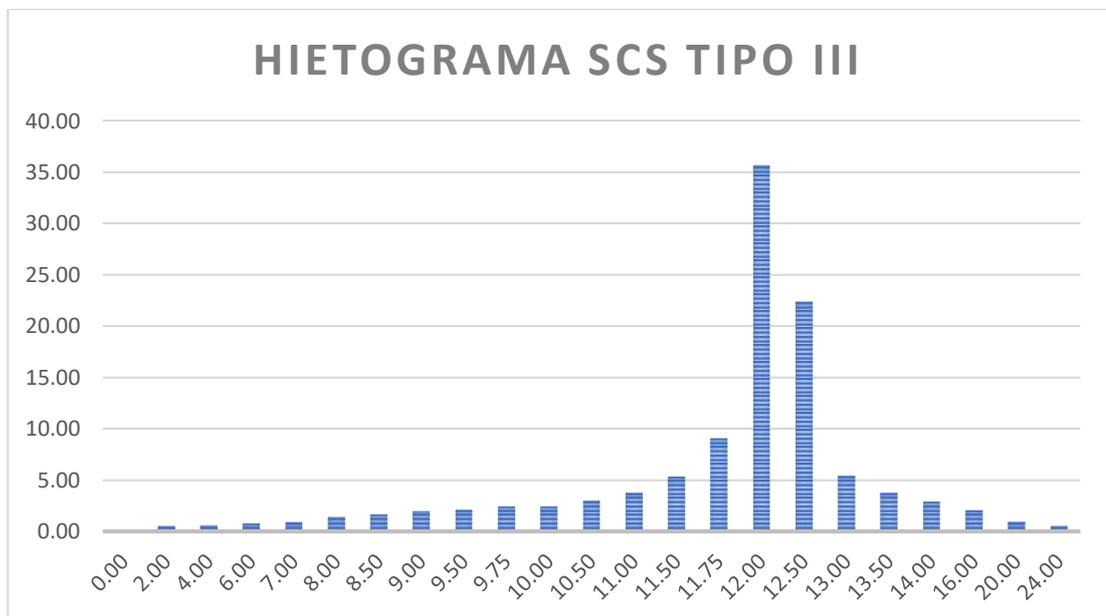
**Figura 39**

*Hietograma para 15 años*



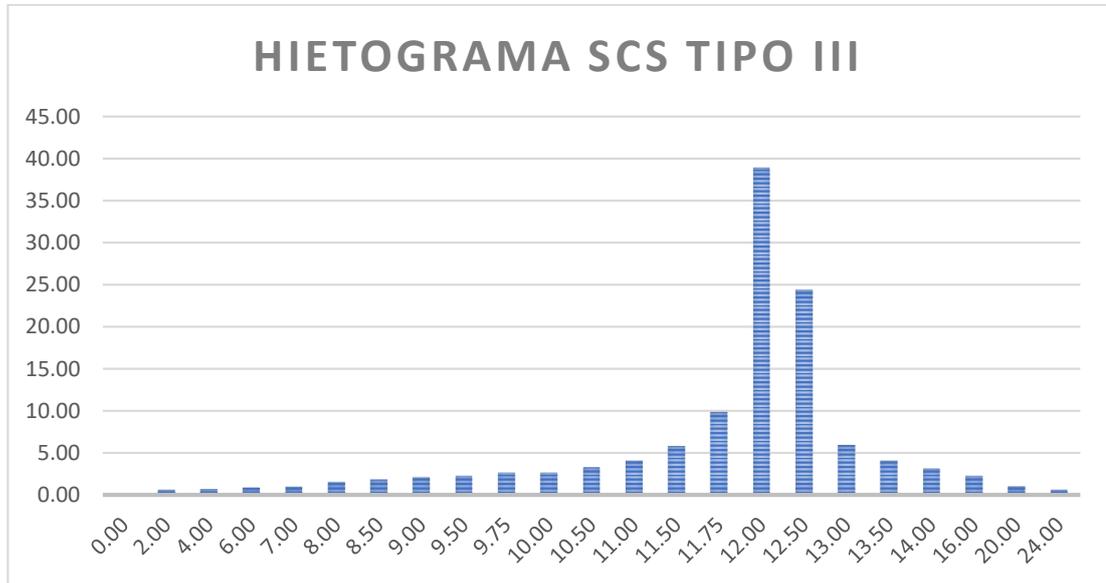
**Figura 40**

*Hietograma para 20 años*



