

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



**TESIS**

---

**“Generación y calibración de caudales medios mensuales con el modelo GR2M, para determinar la disponibilidad hídrica de la subcuenca del Río Higuerras, Huánuco 2023”**

---

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

**AUTOR: Espinoza Malpartida, Edson**

**ASESOR: López Cabello, Javier Eduardo**

**HUÁNUCO – PERÚ**

**2024**

# 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 Ingeniero Civil

Código del Programa: P07

Tipo de Financiamiento:

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

## DATOS DEL AUTOR:

Documento Nacional de Identidad (DNI): 47437566

## DATOS DEL ASESOR:

Documento Nacional de Identidad (DNI): 71688890

Grado/Título: Maestro en ciencias en ingeniería civil  
 con mención en hidráulica

Código ORCID: 0009-0001-8774-3477

## DATOS DE LOS JURADOS:

| Nº | APELLIDOS Y NOMBRES              | GRADO                                            | DNI      | Código ORCID        |
|----|----------------------------------|--------------------------------------------------|----------|---------------------|
| 1  | Jacha Rojas,<br>Johnny Prudencio | Doctor en medio ambiente y desarrollo sostenible | 40895876 | 0000-0001-7920-1304 |
| 2  | Davila Herrera,<br>Percy Mello   | Ingeniero civil                                  | 41050949 | 0000-0001-5484-6982 |
| 3  | Choquevilca<br>Chinguel, Josué   | Ingeniero civil                                  | 22486989 | 0000-0002-1663-3262 |

# 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 14:45 horas del día **lunes 27 de mayo de 2024**, 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:

- |                                    |              |
|------------------------------------|--------------|
| ❖ DR. JOHNNY PRUDENCIO JACHA ROJAS | - PRESIDENTE |
| ❖ ING. PERCY MELLO DÁVILA HERRERA  | - SECRETARIO |
| ❖ ING. JOSUE CHOQUEVILCA CHINGUEL  | - VOCAL      |

Nombrados mediante la RESOLUCIÓN No 1200-2024-D-FI-UDH, para evaluar la Tesis intitulada: "GENERACIÓN Y CALIBRACIÓN DE CAUDALES MEDIOS MENSUALES CON EL MODELO GR2M, PARA DETERMINAR LA DISPONIBILIDAD HIDRICA DE LA SUBCUENCA DEL RÍO HIGUERAS, HUÁNUCO 2023", presentado por el (la) Bachiller. Bach. Edson ESPINOZA MALPARTIDA, para optar el Título Profesional de Ingeniero(a) Civil.

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

Habiendo absuelto las objeciones que le fueron formuladas por los miembros del Jurado y de conformidad con las respectivas disposiciones reglamentarias, procedieron a deliberar y calificar, declarándolo(a) APROBADO por UNANIMIDAD con el calificativo cuantitativo de 14 y cualitativo de SUFICIENTE (Art. 47).

Siendo las 16:02 horas del día 27 del mes de mayo del año 2024, los miembros del Jurado Calificador firman la presente Acta en señal de conformidad.

  
DR. JOHNNY PRUDENCIO JACHA ROJAS  
DNI: 40895876  
ORCID: 0000-0001-7920-1304  
**PRESIDENTE**

  
ING. PERCY MELLO DÁVILA HERRERA  
DNI: 41050949  
ORCID: 0000-0001-5484-6982  
**SECRETARIO**

  
ING. JOSUE CHOQUEVILCA CHINGUEL  
DNI: 22486989  
ORCID: 0000-0002-1663-3262  
**VOCAL**



## UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO

### CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD

El comité de integridad científica, realizó la revisión del trabajo de investigación del estudiante: EDSON ESPINOZA MALPARTIDA, de la investigación titulada "Generación y calibración de caudales medios mensuales con el modelo GR2M, para determinar la disponibilidad hídrica de la subcuenca del Río Higuera, Huánuco 2023", con asesor JAVIER EDUARDO LOPEZ CABELLO, designado mediante documento: RESOLUCIÓN N° 2792-2023-D-FI-UDH del P. A. de INGENIERÍA CIVIL.

Puede constar que la misma tiene un índice de similitud del 16 % 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, 02 de septiembre de 2024



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



FERNANDO F. SILVERIO BRAVO  
D.N.I.: 40618286  
cod. ORCID: 0009-0008-6777-3370

## 36. EDSON ESPINOZA MALPARTIDA.docx

### INFORME DE ORIGINALIDAD

16%

INDICE DE SIMILITUD

16%

FUENTES DE INTERNET

6%

PUBLICACIONES

6%

TRABAJOS DEL  
ESTUDIANTE

### FUENTES PRIMARIAS

1

[repositorio.unap.edu.pe](https://repositorio.unap.edu.pe)

Fuente de Internet

6%

2

[hdl.handle.net](https://hdl.handle.net)

Fuente de Internet

2%

3

Submitted to Universidad Nacional de San  
Cristóbal de Huamanga

Trabajo del estudiante

1%

4

[es.scribd.com](https://es.scribd.com)

Fuente de Internet

1%

5

[pirhua.udep.edu.pe](https://pirhua.udep.edu.pe)

Fuente de Internet

1%



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



FERNANDO F. SILVERIO BRAVO  
D.N.I.: 40618286  
cod. ORCID: 0009-0008-6777-3370

## **DEDICATORIA**

Al Todopoderoso, que ha estado conmigo en todo a lo largo de mi vida, que me ha guiado y dado fuerzas en las circunstancias más difíciles.

A mis padres Leonardo Espinoza Ramírez y Hilda Malpartida Orizano, por el apoyo brindado en todo momento, por el sacrificio realizado para el cumplimiento de mis objetivos, quienes me dieron fortaleza, sabiduría y amor incondicional en cada paso de mi vida.

A mi tía María Espinoza Ramírez y Zenaida Espinoza Ramírez por brindarme su apoyo incondicional durante mis estudios.

A mis abuelos por el cariño brindado, por la educación recibida en todo momento, quienes me ayudaron a ser mejor persona.

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios por darme salud y vida, para poder alcanzar mis objetivos, por bendecirme, apoyarme y brindarme consuelo en todo momento.

A mis padres quiero darle las gracias, porque sin ustedes no hubiera logrado cumplir mis metas.

A mi familia en general quienes me apoyaron incondicionalmente en todo momento.

## ÍNDICE

|                                              |      |
|----------------------------------------------|------|
| DEDICATORIA .....                            | II   |
| AGRADECIMIENTO .....                         | III  |
| ÍNDICE .....                                 | IV   |
| ÍNDICE DE TABLAS .....                       | VII  |
| ÍNDICE DE FIGURAS .....                      | VIII |
| RESUMEN .....                                | X    |
| ABSTRACT .....                               | XI   |
| INTRODUCCIÓN .....                           | XII  |
| CAPITULO 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. OBJETIVO .....                          | 14   |
| 1.3.1. OBJETIVO GENERAL .....                | 14   |
| 1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....           | 14   |
| 1.4. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN ..... | 15   |
| 1.4.1. JUSTIFICACIÓN TÉCNICA .....           | 15   |
| 1.4.2. JUSTIFICACIÓN SOCIAL .....            | 15   |
| 1.4.3. JUSTIFICACIÓN CIENTÍFICA .....        | 15   |
| 1.5. LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN .....  | 16   |
| 1.6. VIABILIDAD DE LA INVESTIGACIÓN .....    | 16   |
| 1.6.1. VIABILIDAD TÉCNICA .....              | 16   |
| 1.6.2. VIABILIDAD OPERATIVA .....            | 16   |
| 1.6.3. VIABILIDAD ECONÓMICA – SOCIAL .....   | 16   |
| CAPITULO II .....                            | 18   |
| MARCO TEÓRICO .....                          | 18   |
| 2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN .....  | 18   |
| 2.1.1. ANTECEDENTES INTERNACIONAL .....      | 18   |
| 2.1.2. ANTECEDENTES NACIONALES .....         | 19   |
| 2.1.3. ANTECEDENTES LOCALES .....            | 20   |

|                                                          |    |
|----------------------------------------------------------|----|
| 2.2. BASES TEÓRICAS .....                                | 20 |
| 2.2.1. MODELO HIDROLÓGICO .....                          | 20 |
| 2.2.2. MODELO GR .....                                   | 22 |
| 2.2.3. CALIBRACIÓN Y VALIDACIÓN.....                     | 25 |
| 2.2.4. CICLO HIDROLÓGICO .....                           | 27 |
| 2.2.5. PRECIPITACIÓN .....                               | 27 |
| 2.2.6. EVAPOTRANSPIRACIÓN .....                          | 28 |
| 2.2.7. INFILTRACIÓN .....                                | 28 |
| 2.2.8. ESCURRIMIENTO DE SUPERFICIAL .....                | 28 |
| 2.2.9. ESCURRIMIENTO SUBSUPERFICIAL .....                | 29 |
| 2.3. DEFINICIONES CONCEPTUALES.....                      | 32 |
| 2.4. HIPÓTESIS .....                                     | 33 |
| 2.4.1. HIPÓTESIS GENERAL.....                            | 33 |
| 2.4.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICO .....                        | 33 |
| 2.5. VARIABLES .....                                     | 33 |
| 2.5.1. VARIABLE INDEPENDIENTE .....                      | 33 |
| 2.5.2. VARIABLES DEPENDIENTE.....                        | 34 |
| 2.6. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES .....               | 35 |
| CAPITULO III.....                                        | 36 |
| METODOLOGÍA .....                                        | 36 |
| 3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN .....                         | 36 |
| 3.1.1. ENFOQUE .....                                     | 36 |
| 3.1.2. ALCANCE O NIVEL .....                             | 36 |
| 3.1.3. DISEÑO .....                                      | 36 |
| 3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA.....                            | 36 |
| 3.2.1. POBLACIÓN .....                                   | 36 |
| 3.2.2. MUESTRA .....                                     | 37 |
| 3.3. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS...  | 37 |
| 3.3.1. PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS .....                | 37 |
| 3.3.2. PARA LA PRESENTACIÓN DE DATOS .....               | 37 |
| 3.3.2. PARA EL ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS DATOS .. | 39 |
| CAPITULO IV.....                                         | 41 |
| RESULTADOS.....                                          | 41 |
| 4.1. PROCESAMIENTO DE DATOS.....                         | 41 |

|                                                            |    |
|------------------------------------------------------------|----|
| 4.1.1. ZONA DE ESTUDIO .....                               | 41 |
| 4.1.2. PARÁMETROS GEOMORFOLÓGICO.....                      | 48 |
| 4.1.3. ANÁLISIS DE CONSISTENCIA.....                       | 51 |
| 4.1.4. CALIBRACIÓN DEL MODELO GR2M.....                    | 57 |
| 4.1.5. VALIDACIÓN .....                                    | 59 |
| 4.1.6. DEMANDA POBLACIONAL.....                            | 60 |
| 4.2. CONTRASTACION DE HIPOTESIS Y PRUEBA DE HIPOTESIS .... | 65 |
| 4.2.1. HIPOTESIS GENERAL.....                              | 65 |
| CAPITULO V.....                                            | 68 |
| DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....                               | 68 |
| 5.1. DISCUSIÓN RESPECTO A LOS ANTECEDENTES .....           | 68 |
| CONCLUSIONES .....                                         | 70 |
| RECOMENDACIONES.....                                       | 71 |
| REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....                            | 72 |
| ANEXOS.....                                                | 75 |

## ÍNDICE DE TABLAS

|                                                                                                                                                                    |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabla 1 Operacionalización de las Variables .....                                                                                                                  | 35 |
| Tabla 2 Resumen de la precipitación media, máxima y mínima mensual (mm) del área de estudio, situado en la subcuenca del río Higueras. Período de 1981 - 2019..... | 44 |
| Tabla 3 Resumen de la temperatura media, máxima y mínima mensual (°C) de la zona de estudio, ubicada en la subcuenca del río Higueras. Período de 1981 - 2019..... | 46 |
| Tabla 4 Estaciones hidrometeorológicas definidas para el estudio, su ubicación, tipo y disponibilidad de datos.....                                                | 48 |
| Tabla 5 Resumen de los parámetros geomorfológicos de la zona de estudio .....                                                                                      | 49 |
| Tabla 6 Curva Hipsométrica del área de estudio – Subcuenca del río Higueras .....                                                                                  | 50 |
| Tabla 7 Población futura - Método de crecimiento Geométrico (Ver Anexo 6) .....                                                                                    | 61 |
| Tabla 8 Resumen de la población futura (habitantes).....                                                                                                           | 61 |
| Tabla 9 Se aprecia el resumen de caudales medios mensuales del período 2003-2019.....                                                                              | 62 |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|                                                                                                                                                                    |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1 Estructura del modelo hidrológico GR2M .....                                                                                                              | 23 |
| Figura 2 Ubicación de la Sub cuenca del río Higueras – zona de Estudio...                                                                                          | 42 |
| Figura 3 Precipitación media, máxima y mínima mensual (mm) el área de estudio, se encuentra situado en la subcuenca del río Higueras. Período 1981-2019.....       | 45 |
| Figura 4 Temperatura media, máxima y mínima mensual (°C) en el área de estudio, se encuentra situado en la subcuenca del río Higueras. Período de 1981 - 2019..... | 47 |
| Figura 5 Estaciones Hidrometeorológicas - Sub cuenca del río Higueras ...                                                                                          | 48 |
| Figura 6 Curva Hipsométrica del área de estudio – Subcuenca del río Higueras .....                                                                                 | 51 |
| Figura 7 Se aprecia el Hidrograma de la Precipitación total anual (mm) – Estación meteorológica de Canchán. Período 1981-2019.....                                 | 53 |
| Figura 8 Se aprecia el Hidrograma de Precipitación total anual (mm) – Estación meteorológica de Jacas Chico. Período 1981-2019.....                                | 54 |
| Figura 9 Hidrograma de Precipitación total anual (mm) – Estación meteorológica de Huánuco. Período 1981-2019.....                                                  | 55 |
| Figura 10 Líneas de doble masa de la precipitación anual total de las estaciones Jacas Chico, Canchán y Huánuco .....                                              | 56 |
| Figura 11 Calibración del modelo GR2M – Hidrograma (período 2003-2011) .....                                                                                       | 57 |
| Figura 12 Dispersión de los datos observados y obtenidos en la calibración. Período 2003-2011 .....                                                                | 58 |
| Figura 13 Validación del modelo GR2M – Hidrograma (período 2012-2019) .....                                                                                        | 59 |
| Figura 14 Dispersión de los datos observados y obtenidos en la Validación. Período 2003-2019 .....                                                                 | 60 |
| Figura 15 Contrastación de Oferta hídrica máxima, mínima y promedio del Río Higueras y demanda poblacional (Huánuco, Amarilis y Pillco Marca) .....                | 63 |

|                                                                                                                                                                 |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 16 Contrastación de Oferta hídrica Mínima del Río Higueras y demanda poblacional (Huánuco, Amarilis y Pillco Marca) para los años 2029, 2039 y 2049..... | 64 |
| Figura 17 Hidrograma de calibración .....                                                                                                                       | 66 |
| Figura 18 Hidrograma de validación .....                                                                                                                        | 66 |