**Figura 41**

*Hietograma para 50 años*



**Figura 42**

*PRECAUD v1.0*

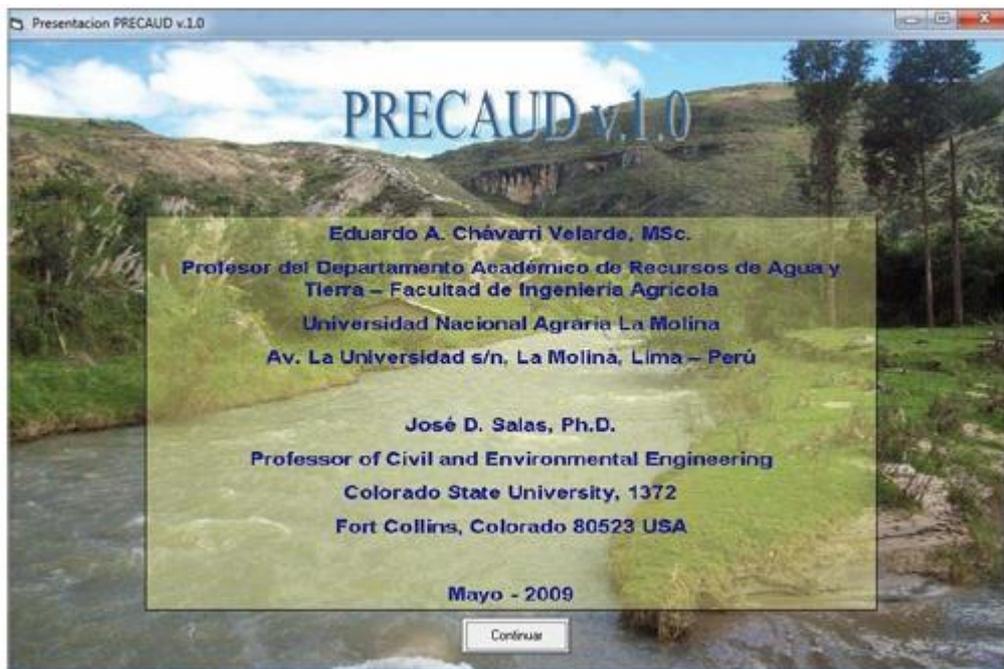


Figura 43

PRECAUD v1.0

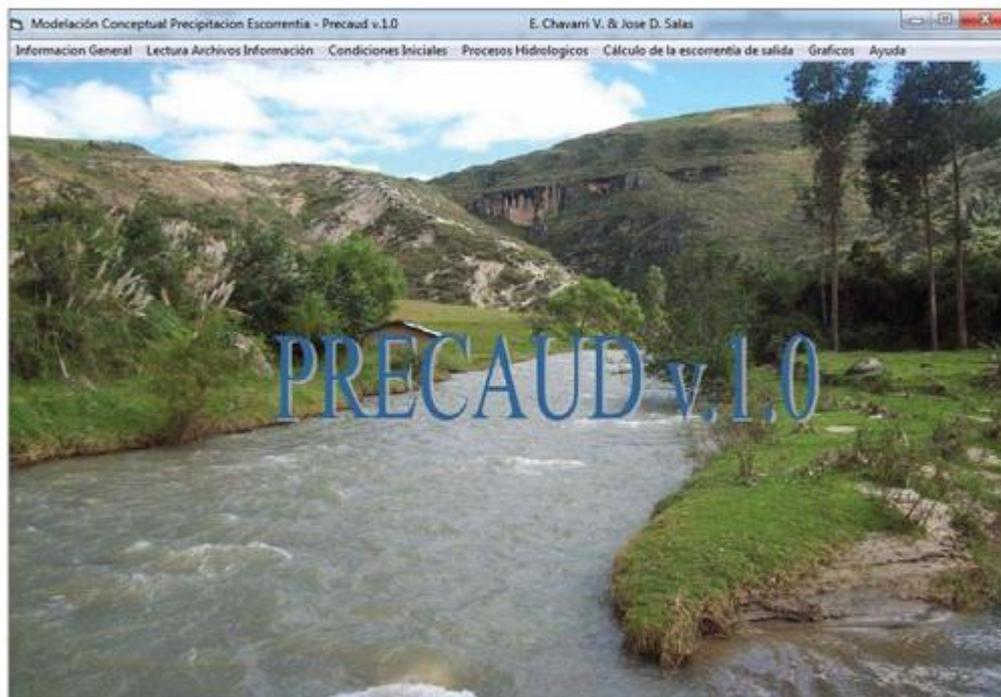