## RESUMEN

El objetivo de este estudio fue ajustar y validar el modelo hidrológico francés GR2M, que simula la escorrentía expresada en milímetros (mm) en forma de lámina. Este proceso de adaptación y validación del modelo se desarrolló en la subcuenca del río Higuera siendo el área de estudio, por ser una fuente importante de abastecimiento de agua para la población, pues esta demanda tiene un gran valor para el desarrollo para el consumo poblacional en los distritos principales como son Huánuco, Pillco Marca y Amarilis, y en baja escala la demanda agrícola. Para desarrollar el modelo GR2M se requieren los datos mensuales de la precipitación a real, la evapotranspiración media mensual a real y del caudal medio mensual. En el desarrollo se determinó los parámetros geomorfológicos del área de investigación, se efectuó el diagnóstico de calidad de los datos climáticos aptos, luego de conseguir una buena base de datos confiable se procedió a realizar calibración y validación del modelo GR2M y se obtuvo el resultado para el coeficiente de Nash con un valor de 82.1% y coeficiente de determinación de 0.852. Así también se obtuvo las demandas futuras para cada 10 años, teniendo como resultado en el año 2029 (0.61 m<sup>3</sup>/s), 2039 (0.63 m<sup>3</sup>/s) y 2049 (0.64 m<sup>3</sup>/s) para que finalmente realizar el balance hídrico, donde se tendrá un déficit en los meses de julio a octubre. Todo esto influye en la contrastación con la demanda poblacional urbana (Huánuco, Amarilis y Pillco Marca) toda vez que equilibramos la oferta y la demanda de agua, siendo así se pudo verificar que en las épocas de sequía el caudal mínimo no será capaz de poder abastecer a toda la población. Para la población futura de los años 2039 se obtiene una demanda de 0.63 m<sup>3</sup>/s y en la contrastación con la oferta hídrica se obtiene que en el período de octubre se alcanza un caudal mínimo de 0.40 m<sup>3</sup>/s. Concluyendo con la posibilidad déficit hídrico.

**Palabras clave:** Generación, calibración, caudales, medios, modelo, higuera.

## ABSTRACT

The objective of this study was to adjust and validate the French hydrological model GR2M, which simulates runoff expressed in millimeters (mm) in sheet form. This process of adaptation and validation of the model was developed in the sub-basin of the Higuera River, being the study area, as it is an important source of water supply for the population, since this demand has great value for development for population consumption in the main districts such as Huánuco, Pillco Marca and Amarilis, and on a low scale the agricultural demand. To develop the GR2M model, monthly data on areal precipitation, mean monthly areal evapotranspiration, and mean monthly flow are required. In the development, the geomorphological parameters of the research area were determined, the quality diagnosis of the suitable climatic data was carried out, after obtaining a good reliable database, the GR2M model was calibrated and validated and the result was obtained for the Nash coefficient with a value of 82.1% and coefficient of determination of 0.852. In this way, the future demands for every 10 years were also obtained, resulting in the year 2029 (0.61 m<sup>3</sup>/s), 2039 (0.63 m<sup>3</sup>/s) and 2049 (0.64 m<sup>3</sup>/s) to finally carry out the water balance, where There will be a deficit in the months of July to October. All this influences the comparison with the urban population demand (Huánuco, Amarilis and Pillco Marca) since we balance the supply and demand of water, thus it was possible to verify that in times of drought the minimum flow will not be able to supply the entire population. For the future population of the years 2039, a demand of 0.63 m<sup>3</sup>/s is obtained and in the comparison with the water supply it is obtained that in the October period a minimum flow of 0.40 m<sup>3</sup>/s is reached. Concluding with the possibility of water deficit.

**Keywords:** Generation, calibration, flows, media, model, fig trees.

## INTRODUCCIÓN

Esta investigación se efectuó en la subcuenca del río Higuera, ubicada en la vertiente atlántica. La finalidad de esta investigación es generar y calibrar caudales medios mensuales en la subcuenca del río Higuera empleando el modelo GR2M, por lo cual se ha utilizado los datos meteorológicos de las estaciones meteorológicas de Canchán, Huánuco y Jacas Chico e información hidrométrica de la estación Puente Higuera, el período de registro utilizado va desde el año 2003 a 2019, se analizó la información hidrometeorológica obtenida, se procedió a realizar el análisis y tratamiento, el análisis de consistencia de la data, posteriormente se calibro, validó y determino la sensibilidad de parámetros del modelo GR2M, se concluyó que no hubo saltos ni tendencias en la serie histórica, se continuó completando y ampliando la información, además la calibración y validación del modelo GR2M de la subcuenca del río Higuera fue evaluado con método estadístico Nash-Sutcliffe, como resultado se obtuvo una eficiencia en calibración de 82.1% y en validación 78.5 % de la misma manera para un  $R^2$  presenta en calibración de 0.852 y en validación de 0.87.

Por otro lado, se calculó la demanda poblacional futura cada 10 años tomando como base el año 2019, estos son para los años 2029 (0.61 m<sup>3</sup>/s), 2039 (0.63 m<sup>3</sup>/s) y 2049 (0.64 m<sup>3</sup>/s). La demanda poblacional para estos años tendrá un déficit en los meses de julio a octubre, consiguiendo un resultado en oferta mensual mínima de 0.34 m<sup>3</sup>/s (julio), 0.25 m<sup>3</sup>/s (agosto), 0.34 m<sup>3</sup>/s (setiembre) y 0.40 m<sup>3</sup>/s (octubre).

## **CAPITULO I**

### **PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN**

#### **1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA**

Conocer el alcance de la disponibilidad hídrica del río Higuera es crucial con el fin realizar una adecuada planificación con el aprovechamiento hídrico que beneficie a la población ciudad de Huánuco, Pillco Marca y Amarilis, así mismo será un instrumento importante para determinar la factibilidad de los proyectos de desarrollo hidráulico, por lo cual, debido a la falta de información disponible, se opta por el desarrollo de modelos hidrológicos, teniendo como ejemplo: Temes, GR2M, Lutz Sholz, etc. El mayor problema que tiene la subcuenca del río Higuera es la estimación de la disponibilidad hídrica, debido a que las estaciones meteorológicas e hidrológicas cuentan con poca información, llegando a utilizar herramientas y métodos simples que no permitirá asegurar el abastecimiento de agua a todas sus demandas en las épocas de estiaje. Considerando que el modelo GR2M ha tenido un excelente rendimiento en los distintivos trabajos de investigación y estudios realizados a nivel nacional e internacional, es así que se tendrá conveniente emplear dicho modelo hidrológico en esta investigación, donde permitirá generar caudales medios mensuales en la subcuenca del río Higuera.

La demanda poblacional de la ciudad de Huánuco, Pillco Marca y Amarilis son abastecidos por las descargas del Río Higuera previo tratamiento de sus aguas que se encuentran en la localidad de Canchán. La EPS (Entidad prestadora de servicios de saneamiento) Seda Huánuco presta servicios de saneamiento básico a la ciudad de Huánuco, Amarilis, Pillco Marca, Tingo María y Aucayacu. A la fecha existe un plan maestro optimizado (2014-2044), uno de sus objetivos es proporcionar cobertura adecuada para cubrir las necesidades de agua potable y alcantarillado que tiene población. Así también indican que uno de sus preocupaciones es la disminución de la descarga mínima del río Higuera (EPS Seda Huánuco, 2014).

Es así que el objetivo de este estudio es desarrollar el modelo hidrológico francés GR2M (modelo de ingeniería rural de 2 parámetros) para generar

caudales medios y proyectarlos para una población futura, para así evaluar ese balance hídrico que abra de la oferta hídrica del río Higueras entre la demanda poblacional de las ciudades de Huánuco, Pillco Marca y Amarilis.

## **1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

### **1.2.1. PROBLEMA GENERAL**

PG: ¿De qué manera considerando el modelo hidrológico GR2M se podrá generar los caudales medios mensuales, para determinar la disponibilidad hídrica de la subcuenca del río Higueras, Huánuco 2023?

### **1.2.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS**

PE1: ¿Cuál es la oferta hídrica de la subcuenca del río higueras para la demanda poblacional las ciudades de Huánuco, Pillco Marca y Amarilis??

PE2: ¿Cuál es el resultado del análisis y tratamiento de la información hidrometeorológica en el período 2003-2019?

PE3: ¿Cómo se podrá validar, calibrar y determinar la sensibilidad del modelo GR2M, en la subcuenca del río Higueras en el período 2003-2019?

## **1.3. OBJETIVO**

### **1.3.1. OBJETIVO GENERAL**

OG: Generar y calibrar los caudales medios mensuales, empleando el modelo hidrológico GR2M, para determinar la disponibilidad hídrica de la subcuenca del río Higueras, Huánuco 2023.

### **1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

OE1: Determinar la oferta hídrica de la subcuenca del río Higueras, para asegurar el abastecimiento de agua poblacional en las ciudades de Huánuco, Pillco Marca y Amarilis.

OE2: Realizar el tratamiento de la información hidrometeorológica en el período 2003-2019.

OE3: Validar, calibrar y determinar la sensibilidad del modelo hidrológico GR2M, en la subcuenca del río Higuera en el período 2003-2019.

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

Esta investigación puede abordarse desde múltiples enfoques técnicos, sociales y científicos para su desarrollo y ejecución.

##### **1.4.1. JUSTIFICACIÓN TÉCNICA**

Es de suma importancia conocer el alcance de la disponibilidad hídrica de la cuenca y subcuenca. En esta investigación se empleará el modelo hidrológico francés, Ingeniería Rural de dos parámetros en escala mensual (GR2M) que permitirá generar caudales medios mensuales de la subcuenca del río Higuera y esto nos permitirá determinar la disponibilidad hídrica actual y futura, con el objeto de mejorar las demandas hídricas (poblacional, riego, industrial, etc.), para plantear un correcto y adecuado administración del recurso hídrico. Mientras se aplica el modelo GR2M se considerará 2 parámetros de ingreso, de esa manera se alcanzará a obtener la información necesaria, la cual lo diferencia de otros modelos hidrológicos de escala mensual (Temes, Lutz Sholz, etc.).

##### **1.4.2. JUSTIFICACIÓN SOCIAL**

Es importante tener conocimiento sobre la disponibilidad hídrica de la sub cuenca del río Higuera. Como está ha cambiado durante los años el caudal de agua, con la finalidad de no acarrear posibles déficits hídrica, generando un desabastecimiento para las demandas hídricas (poblacional, agrícola, etc.).

##### **1.4.3. JUSTIFICACIÓN CIENTÍFICA**

En la presenta investigación se busca obtener los caudales medios mensuales de la subcuenca del río Higuera, tomando como referencia y punto de estudio la captación, el cual ayudara en la toma de decisiones

para la entidad competente como son los gobiernos locales y la entidad prestadora de servicio y saneamiento.

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

La investigación se vio limitada por factores relacionados a la obtención de datos, podemos mencionar al período de registro de los datos hidrometeorológicos, en lo principal datos de precipitación, temperatura niveles de agua y caudales. Así también el número de estaciones meteorológicas e hidrométricas dentro y cercano a la subcuenca del río Higueras.

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

### **1.6.1. VIABILIDAD TÉCNICA**

Se ha solicitado al Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI), los registros hidrometeorológicos de las estaciones meteorológicas de Canchán (datos de temperatura y precipitación), Jacas Chico (datos de temperatura y precipitación) y estación hidrométrica Puente higueras (caudales).

### **1.6.2. VIABILIDAD OPERATIVA**

La presente investigación busca encontrar una calibración y validación del modelo hidrológico GR2M, empleando las facilidades que se obtiene de la aplicación de los softwares con nuestra área de estudio, así también el uso de estas herramientas y su uso correcto, se logra entender sobre los caudales medios mensuales de la subcuenca del río Higueras.

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

La presente investigación tiene un financiamiento que se logrará en su totalidad con los recursos propios del tesista, considerado de sus inicios hasta el final de la investigación. Cabe mencionar que la presente tesis no genera ningún beneficio monetario por parte del tesista.

En la parte social logra un aporte positivo en los estudiantes y profesionales del área, debido a que podemos calibrar y validar un modelo hidrológico antes de obtener resultados y decir con toda seguridad que son confiables.

## CAPITULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

##### 2.1.1. ANTECEDENTES INTERNACIONAL

Se han realizado distintos estudios al respecto, siendo las siguientes:

*Rodríguez (2020)* en su investigación titulado “Comparación de los modelos hidrológicos lluvia-escurrentía GR2M y GR4J en la obtención de caudales medios en la cuenca del río Subachoque” Universidad católica de Colombia. Aplica los modelos hidrológicos GR2M y GR4J para generar caudales de la manera más idónea en la cuenca del río Subachoque. Concluyendo que estos dos modelos tienen una buena calibración con un coeficiente NASH de 0.51 y pueden reflejar con precisión las condiciones hidrológicas de la cuenca del río Subachoque, se ha reducido significativamente durante la validación con NASH (0.19) y la simulación del pico de precipitación no tuvo éxito.

*Gallo e Iza (2018)* en la tesis titulada “Modelamiento con SWAT y Gr2m para La Subcuenca del Río Guayllabamba” Universidad Técnica de Cotopaxi. Ecuador. En el lugar de estudio, el aumento de la población y la expansión de la ciudad ejercen presión sobre los recursos hídricos de la subcuenca del Río Guayllabamba. Donde la demanda ha aumentado perjudicando los recursos hídricos. Dentro de sus conclusiones indica que el modelo GR2M logro un desempeño satisfactorio en la simulación de caudales, obteniendo un como resultado en coeficiente de Nash de 0.62 y 0.66, así mismo un coeficiente de determinación  $R^2$  de 0.63 y 0.66, en cuanto a la calibración y la validación respectivamente. Se observa que el modelo SWAT no se ajusta adecuadamente, como resultado se obtuvo en Nash de 0.19 y 0.07; y se obtuvo el coeficiente de determinación  $R^2$  con el valor de 0.36 y de 0.34, en los procesos de calibración y validación.

Concluyendo así que el modelamiento mediante GR2M es más eficaz que el SWAT.

*Carmona et al., (2013)* del trabajo de investigación “Ajuste y Validación del Modelo Hidrológico GR2M en la cuenca alta del Río Nazas” Durango, México. El objetivo fue desarrollar la calibración y validación del modelo hidrológico GR2M en la cuenca alta del río Nazas, por su importancia en el suministro de agua para las presas Lázaro Cárdenas y Francisco Zarco, el cual también es de importancia para la demanda agrícola. Para evaluar su desempeño se consideró el criterio de Nash Sutcliffe, siendo éste el criterio de mayor uso en modelos hidrológicos de este tipo. Concluyendo con un resultado satisfactorio, en la calibración se obtuvo un coeficiente de correlación entre el escurrimiento simulado y el escurrimiento observado de 79.7% y en la validación se obtuvo un coeficiente de correlación de 74.1%.

### **2.1.2. ANTECEDENTES NACIONALES**

Se ha realizado distintos estudios al respecto siendo las siguientes:

*Campos (2021)* en su investigación titulado “Aplicación de los modelos hidrológicos GR2M y SMAP para la generación de caudales medios mensuales en subcuencas no aforadas. Caso de estudio: cuencas Jequetepeque, Chancay - Lambayeque y Piura”. Universidad San Ignacio de Loyola. En su conclusión menciona que el modelo GR2M que tiene menos parámetros presenta un rendimiento superior en las cuencas de Jequetepeque (2501.26 msnm) y Chancay-Lambayeque (2256.70 msnm). Además, las series observadas y simuladas se representan con mayor precisión durante los meses de crecida (de diciembre a mayo) que durante los períodos de sequía.

*Buguña (2019)* en su investigación titulado “Aplicación de modelos hidrológicos para la estimación de caudales mensuales en la sub cuenca del río Bigote”. Este estudio tiene como objetivo identificar el modelo hidrológico conceptual más adecuado para calcular las descargas generadas en la subcuenca del río Bigote, basándose en los datos hidrometeorológica y fisiográfica de la subcuenca del río Bigote. Se

evaluaron los modelos hidrológicos Lutz Scholz, abc, GR2M y Temez el cual podrá precisar cuál de los modelos presenta el mejor desempeño en la calibración y validación. Se concluyó que el modelo GR2M fue el de mejor, logrando un índice de eficiencia del 81% y un coeficiente de correlación de 0.86, así como un índice de ajuste modificado de 0.87, lo que indica un ajuste superior. Además, este modelo también arrojó valores más altos en la validación.

*Cruz y Romero (2018)* en su investigación titulado “Análisis comparativo de los modelos lluvia-escorrentía: GR2m, Temez y Lutz-Scholz aplicados en la subcuenca del río Callazas”. Universidad privada de Ciencias Aplicadas. Se realizaron tres modelos hidrológicos para el análisis de precipitación escorrentía a escala mensual en la cuenca altoandina del río Callazas en Tacna, los modelos seleccionados fueron: Gr2m, Témez y Lutz Scholz, Para evaluar la eficiencia hidrológica de cada modelo, se utilizaron criterios estadísticos (pruebas de bondad de ajuste). El coeficiente de eficiencia de Nash Sutcliffe (NASH) fue el principal punto de referencia. Los resultados indicaron que el modelo Gr2m se adapta mejor al comportamiento de la cuenca, con un valor de 0.846. El modelo de Lutz Scholz le sigue con 0.776, mientras que el modelo Témez obtuvo el valor más bajo con 0.52.

### **2.1.3. ANTECEDENTES LOCALES**

Habiendo revisado las investigaciones a nivel local en referente al tema de calibración y validación del modelo GR2M, se puede mencionar que no se ha encontrado ningún estudio relacionado con este tema.

## **2.2. BASES TEÓRICAS**

### **2.2.1. MODELO HIDROLÓGICO**

En hidrología a menudo se emplean modelos con el fin de lograr representar el comportamiento del sistema hidrológico (llamados prototipos); indica que un modelo puede ser material o formal. (Guevara, 1991).

- El modelo material: Esta una versión física del prototipo, que tiene la estructura más sencilla, sin embargo, tiene características comparables al prototipo, este tipo de modelos pueden ser análogos o físicos.
- El modelo formal: Se define como la representación matemática de un estado idealizado el cual mantiene intactas las propiedades estructurales relevantes del prototipo. En el ámbito de la hidrología aplicada, se considera que estos modelos que han sido empleados son de carácter formal, también denominados modelos matemáticos.

También comenta que los modelos matemáticos pueden ser considerados como Teórico, Conceptual o Empírico. Donde el Empírico emplea las inferencias derivadas de los análisis de datos, mientras el teórico se apoya en un conjunto de leyes generales y el conceptual se sitúa en un punto intermedio entre ambos.

Un prototipo de sistema hidrológico que consiste en representar el sistema verdadero, ya que sus entradas y salidas son elementos hidrológicos cuantificables y su composición consta de un conjunto de fórmulas que enlazan las entradas y salidas. (Chow, 1994).

#### **2.2.1.1. CLASIFICACIÓN DE LOS MODELOS HIDROLÓGICOS**

Los modelos hidrológicos se clasifican en Modelos Abstractos y Modelos Físicos. (Chow, 1994).

- Modelos físicos: Se define como una representación a pequeña escala de un sistema, al igual que un modelo hidráulico del vertedero de una presa; Los modelos análogos emplean otros sistemas físicos que poseen características semejantes a las de un prototipo.
- Modelos Abstractos: Estos modelos utilizan fórmulas matemáticas para representar sistemas. Su rendimiento se explica mediante ecuaciones que relacionan las variables de entrada y salida, las cuales pueden ser funciones del espacio y el tiempo, o variables probabilísticas sin un valor determinado.

### **2.2.2. MODELO GR**

Hay muchos modelos hidrológicos diferentes y se han utilizado para describir las características de las cuencas en todo planeta. Los modelos GR (Genie Rural), son lo siguiente. (Charles & Claude, 2007).

- Los modelos diarios y por hora: En la década de 1980, Claude Michel, basándose en el modelo CREC, que fue elaborado en la Universidad de Montpellier, hace simplificaciones para obtener un modelo hidrológico, que utiliza menos parámetros sin reducir el rendimiento de los resultados obtenidos; el modelo fue nombrado el GR2.
- Los modelos mensuales y anuales: Desarrollado por Riffat desde 1980 y utilizado en la cuenca Orgeval en Francia, Michel Cabouille elaboró el modelo GR3M (que tiene tres parámetros) muchos años después; Donde el modelo GR1A y GR2A han sido elaborados para realizar el análisis meteorológico anual, por último, en el año 2003 Mouehli desarrolló el modelo mensual GR2M.

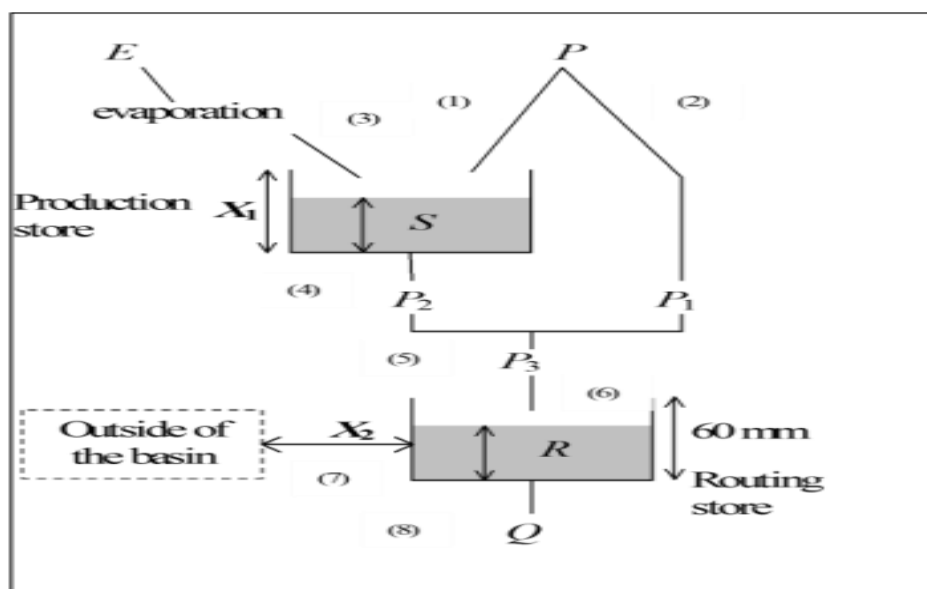
#### **2.2.2.1. MODELO GR2M**

El modelo GR2M simula caudales mensuales convirtiendo la lluvia en escorrentía a través de dos funciones: una de producción y otra de transferencia. Este modelo de simulación hidrológica utiliza datos de precipitación para estimar los flujos de agua en intervalos mensuales. (Cabrera, 2012).

Los modelos hidrológicos de balance de masa de agua mensual es un instrumento importante para la gestión de recursos hídricos, escurrimiento, simulación de reservorios y más. Pese a que los plazos son bastante largos, son efectivos durante su empleo, como señaló Mouelhi (2006), quien desarrollo el modelo GR2M mensualmente, basado en el esquema general de un modelo PMS (Parent Model Scheme), en el cual se consideró los componentes de ciertos modelos estudiados que muestra ser eficientes, como son los modelos GR4J y el GR2M.

La estructura de este modelo consiste de dos reservorios. Este viene a ser el reservorio suelo y el reservorio de agua gravitacional. La Figura N°01 indica la estructura del modelo GR2M con todos los procedimientos hidrológicos generadores de escorrentía; y estos es considerado por el modelo. Según esta figura. Indica que  $P$  viene a ser la precipitación media de la cuenca y/o subcuenca en estudio,  $P_1$  es la escorrentía superficial,  $E$  la evapotranspiración actual,  $P_2$  es la percolación profunda,  $S$  es el almacenamiento del reservorio suelo dentro de un inicio,  $R$  es el almacenamiento del reservorio de agua gravitacional al inicio del período de análisis y  $Q$  el caudal a la salida de la cuenca y/o subcuenca.  $X_1$  es la capacidad máxima del reservorio suelo, pero la del reservorio gravitacional será asumida con un valor de 60mm.  $X_2$  representa la conexión que hay de la cuenca con las aguas subterráneas, conocido como el coeficiente de intercambios subterráneos (adimensional); y  $X_1$  como la capacidad del reservorio suelo (mm).

**Figura 1**  
Estructura del modelo hidrológico GR2M



Nota Mouelhi (2006).

La ecuación que describe el modelo GR2M general es la siguiente, P es la precipitación y E representan la evaporación potencial promedias sobre la ladera de interés. Las cantidades (entradas, variables internas y salidas) se dan en mm.

Con la precipitación, el almacenamiento S del tanque de producción, se transforma en S<sub>1</sub>, representado en la siguiente formula:

$$S_1 = \frac{S + X_1 \tanh\left(\frac{P}{X_1}\right)}{1 + \frac{S}{X_1} \tanh\left(\frac{P}{X_1}\right)}$$

El X<sub>1</sub> representa la capacidad máxima del tanque de producción, mientras que P<sub>1</sub> simboliza el exceso de precipitación, expresado mediante una fórmula:

$$P_1 = P + S - S_1$$

A causa de la evaporación (el resultado de la evaporación real, depende del valor E), donde S<sub>1</sub> se transforma en S<sub>2</sub>:

$$S_1 = \frac{S_1 \left(1 - \tanh\left(\frac{E}{X_1}\right)\right)}{1 + \left(1 - \frac{S}{X_1}\right) \tanh\left(\frac{E}{X_1}\right)}$$

Después, es liberada una cuantía de agua P<sub>2</sub> del tanque de producción como percolación. Esto hace que S<sub>2</sub>, adquiera un distinto valor S, que indica el volumen de almacenamiento inicial en el mes siguiente:

$$S = \frac{S_2}{\left(1 + \left(\frac{S_2}{X_1}\right)^3\right)^{\frac{1}{3}}}$$

$$P_2 = S_2 - S$$

La cantidad de agua que entra en el tanque de tránsito es igual a la suma de  $P_1$  y  $P_2$ .

$$P_3 = P_1 - P_2$$

Se actualiza el nivel inicial en tanque de tránsito  $R$ , de la siguiente manera:

$$R_1 = R - P_3$$

Este volumen ( $R_1$ ) tendrá que ser corregido por el coeficiente del intercambio exterior de la cuenca ( $X_2$ ), este representa el intercambio del volumen de agua subsuperficial y subterránea.

$$R_2 = X_2 R_1$$

Por último, el caudal del reservorio de agua gravitacional se calcula con la siguiente ecuación:

$$Q = \frac{R_2^2}{R_2 + 60}$$

### **2.2.3. CALIBRACIÓN Y VALIDACIÓN**

#### **2.2.3.1. CALIBRACIÓN DEL MODELO**

Modelar una cuenca requiere establecer una relación entre variables de ingreso; en la parte (relación) implica en ingresar parámetros que nos permitan simular las variables de salida (resultados) de la mejor forma posible. Los parámetros tomados para esto son inicialmente desconocidos. Para identificar sus valores del modelo se necesita realizar el procedimiento de la calibración. Por lo tanto, la calibración es el proceso donde se identificará los valores de los parámetros del modelo en los que la serie de datos simulados mejor se ajustan a los datos observados. (Cabrera, 2012).

Dependiendo de cómo se utilice el modelo, éste puede necesitar el procedimiento de validación. El propósito de la validación es definir la bondad y calidad del modelo para predecir en un lugar específico durante períodos fuera del período de calibración.