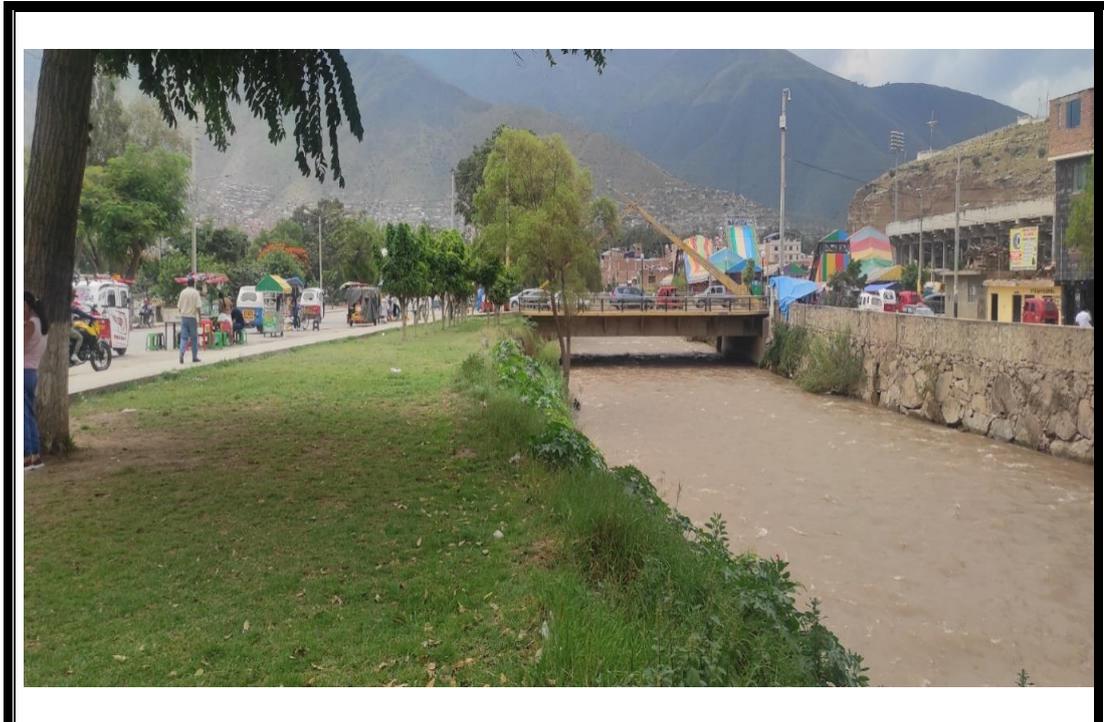
Figura 44

PRECAUD v1.0





**ANEXO 4**  
**PANEL FOTOGRÁFICO**



Vista panorámica del punto inicial de estudio al puente León de Huánuco.