En general, los parámetros utilizados en los modelos conceptuales suelen ser representaciones idealizadas que no están directamente relacionadas con las características medibles de la cuenca, pero deben tener algún significado físico, de lo contrario, el modelo puede no ser capaz de predecir el conjunto de datos usado en la calibración, el cual tendrá poco poder explicativo y no se puede generalizar.

La calibración de los modelos proporcionará una herramienta analítica muy importante, que potencialmente permitirá la extrapolación de los modelos a cuencas con poca instrumentación. El modelo GR2M tiene dos parámetros  $X_1$  y  $X_2$  requiriendo la calibración, Perrin (2006), aconseja utilizar valores predeterminados de  $X_1=6$  y  $X_2=1$ , el cual son ingresados en la columna transformado, pero los valores reales son utilizados en los cálculos.

Se utilizarán cuatro criterios para calibrar el modelo GR2M: Nash y Sutcliffe, el coeficiente de determinación  $R^2$ , y el criterio RMSE. El criterio de optimización es el Nash, cuya optimización se realizó automáticamente utilizando la herramienta solver, mientras que los otros dos criterios confirman la calidad de los resultados.

#### **2.2.3.2. VALIDACIÓN DEL MODELO**

La validación tiene por objeto comprobar la confiabilidad de los ajustes realizados en el proceso de calibración, la calidad de la información utilizada para la ejecución del modelo, se basa en el uso de los parámetros obtenidos durante la calibración, en un tiempo diferente (SARRIA, 2008).

Los modelos a menudo carecen de robustez durante la validación debido a períodos sin optimización de parámetros. La validación del modelo GR2M varía según el período considerado en estas pruebas.

La validación del modelo utiliza los mismos métodos utilizados en el proceso de calibración.

#### **2.2.4. CICLO HIDROLÓGICO**

El concepto de hidrología y todo lo que conlleva ha sido intentado por grandes personajes a lo largo de la historia. El ciclo hidrológico fue objeto de especulación filosófica a mediados del siglo XIV, pero de su trabajo no se pudieron sacar conclusiones más precisas, numerosos científicos y filósofos han intentado comprender la hidrología a lo largo de los años, pero no fue hasta las décadas de 1930 y 1950 cuando los mejores investigadores del campo realmente comenzaron a avanzar, estos investigadores emplearon el análisis lógico a fin de solucionar los problemas de la hidrología, y el advenimiento de sistemas y herramientas modernas, también ayudó en la creación de ideas novedosas. (Aranda, 1988).

Es una serie de etapas en las que el agua del suelo ingresa a la atmósfera y regresa al suelo, cuenta con las siguientes fases: evaporación, condensación de las nubes, precipitación, infiltración y escorrentía.

#### **2.2.5. PRECIPITACIÓN**

La precipitación viene hacer cualquier humedad que llega al suelo de las nubes; según esto la precipitación puede considerarse de las formas de Lluvia, Granizada, Garuas y Nevadas. (Villon, 2002).

Proceso donde el agua proviene de las nubes y cae al suelo en manera de granizo, lluvia, garua o nieve. El tipo de precipitación que más importa en hidrología es la lluvia, tiene un impacto importante sobre el sistema hidrológico. (Monsalve, 1994).

A lo largo de los años, los dramáticos efectos de la variabilidad espacial de las precipitaciones, como sequías e inundaciones extremas, han causado importantes pérdidas humanas y económicas.

### **2.2.6. EVAPOTRANSPIRACIÓN**

La evapotranspiración es gran importancia en la realización de estudios con respecto a los recursos hídricos, ya que incide para la producción hídrica de las cuencas y/o subcuencas, su capacidad de almacenamiento, el consumo de los cultivos y la producción de los recursos hídricos subterráneos. (Guevara, 1991).

Consta de dos procesos, el primero es la pérdida de agua del suelo por evaporación y la posterior pérdida de agua por transpiración de las plantas.

### **2.2.7. INFILTRACIÓN**

La infiltración es el proceso por el cual el agua se mueve desde la superficie del suelo hacia las capas inferiores. El exceso de agua filtrada puede convertirse en escorrentía subsuperficial o integrarse al agua subterránea, posteriormente ingresa a los cuerpos de agua. El agua de los ríos proviene de dos fuentes principales, la escorrentía superficial y subsuperficial, y el afloramiento de aguas subterráneas. La escorrentía directa y el flujo base están estrechamente relacionados. Además, la percolación, que es el movimiento del agua a través del suelo, está íntimamente vinculada a los procesos de infiltración y percolación. En resumen, el agua de los ríos es el resultado de la interacción entre los sistemas superficiales y subterráneos, donde la escorrentía y la percolación juegan un papel fundamental en el ciclo hidrológico. (Chereque, 1996).

### **2.2.8. ESCURRIMIENTO DE SUPERFICIAL**

El escurrimiento superficial procede de las lluvias que no ingresan y que escurren por la superficie del suelo. Los efectos inmediatos en la escorrentía total están presentes durante y poco después de las tormentas, la parte de la precipitación total que provoca esta escorrentía se denomina exceso de precipitación. (Aliaga, 1985).

### **2.2.9. ESCURRIMIENTO SUBSUPERFICIAL**

El escurrimiento subsuperficial proviene de la lluvia filtrada. El escurrimiento total puede ser instantánea o retardada; de ocurrir inmediatamente se trata de la misma forma que el escurrimiento superficial, de lo contrario, se trata como escurrimiento subterráneo. (Aliaga, 1985).

#### **2.2.9.1. ESCURRIMIENTO SUBTERRÁNEO**

El escurrimiento subterráneo viene del agua subterránea, se recarga por la parte de la precipitación que se filtra y percola después de que el suelo se encuentre saturada. El escurrimiento se clasifica de la siguiente manera, en primer lugar, si el resultado es inmediato se clasifica como escorrentía directa, si el resultado es diferido se clasifica como escorrentía base. Si llueve no significa que siempre exista escurrimiento superficial y en algunos casos, significa que no hay escorrentía subterránea, esto depende de varios factores. (Aliaga, 1985).

#### **2.2.9.2. PARÁMETROS GEOMORFOLÓGICAS DE LA CUENCA**

Las características geomorfológicas se dividen en tres grupos, siendo las siguientes: (Villon, 2002).

- De Forma: En estas se tiene el área, factor de forma, perímetro coeficiente de compacidad y rectángulo equivalente.
- De Drenaje: Se refiere a la densidad de drenaje, extensión media del escurrimiento, relación de bifurcación, orden de corriente y frecuencia de corrientes.
- De Relieve: Se tienen el polígono de frecuencias, la curva hipsométrica y pendiente media de la cuenca.

La descarga de un curso de agua se define a través de los siguientes parámetros:

- *Área total de la cuenca (A)*: El área de una cuenca es definida

con el programa ArcGis que es expresada en km<sup>2</sup>, donde el área de una cuenca es el área de drenaje, que se delimita por su divisoria de agua.

- *Perímetro de la cuenca (P)*: El perímetro de una cuenca es una línea ficticia el cual separa las precipitaciones que cae sobre las cuencas adyacentes y dirige la escorrentía superficial hacia cualquiera de los sistemas fluviales, viene hacer la longitud que divide las aguas de las precipitaciones, se determinó el perímetro con el programa ArcGIS y se expresa en Km.
- *Coeficiente de Compacidad (Cc)*: Es definido como el cociente adimensional que hay entre el perímetro de una cuenca representado por P y la circunferencia representada por Pc de un círculo con área igual al tamaño A de la cuenca.

$$Cc = \frac{P}{P_c} = 0.282 \left( \frac{P}{\sqrt{A}} \right)$$

Donde:

Cc = Coeficiente de compacidad.

P = Perímetro de la cuenca (km).

A = Área de la cuenca (km<sup>2</sup>).

- *Factor de Forma (Ff)*:

$$Ff = \frac{B}{L} = \frac{A}{L^2}$$

Donde:

Ff = Factor de forma.

B = Ancho medio de la cuenca (km).

A = Área de la cuenca (km<sup>2</sup>).

L = Longitud del cauce principal (km).

*Rectángulo Equivalente:* Se define que el rectángulo equivalente es una transformación geométrica, que permite representar cuencas de manera diversa y heterogénea mediante formas rectangulares de misma área, el mismo factor de densidad y de igual distribución hipsométrica, también se supone que la distribución de la vegetación, del suelo y densidad de drenaje son diferentes en las áreas entre los contornos.

Lado Mayor

$$L = \frac{Cc\sqrt{A}}{1.128} = \left[ 1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1.128}{Cc}\right)^2} \right]$$

Lado Menor

$$L = \frac{Cc\sqrt{A}}{1.128} = \left[ 1 - \sqrt{1 - \left(\frac{1.128}{Cc}\right)^2} \right]$$

Siendo:

Cc = Coeficiente de compacidad.

A = Área de la cuenca (km<sup>2</sup>).

*Orden de corrientes:* Horton desarrolló una clasificación para medir el grado de ramificación de las corrientes. Asignó un orden a cada corriente de agua, siendo las de primer orden las más pequeñas y sin ramificaciones. Las de segundo orden tienen tributarios de primer orden, mientras que las de tercer orden cuentan con dos o más tributarios de segundo orden o inferiores.

- *Curva Hipsométrica:* La curva hipsométrica representa el área acumulada sobre o bajo una elevación específica, obtenida al trazar curvas de nivel.

- *Polígono de Frecuencia*: Este es una representación gráfica mediante barras de las áreas parciales (%) frente a la altura (msnm) que la rodea. Que expresa el cambio de las áreas parciales que se encuentran incluidas entre determinadas curvas de nivel consecutivas. A partir del polígono se puede hallar el área parcial más comunes.
- *Pendiente del cauce principal*: El pendiente del cauce afecta significativamente el valor del caudal del río. Por lo tanto, cuan mayor es la pendiente, mayor va a ser la velocidad del flujo.
- *Densidad de drenaje (Dd)*: Viene a ser la distancia total de los cauces dentro de la cuenca representado por (LT), que está dividida por el área total de drenaje (A).

$$Dd = \frac{Lt}{A}$$

### 2.3. DEFINICIONES CONCEPTUALES

- **Calibración**: Viene hacer la fase de determinar los valores de los parámetros del modelo en donde la serie de datos simulados mejor se ajustan a la serie de datos observados. (Cabrera, 2012).
- **Modelos conceptuales**: Cuando se utiliza modelos donde se conocen algunos de los procesos internos del modelo. Los modelos conceptuales generalmente tienen en cuenta las leyes de la física de forma simplificada (Cabrera, 2012).
- **Sub cuenca**: Es la parte la cuenca cuya agua desemboca en el río de la cuenca principal (Chereque, 1989).
- **Estación Meteorológica**: Lugar donde se miden y registran diversas variables meteorológicas utilizando equipos apropiados. (Chereque, 1989).

- **Precipitación:** Estas son gotas de agua que se encuentran depositados en las nubes, donde alteran el estado de equilibrio de la nube y provocan precipitaciones o lluvia. (Aliaga, 1985).
- **Cuenca:** Es la zona donde fluye el agua de lluvia recogida por los afluentes y cauces principales desemboca en un punto bajo o punto de descarga (Buguña, 2019).
- **Características Geomorfológicas de una Cuenca:** Las características geomorfológicas de una cuenca hidrográfica se pueden analizar mediante diversos parámetros: la forma de la cuenca (coeficiente de compacidad, factor de forma, rectángulo equivalente), la superficie (área, perímetro), el relieve (curva hipsométrica, polígono de frecuencias, pendiente de la cuenca) y el sistema de drenaje (orden de corriente, densidad de drenaje, frecuencia de corrientes, relación de bifurcación, extensión media del escurrimiento). Estos indicadores permiten comprender la estructura y el comportamiento de la cuenca, lo que es fundamental para la gestión y planificación de los recursos hídricos. (Villon, Características Geomorfológicas de una Cuenca, 2002).

## **2.4. HIPÓTESIS**

### **2.4.1. HIPÓTESIS GENERAL**

**HG:** Al generar y calibrar los caudales medios mensuales con el modelo hidrológico GR2M se podrá determinar la disponibilidad hídrica de la subcuenca del río Higuera.

### **2.4.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICO**

**HE:** La oferta hídrica de la subcuenta del río higuera será suficiente para el abastecimiento poblacional.

## **2.5. VARIABLES**

### **2.5.1. VARIABLE INDEPENDIENTE**

Caudales medios mensuales

### **2.5.2. VARIABLES DEPENDIENTE**

Disponibilidad Hídrica

## 2.6. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

La definición de la variable teórica y operativa es:

**Tabla 1**

*Operacionalización de las Variables*

| Variable                    | Definición teórica                                                                                                                                                               | Dimensión                         | Indicador                | Unidad                 |
|-----------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------|--------------------------|------------------------|
| <b><u>Dependiente</u></b>   |                                                                                                                                                                                  |                                   |                          |                        |
| Disponibilidad hídrica      | Es la cantidad total de agua ya depositada sobre esta, siendo utilizado para el suministro de agua potable, el riego, la generación de energía eléctrica, etc. (Chereque, 1989). | 1. Oferta hídrica.                | Caudal                   | m3/s                   |
|                             |                                                                                                                                                                                  | 2. información hidrometereológica | Variables meteorológicas | Porcentual             |
|                             |                                                                                                                                                                                  | 3. Modelo Hidrológico GR2M        | prototipo                | Und.                   |
| <b><u>Independiente</u></b> |                                                                                                                                                                                  |                                   |                          |                        |
| Caudales medios mensuales   | Este cálculo se realiza hallando la media aritmética de los caudales medios diarios de cada mes. (Organización Meteorológica Mundial, 2016).                                     | Consumo humano                    |                          |                        |
|                             |                                                                                                                                                                                  | Precipitación y Temperatura       | Tasa de crecimiento      | Porcentual             |
|                             |                                                                                                                                                                                  | Calibración y validación          | Magnitud valores         | mm y o C<br>Porcentual |

## **CAPITULO III**

### **METODOLOGÍA**

#### **3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN**

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

El enfoque es cuantitativo, busca explicar y evaluar cada cuanto ocurre y con qué magnitud. La recopilación de datos es numérica, estandarizada y cuantificable. De esta forma, la interpretación y análisis de datos permiten probar o refutar una hipótesis. (Hernández, 2014).