Vista panorámica del puente León de Huánuco al puente Tingo.



Vista panorámica del tramo en estudio al puente Tingo.



Vista panorámica del punto final del estudio, donde se observa el encuentro del Río Higueras con el río Huallaga.



Vista fotográfica del reconocimiento de terreno del punto inicial del estudio  
- Altura de la laguna viña del río.



Vista fotográfica del reconocimiento de terreno.



Vista fotográfica del río Higueras



Vista fotográfica del reconocimiento de terreno del punto final de estudio –  
unión del río Higueras con el río Huallaga.



Inicio De Los Trabajos De Campo en la zona de estudio – Río Higueras.



Inicio del levantamiento topográfico del punto inicial a la altura de la laguna Viña del Río.



Levantamiento topográfico en el margen izquierdo del río Higuera.



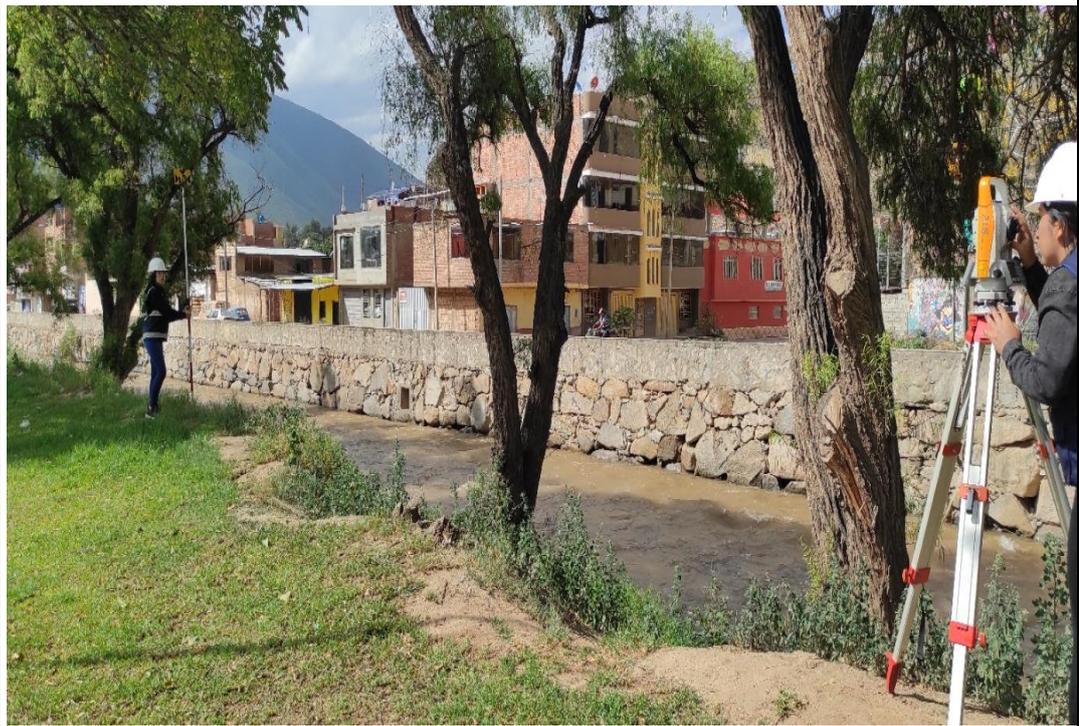
Levantamiento topográfico en el margen izquierdo del río Higuera.



Levantamiento topográfico en el margen izquierdo del río Higueras.



Levantamiento topográfico en el margen izquierdo del río Higueras.



Levantamiento topográfico en el margen izquierdo del río Higuera.



Levantamiento topográfico en el margen derecho del río Higuera.



Levantamiento topográfico en el margen derecho del río Higueras.



Levantamiento topográfico en el margen derecho del río Higueras.



Se observa al personal encargado del levantamiento topográfico.