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

La tesis es tipo explicativo, ya que describe como se genera y calibra los caudales medios mensuales para determinar la disponibilidad hídrica, las investigaciones explicativas buscan ir más allá de la descripción, estableciendo relaciones entre conceptos y fenómenos. Su objetivo es responder por qué y cómo ocurren los eventos y fenómenos físicos o sociales, identificando sus causas y explicando su naturaleza (Hernández, 2014, pág. 95).

##### **3.1.3. DISEÑO**

Se utilizará el diseño no experimental longitudinal, ya que ninguna de nuestras variables es manipulada, en este tipo de diseño no es posible controlar o afectar directamente a las variables independientes o sus efectos, ya que sólo existen y no pueden manipularse, solo describen el comportamiento de las variables. (Hernández, 2014, pág. 152)

#### **3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA**

##### **3.2.1. POBLACIÓN**

La población del estudio este compuesto por las cuencas y subcuencas que forman parte del departamento de Huánuco con similares características a la muestra, como la geografía, hidrología, forma y tamaño, la cual estén dentro de las cuencas del país.

### **3.2.2. MUESTRA**

La muestra seleccionada se basa en métodos no probabilísticos de interés no propio, ya que ha sido una zona poca estudiada en términos de la generación de caudales medios mensuales y la importancia que tiene con la demanda poblacional. Es así que la subcuenca del río Higueras es la muestra, teniendo su punto de delimitación en la captación de sus aguas ubicada en la zona de Canchán.

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

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

#### **➤ Estaciones pluviométricas e hidrométricas**

Para la recopilación y el procesamiento de datos, pronósticos, el análisis y otras aplicaciones, se realizará mediante las estaciones pluviómetros y estaciones hidrométricas de Huánuco.

### **3.3.2. PARA LA PRESENTACIÓN DE DATOS**

#### **➤ Análisis de datos históricos**

El análisis exploratorio de datos es una técnica flexible y robusta que se enfoca en el análisis gráfico de los datos, brindando una perspectiva amplia y adaptable para explorar y comprender los datos.

#### **➤ Calibración**

Se define como calibración al proceso donde se identificará los valores de los parámetros del modelo en que la serie de datos simulados se ajusten de mejor manera a la serie de datos observados, estos parámetros son  $X_1$  expresado en (mm) y  $X_2$  siendo adimensional.

Se determinará la calidad del modelo realizando la evaluación en forma cuantitativa o cualitativa, donde la evaluación cuantitativa busca determinar el valor óptimo máximo de la función objetivo o criterio de evaluación. Esto se logra mediante técnicas de optimización. La función

objetivo o criterio de evaluación se resume en un solo valor la comparación entre los datos calculados y los datos observados. y mientras que la evaluación cualitativa se basa en realizar una comparación gráfica entre los valores calculados y los valores observados.

Entre los objetivos marcados para asegurar un buen ajuste se encuentran:

La eficiencia de Nash Sutcliffe, es uno de los métodos de eficiencia más utilizados para evaluar los modelos hidrológicos. Así también el coeficiente de determinación  $R^2$ .

#### ➤ **Validación**

Sarria, (2008) indica que el propósito de la validación es verificar la calidad de los ajustes realizados durante la calibración, así como la calidad y confiabilidad de los datos utilizados en la ejecución del modelo. Esto se hace utilizando los parámetros determinados en el período de calibración, pero en un momento diferente. La validación permite evaluar si el modelo sigue funcionando adecuadamente con nuevos datos, lo que es crucial para garantizar la fiabilidad de los resultados.

#### ➤ **Contrastación con la disponibilidad hídrica**

Se contrasta el balance hídrico verificando la disponibilidad hídrica entre la demanda poblacional proyectada. Si la oferta hídrica supera la demanda poblacional se concluirá que existe un superávit hídrico; y cuando es viceversa se concluirá que nos encontramos frente a un déficit hídrico, es decir la oferta hídrica no podrá cubrir toda la demanda poblacional requerida.

### 3.3.2. PARA EL ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS DATOS

#### ➤ Coeficiente de Nash Sutcliffe

El criterio  $ENS(Q)$  indica satisfactorio el rendimiento del modelo cuando el valor obtenido sobrepasa de 0.50.

$$ENS(Q) = \left(1 - \frac{\sum_{i=1}^N (Q_i^{obs} - Q_i^{sim})^2}{\sum_{i=1}^N (Q_i^{obs} - \bar{Q}_i)^2}\right) * 100$$

Donde:

$Q_i^{obs}$  : caudal observado para el mes  $i$ ;

$Q_i^{sim}$  : caudal simulado para el mes  $i$ ;

$\bar{Q}_i$  : caudal medio observado.

#### ➤ Coeficiente de Determinación

El valor de  $R^2$  oscila entre 0 y 1, indica un mejor rendimiento por parte del modelo cuando su valor se aproxima a 1, y de manera opuesto cuando se aproxima a 0.

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (Q_i^{sim} - \bar{Q}_i)^2}{\sum_{i=1}^N (Q_i^{obs} - \bar{Q}_i)^2} ; 0 < R^2 \leq 1$$

Donde:

$Q_i^{obs}$  : caudal observado;

$Q_i^{sim}$  : caudal simulado;

$\bar{Q}_i$  : caudal medio de los observados.

La validación del modelo se define como al proceso de demostrar que el modelo esta apto para ejecutar pronósticos en un lugar específico para períodos fuera del período de calibración. Por tanto, un modelo hidrológico se considera validado si su precisión y capacidad predictiva muestran errores o límites aceptables durante el proceso de validación.

### ➤ **Demanda poblacional**

Se calcula la población futura de que actualmente se encuentra siendo abastecida por las aguas tratadas del río Higueras. Para esto se empleará el método geométrico, que es el más recomendado para estos estudios.

Método de crecimiento geométrico

$$r = \left( \frac{P_f}{P_o} \right)^{\frac{1}{t}} - 1$$

$$P_f = P_o (1 + r)^t$$

Donde:

$r$ : Tasa de crecimiento anual.

$P_f$ : Población futura.

$P_o$ : Población base.

$t$ : Período de diseño (años)

## **CAPITULO IV**

### **RESULTADOS**

#### **4.1. PROCESAMIENTO DE DATOS**

##### **4.1.1. ZONA DE ESTUDIO**

###### **➤ Ubicación**

El lugar donde se realiza el estudio está ubicado en la subcuenca del río Higueras, lugar en que se realizará la investigación para la presente tesis. Políticamente engloba siete distritos, siendo estos seis distritos de la provincia de Huánuco (Quisqui, San Pedro de Chaulan, San Francisco de Cayrán Yarumayo, Margos y Yacus) y un distrito de la provincia de Yarowilca (Jacas Chico) todos pertenecientes a la región de Huánuco (MINAGRI, 1981). El río Higueras proviene de la confluencia de los ríos Cozo y Mito. Este también desemboca en el río Huallaga y se constituye parte de la vertiente atlántica.

###### **➤ Extensión**

Los límites de las cuencas y subcuencas son los siguientes: Por el norte con la subcuenca del río Conchumayo, por el sur con las subcuencas del río Cayrán y Huertas, al este con la cuenca del río Huallaga y al oeste con la cuenca del río Marañón. Geográficamente se ubica en la parte céntrica del Perú, (MINAGRI, 1981).

En la extensión de la subcuenca del río Higueras se ubican 02 obras hidráulicas de gran importancia para la ciudad de Huánuco, primero la captación de las aguas del río Cozo (afluente del río Higueras) para uso agrícola, y segundo la captación que parte de las aguas del río Higueras (se encuentra en la subcuenca del río Higueras situado en parte baja de la misma) con el fin de abastecer a la poblacional de la ciudad de Huánuco (distritos de Huánuco, Amarilis y Pillco Marca).

[illegible]

➤ **Descripción de la zona de estudio**

La subcuenca del río Higueras tiene un área de 698.68 km<sup>2</sup>, con perímetro de 195.08 km y con coeficiente de compacidad (Kc) de 2.08, esto indica que es una subcuenca larga y tiene una baja probabilidad de ocurrencia de caudales máximos.

El área de estudio se encuentra en la subcuenca del río Higueras, delimitada desde el punto de captación del río en Canchán. El área se calcula en 662.56 km<sup>2</sup> y con una altitud que varía entre 1,975 m.s.n.m. y los 4,450 m.s.n.m.

### ➤ **Precipitación**

La precipitación media mensual se encuentra entre 0.00 mm y 140.34 mm, donde desde el mes de octubre hasta abril la precipitación es de mayor precipitación y de menor precipitación desde mayo a setiembre, siendo los meses de noviembre y marzo tienen la máxima precipitación mensual con 332.14 mm y 278.87 mm respectivamente; así también la mínima precipitación mensual de 0.00 mm se encuentra en los meses de junio, julio y agosto.

**Tabla 2**

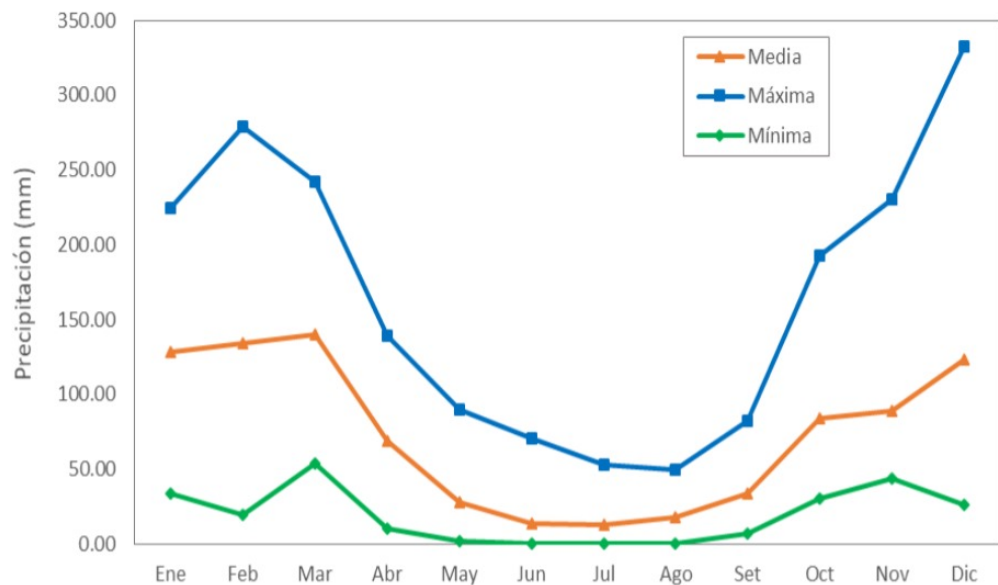
*Resumen de la precipitación media, máxima y mínima mensual (mm) del área de estudio, situado en la subcuenca del río Higueras. Período de 1981 - 2019*

|        | Ene.   | Feb.   | Mar.   | Abr.   | May.  | Jun.  | Jul.  | Ago.  | Set.  | Oct.   | Nov.   | Dic.   |
|--------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|
| Media  | 130.76 | 134.24 | 140.34 | 67.82  | 28.04 | 13.76 | 12.42 | 16.95 | 33.16 | 84.08  | 89.15  | 126.37 |
| Máxima | 226.80 | 278.87 | 242.28 | 138.77 | 89.97 | 70.78 | 52.83 | 49.50 | 81.75 | 193.08 | 230.29 | 332.14 |
| Mínima | 33.70  | 19.09  | 53.76  | 10.52  | 1.58  | 0.00  | 0.00  | 0.00  | 6.89  | 30.40  | 43.61  | 26.34  |

*Nota:* En el cuadro se aprecia el resumen de precipitación media, máxima y mínima mensual (mm) de la subcuenca del río Higueras, donde se determinó el promedio obtenido del período 1981 - 2019, de la estación meteorológica de Canchán, obteniendo como resultado que durante los meses de mayo y setiembre la precipitación es mínima de 1.58 mm y 6.89 mm respectivamente, así mismo los meses de junio – agosto la precipitación es 0.00 (VER ANEXO 4).

**Figura 3**

*Precipitación media, máxima y mínima mensual (mm) el área de estudio, se encuentra situado en la subcuenca del río Higueras. Período 1981- 2019*



*Nota:* Se muestra gráficamente la información de los datos de precipitación media, máxima y mínima mensual (mm) donde se determinó el promedio del período 1981-2019, donde se representa la curva color azul la precipitación máxima, la curva de color naranja representa la precipitación media y la curva de color verde representa la precipitación mínima, así mismo se puede visualizar que la precipitación mínima que llega a niveles bajos se encuentra entre los meses de mayo – setiembre, tal como se indica los resultados en la tabla N°2. La obtención del promedio se obtuvo resultados de precipitación de la estación meteorológica de Canchán (VER ANEXO 4).

**Tabla 3**

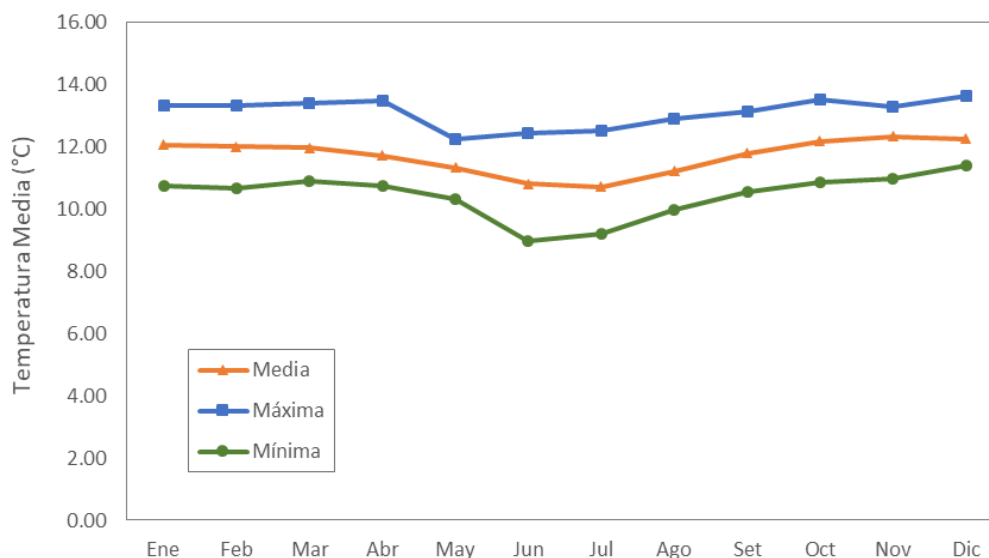
*Resumen de la temperatura media, máxima y mínima mensual (°C) de la zona de estudio, ubicada en la subcuenca del río Higueras. Período de 1981 - 2019*

|        | Ene.  | Feb.  | Mar.  | Abr.  | May.  | Jun.  | Jul.  | Ago.  | Set.  | Oct.  | Nov.  | Dic.  |
|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Media  | 12.06 | 12.02 | 11.97 | 11.74 | 11.35 | 10.82 | 10.69 | 11.19 | 11.77 | 12.15 | 12.31 | 12.23 |
| Máxima | 13.33 | 13.32 | 13.41 | 13.47 | 12.27 | 12.46 | 12.51 | 12.90 | 13.15 | 13.51 | 13.28 | 13.62 |
| Mínima | 10.73 | 10.69 | 10.89 | 10.75 | 10.31 | 8.97  | 9.20  | 9.92  | 10.54 | 10.88 | 10.99 | 11.39 |

*Nota:* En el cuadro se aprecia el resumen de temperatura media, máxima y mínima mensual (°C) de la subcuenca del río Higueras, donde se determinó el promedio obtenido del período 1981 - 2019, de la estación meteorológica de Canchán, obteniendo como resultado mínimo en los meses de junio – agosto que llega a niveles más bajos de temperatura (VER ANEXO 3).

**Figura 4**

*Temperatura media, máxima y mínima mensual (°C) en el área de estudio, se encuentra situado en la subcuenca del río Higuerras. Período de 1981 - 2019*



*Nota:* Se muestra gráficamente la información de los datos de Temperatura media, máxima y mínima mensual (°C) promedio mensual del período 1981-2019, donde se representa la curva color azul la temperatura máxima, la curva de color anaranjado representa la temperatura media y la curva color verde representa la temperatura mínima, así mismo se puede visualizar que la temperatura mínima que llega a niveles bajos se encuentra entre los meses de junio – agosto, tal como se indica los resultados en la tabla N°3. La obtención del promedio se obtuvo resultados de temperatura de la estación meteorológica (VER ANEXO 3).

#### ➤ Datos Meteorológicos

De las 05 estaciones identificadas, existen 03 estaciones meteorológicas que se encuentran ubicadas cerca del área de estudio. Esta es la estación meteorológica tipo convencional Huánuco (altitud 1,947 msnm), Dos de Mayo (altitud 3,442 msnm) y la estación meteorológica Puca Puca (altitud 3,584 msnm). La estación meteorológica de Dos de Mayo registra desde el año 2000 y la estación Puca Puca desde el 2015, por lo cual fueron descartados. La estación meteorológica Huánuco es la de mayor período de registro (desde 1981).

En la extensión del área de estudio se tiene 02 estaciones meteorológicas consideradas para el estudio. Estas estaciones son: estación Jacas Chico ubicada en el distrito de Jacas Chico y la estación Canchán. Ver Tabla 4.

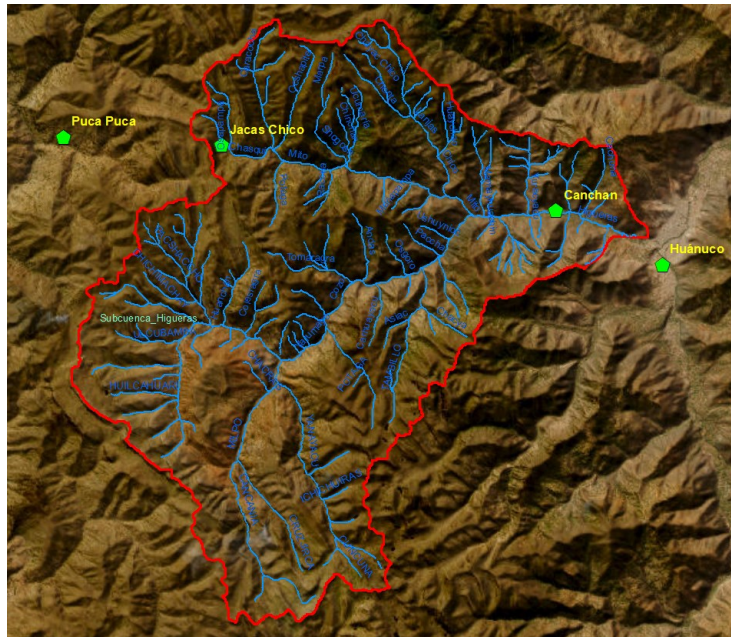
**Tabla 4**

*Estaciones hidrometeorológicas definidas para el estudio, su ubicación, tipo y disponibilidad de datos*

| Estación    | Latitud         | Longitud         | Altitud (msnm) | Tipo                       |
|-------------|-----------------|------------------|----------------|----------------------------|
| Canchán     | 9° 55' 15.43" S | 76° 18' 34.62" W | 1986.00        | Convencional Meteorológica |
| Jacas Chico | 9° 53' 01" S    | 76° 30' 01" W    | 3673.00        | Convencional Meteorológica |

**Figura 5**

*Estaciones Hidrometeorológicas - Sub cuenca del río Higuera*



*Nota.* Se observaron las estaciones Hidrometeorológicas que se encuentra en Huánuco, Canchán y Jacas Chico.

#### **4.1.2. PARÁMETROS GEOMORFOLÓGICO**

El área de estudio abarca 662 kilómetros cuadrados y tiene un perímetro de 185 kilómetros. La delimitación es desde el punto de captación en la parte inferior del área de investigación denominado Canchán (captación) hasta la parte alta de la subcuenca del río Higuera.

La siguiente tabla presenta el resumen de los parámetros morfométricos.

**Tabla 5**  
*Resumen de los parámetros geomorfológicos de la zona de estudio*

| <b>INFORMACION<br/>REQUERIDA</b> | <b>MORFOMETRIA</b>                 | <b>UNIDAD</b>   | <b>VALOR</b> |
|----------------------------------|------------------------------------|-----------------|--------------|
| <b>CUENCA<br/>(WATERSHED)</b>    | Área                               | km <sup>2</sup> | 662.56       |
|                                  | Perímetro                          | km              | 185.92       |
|                                  | Coefficiente de<br>Compacidad (Kc) | -               | 2.04         |
|                                  | Factor de Forma (F)                | -               | 0.09         |
|                                  | Longitud Mayor (Le)                | km              | 85.18        |
|                                  | Longitud Menor (le)                | km              | 7.78         |
| <b>RÍOS (RIVER)</b>              | Longitud de río principal          | km              | 44.40        |
|                                  | Cota mayor                         | msnm            | 4450.00      |
|                                  | Cota menor                         | msnm            | 2015.00      |
|                                  | pendiente del río principal        | m/m             | 0.05         |
| <b>DEM CUENCA</b>                | Pendiente de la cuenca             | m/m             | 0.43         |
|                                  | Altitud media de la cuenca         | msnm            | 3700.00      |
| <b>CUENCA Y RÍOS</b>             | Densidad de drenaje (Dd).          | -               | 0.088        |

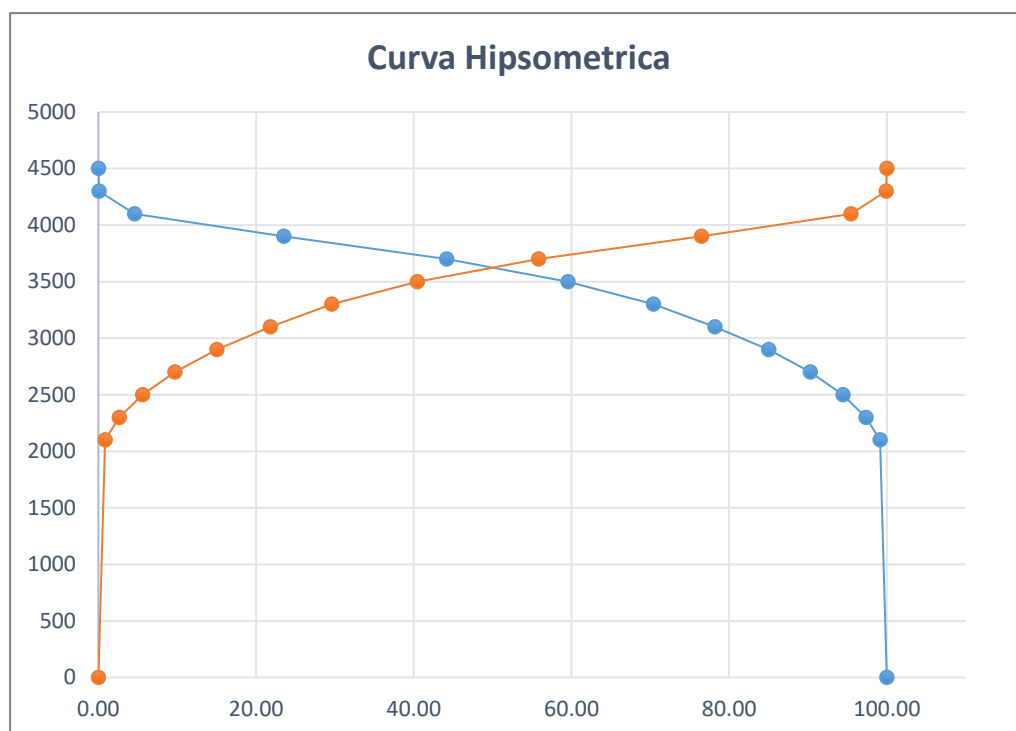
**Tabla 6***Curva Hipsométrica del área de estudio – Subcuenca del río Higueras*

| <b>Intervalos</b> | <b>Cotas</b> | <b>Área (Km2)</b> | <b>%</b> | <b>Área Acum. Debajo</b> | <b>%</b> | <b>Área Acum. Sobre</b> | <b>%</b> |
|-------------------|--------------|-------------------|----------|--------------------------|----------|-------------------------|----------|
| 0                 | 0            | 0.00              | 0        | 0                        | 0        | 662.55                  | 100.00   |
| 2000-2200         | 2100         | 5.71              | 0.86     | 5.71                     | 0.86     | 656.84                  | 99.14    |
| 2200-2400         | 2300         | 11.79             | 1.78     | 17.50                    | 2.64     | 645.05                  | 97.36    |
| 2400-2600         | 2500         | 19.50             | 2.94     | 36.99                    | 5.58     | 625.55                  | 94.42    |
| 2600-2800         | 2700         | 27.18             | 4.10     | 64.18                    | 9.69     | 598.37                  | 90.31    |
| 2800-3000         | 2900         | 35.22             | 5.32     | 99.39                    | 15.00    | 563.15                  | 85.00    |
| 3000-3200         | 3100         | 45.08             | 6.80     | 144.48                   | 21.81    | 518.07                  | 78.19    |
| 3200-3400         | 3300         | 51.60             | 7.79     | 196.08                   | 29.59    | 466.47                  | 70.41    |
| 3400-3600         | 3500         | 71.85             | 10.84    | 267.92                   | 40.44    | 394.63                  | 59.56    |
| 3600-3800         | 3700         | 101.92            | 15.38    | 369.84                   | 55.82    | 292.71                  | 44.18    |
| 3800-4000         | 3900         | 136.97            | 20.67    | 506.81                   | 76.49    | 155.74                  | 23.51    |
| 4000-4200         | 4100         | 125.46            | 18.94    | 632.27                   | 95.43    | 30.27                   | 4.57     |
| 4200-4400         | 4300         | 29.61             | 4.47     | 661.88                   | 99.90    | 0.66                    | 0.10     |
| 4400-4600         | 4500         | 0.66              | 0.10     | 662.55                   | 100.00   | 0.00                    | 0.00     |

*Nota:* La tabla muestra los valores de variación de elevación, datos del área por intervalos de la subcuenca del río Higueras.

**Figura 6**

*Curva Hipsométrica del área de estudio – Subcuenca del río Higueras*



*Nota:* la figura se aprecia la curva Hipsométrica, donde representa la variación de la elevación de la subcuenca del río higueras, este proceso se considera las áreas acumuladas y cotas que se aprecian en la tabla N° 5.

### **4.1.3. ANÁLISIS DE CONSISTENCIA**

Para el análisis de consistencia se han establecido dos de los métodos más utilizados y recomendados, siendo esto el análisis Gráfico y análisis de Doble Masa, permitiendo reconocer, modificar y suprimir los desaciertos sistemáticos y aleatorios que se presentan en series hidrometereológicas. Esto requiere que las series analizadas sean consistentes, homogéneas y viables.

#### **4.1.3.1. ANÁLISIS GRÁFICO**

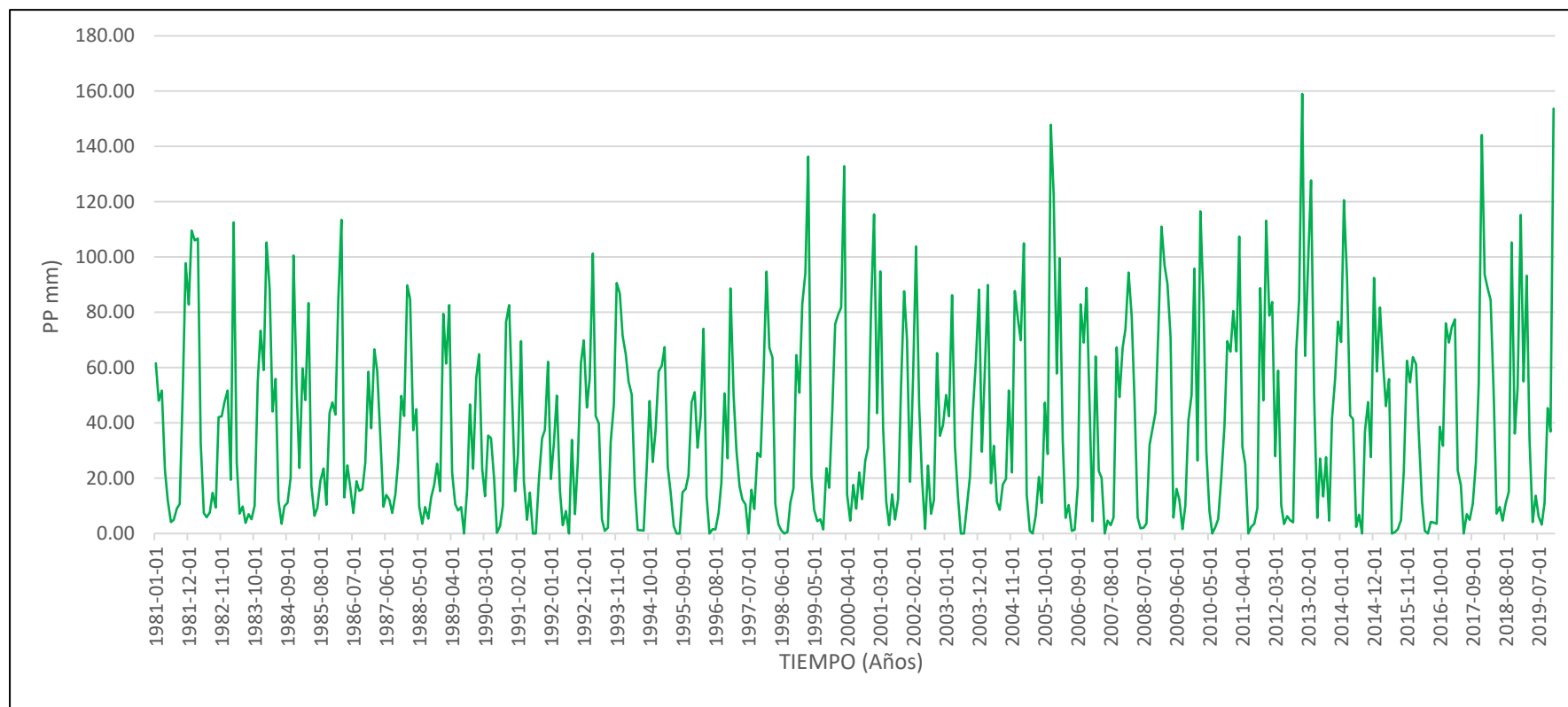
En este análisis, la evaluación visual de los hidrogramas de las series mensuales y anuales, lo que demuestra que las descargas de precipitaciones tienen una conducta hidrológica similar, observándose durante los períodos en los que la información no cambia significativamente. Se observa un

comportamiento hidrológico similar en todos los hidrogramas, con algunos picos no coincidentes cronológicamente no se toman en cuenta magnitudes mayores; en este análisis no deben confundirse un salto con un período seco y húmedo, porque ellos son eventos extremos realmente ocurridos y se presentan generalmente y están presentes en todas las variables meteorológicas.

En la siguiente figura se observa el hidrograma total de la precipitación anual de la estación meteorológica de Canchán, de este gráfico se puede observar que el comportamiento de la precipitación total mensual es uniforme, con un mínimo de 0.0 mm y a. máximo 159 mm.

**Figura 7**

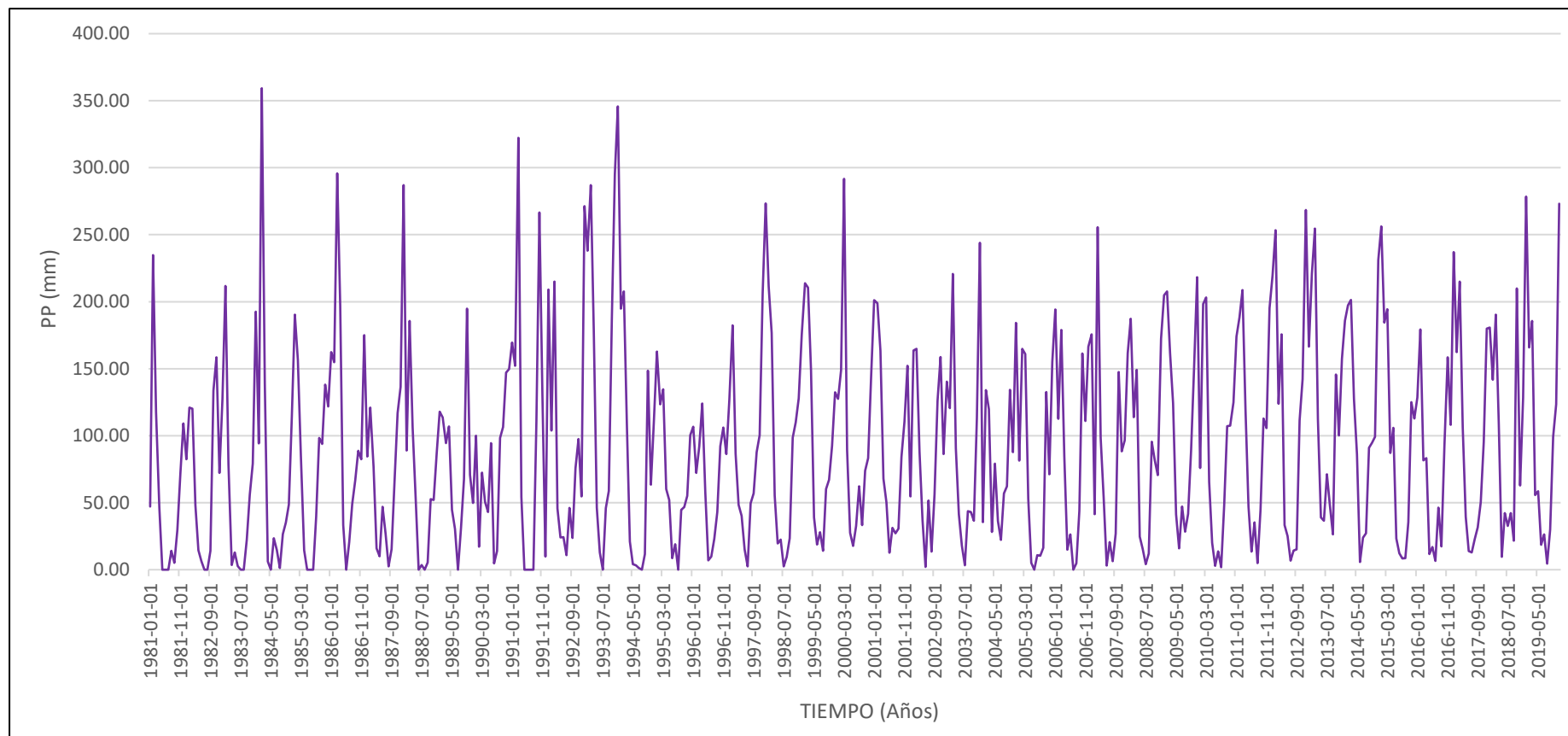
*Se aprecia el Hidrograma de la Precipitación total anual (mm) – Estación meteorológica de Canchán. Período 1981-2019*



*Nota:* Se aprecia la representación gráfica de la precipitación total anual período 1981-2019 de la estación meteorológica de Canchán, donde la línea verde muestra los períodos de mayor precipitación.

**Figura 8**

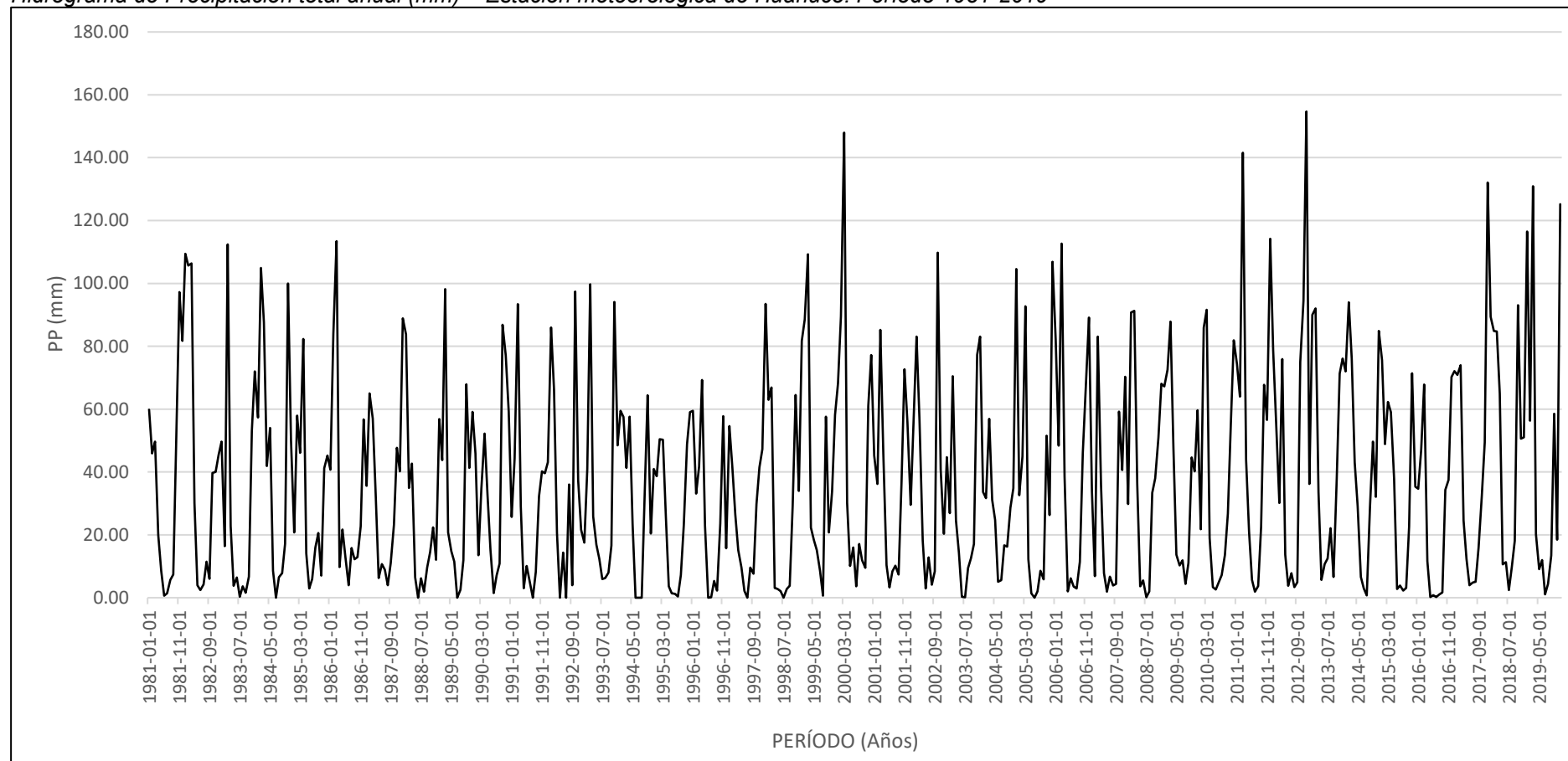
*Se aprecia el Hidrograma de Precipitación total anual (mm) – Estación meteorológica de Jacas Chico. Período 1981-2019*



*Nota:* Se aprecia la representación gráfica de la precipitación total anual período 1981-2019 de la estación meteorológica de Jacas Chico, donde la línea de color morado muestra los períodos de mayor precipitación.

**Figura 9**

*Hidrograma de Precipitación total anual (mm) – Estación meteorológica de Huánuco. Período 1981-2019*



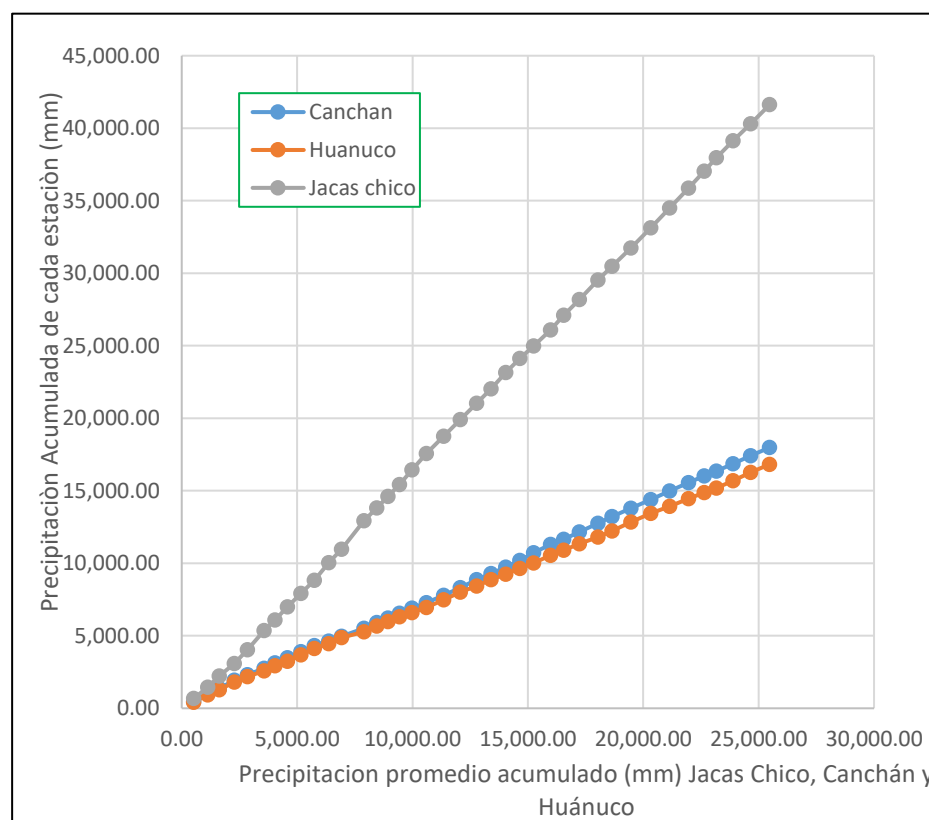
*Nota:* Se aprecia la representación gráfica de la precipitación total anual período 1981-2019 de la estación meteorológica de Huánuco, donde la línea de color negro muestra los periodos de mayor precipitación.

#### 4.1.3.2. ANÁLISIS DE DOBLE MASA

El siguiente cuadro proporciona información sobre los datos acumulados anuales promedios de precipitación de las siguientes estaciones: Canchán, Jacas Chico y Huánuco, así como los datos de precipitación total anual acumulada de cada estación, y las líneas de doble masa en la figura No. 5, estaciones Jacas Chico, Canchán y Huánuco serie histórica de las precipitaciones mensual total. En los gráficos se muestra no hay discontinuidades en la línea de doble masa para las tres estaciones, las cuales pueden ser o no significativas; por lo tanto, es necesario realizar un análisis estadístico.

**Figura 10**

*Líneas de doble masa de la precipitación anual total de las estaciones Jacas Chico, Canchán y Huánuco*



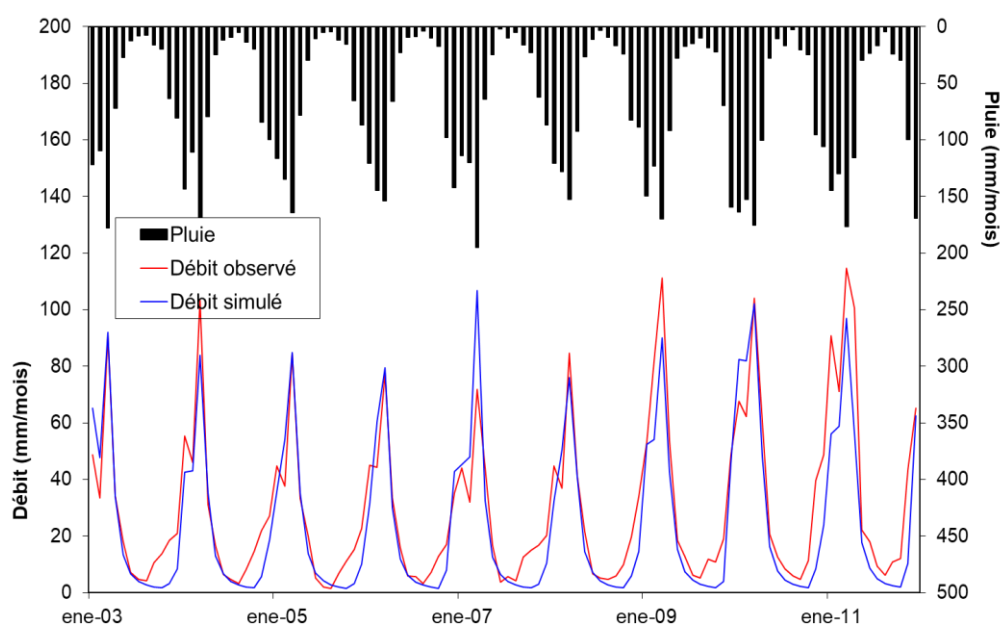
**Nota:** Se aprecia la representación gráfica de los promedios de precipitación anual acumulada de las estaciones de Jaca Chico, Canchán y Huánuco, muestra que no hay discontinuidades en la línea de doble masa para las tres estaciones, estas están representadas según color tal como se aprecia en la figura 8.

#### 4.1.4. CALIBRACIÓN DEL MODELO GR2M

En la calibración del modelo GR2M, se analizó el período comprendido entre 2003 y 2011, es decir, 9 años. La efectividad del modelo hidrológico se evalúa utilizando el criterio de eficiencia de Nash y Sutcliffe y el coeficiente de determinación ( $R^2$ ).

**Figura 11**

*Calibración del modelo GR2M – Hidrograma (período 2003-2011)*



*Nota:* En el proceso de calibración consideramos el área de la subcuenca del río Hogueras siendo 662.56 km<sup>2</sup>, posteriormente para la calibración predefinimos el período de estudio el cual se consideró el período 2003-2011 (09 años), completando nuestros datos obtenidos de la estación meteorológica de Canchán, siendo la precipitación y temperatura, así mismo de la estación hidrométrica puente higueras el caudal.

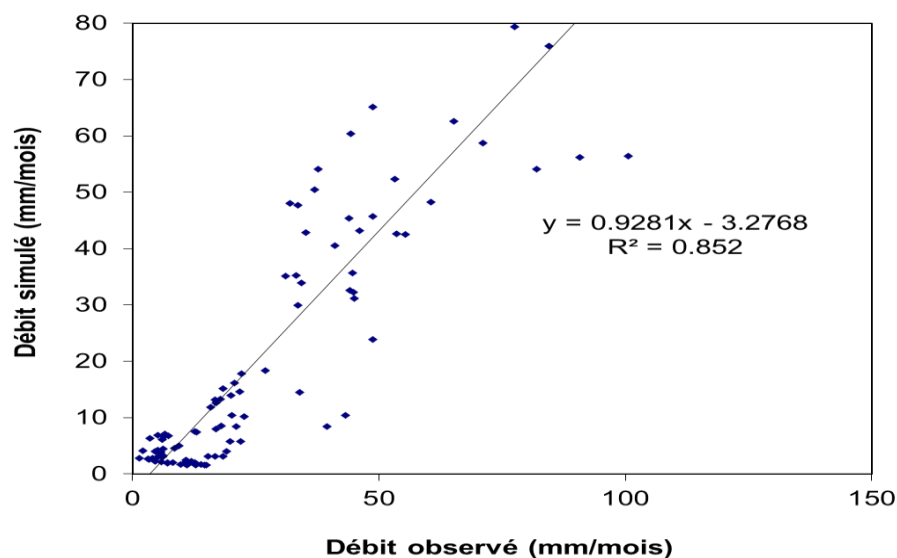
Para el Modelo Hidrológico GR2M consideramos nuestro período de calentamiento de 1 año y el período de estudio de 8 años, un total de 09 años (108 meses contado desde el período de calentamiento), posteriormente utilizamos la herramienta solver del modelamiento para encontrar un equilibrio de valores de los parámetros de  $X_1$  y  $X_2$  mediante un análisis e hipótesis, obteniendo  $X_1 = 4.90$  mm y  $X_2 = 1.04$ , la cual nos arroja un coeficiente de Nash de 82.1% indicando que nuestra optimización es muy buena, gráficamente lo podemos comprobar en el

hidrograma según la figura 1, se observa las barras color negro ubicadas en la parte superior representan las precipitaciones totales mensuales (período 2003-2011). En la parte inferior se muestra la línea de color rojo que representan la esorrentía observada (período 2003-2011) y la línea color azul representa la esorrentía calculada o simulada (período 2003-2011), revisando el hidrograma vemos la comparación de nuestro caudal observado, caudal simulado tienen bastante congruencia con la precipitación, donde podemos ver que nuestro caudal observado con nuestros datos de nuestra subcuenca se ajusta perfectamente al caudal simulado, concluyendo que se ajustaron perfectamente mediante el modelo GR2M.

Los parámetros obtenidos durante la calibración son  $X_1 = 4.90$  mm y  $X_2 = 1.04$ . Estos valores de será empleados durante la validación.

**Figura 12**

*Dispersión de los datos observados y obtenidos en la calibración. Período 2003-2011*



*Nota:* Se muestra el gráfico de dispersión entre las esorrentías observadas y simuladas para el período 2003-2011. Se muestra el coeficiente de determinación ( $R^2$ ) con un valor de 0.852, siendo este un valor muy bueno, que coincide perfectamente con los datos de caudal y con el hidrograma.

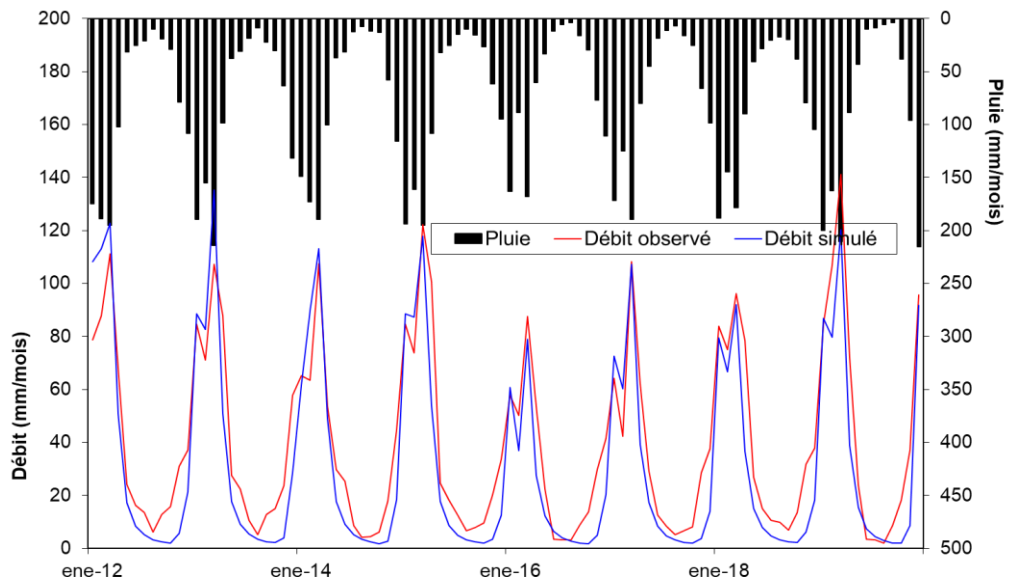
Para el coeficiente de Nash se obtiene un valor de 82.1% considerado como muy bueno cada vez que este es cercano al 100%.

#### 4.1.5. VALIDACIÓN

Para el proceso de validación se consideró desde el año 2012 al 2019. Para su desarrollo se consideró los parámetros obtenidos en la calibración.

**Figura 13**

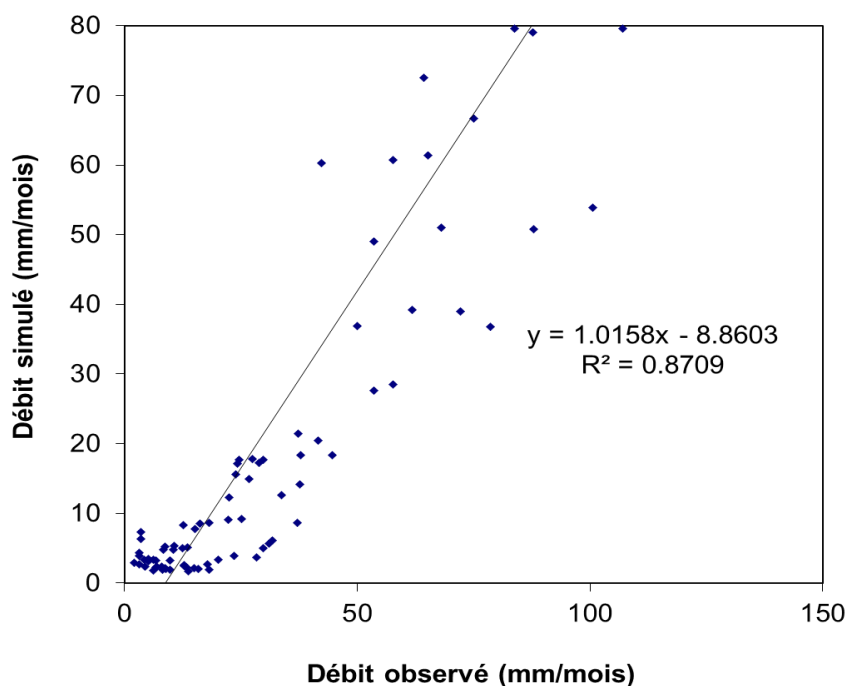
*Validación del modelo GR2M – Hidrograma (período 2012-2019)*



*Nota:* Se realiza el período de validación considerando las precipitaciones en este período (2012-2019) son mayores que el período de calibración. Se utiliza los datos obtenidos de los parámetros de calibración son  $X_1 = 4.90$  mm y  $X_2 = 1.04$  que en coeficiente de Nash y Sutcliffe logra un valor de 78.5 %. Gráficamente se puede observar que nuestro período de validación se ha acoplado perfectamente y que existe una buena similitud por parte de la esorrentía observada y simulada, estas se pueden ver en la línea color rojo (observada) y la línea color azul (simulada).

**Figura 14**

*Dispersión de los datos observados y obtenidos en la Validación. Período 2003-2019*



*Nota:* El coeficiente de Determinación logra un valor de 0.87, siendo este muy bueno y por tanto está dentro del rango de buenos resultados.

El coeficiente de Nash y Sutcliffe logra un valor de 78.5 %, siendo considerado como un valor satisfactorio para el rendimiento del modelo.

#### **4.1.6. DEMANDA POBLACIONAL**

En el cálculo de la demanda poblacional futura se considera los datos de los censos nacionales del Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI, 1993, 2007 y 2017). Para efectos de la estimación de la proyección de la población a lo largo del horizonte del estudio, adoptaremos el método geométrico. Se tiene con una tasa de crecimiento de 2.59% (ver Tabla 7).

Cálculo de la población futura del ámbito atendido por la Empresa Prestadora de Servicio SEDA HUANUCO S.A. que abastece a la localidad de Huánuco, Amarilis y Pillco Marca, considerando los datos poblacionales del censo nacional 1993, 2007 y 2017 (INEI, 2017).

**Tabla 7***Población futura - Método de crecimiento Geométrico (Ver Anexo 6)*

| AÑO  | TOTAL      | r        |
|------|------------|----------|
| 1993 | 135,438.00 | 0.0148   |
| 2007 | 166,287.00 | 0.0259   |
| 2017 | 214,781.00 | r=0.0259 |
| 2018 | 220,348.26 | r=2.59%  |
| 2019 | 226,059.82 |          |
| 2029 | 291,985.26 |          |
| 2039 | 377,136.44 |          |
| 2049 | 487,120.11 |          |

*Nota:* Se utilizó el método geométrico, representado de la siguiente manera:

$$r = \left( \frac{P_f}{P_o} \right)^{\frac{1}{t}} - 1$$

$$P_f = P_o(1 + r)^t$$

**Tabla 8***Resumen de la población futura (habitantes)*

| Año  | Población    | Demanda (*) |
|------|--------------|-------------|
|      | (Habitantes) | (m3/s)      |
| 2019 | 227,000      | 0.59        |
| 2029 | 292,000      | 0.61        |
| 2039 | 377,000      | 0.63        |
| 2049 | 487,000      | 0.64        |

*Nota:* Para realizar el resumen de población futuras considero la tasa de crecimiento de 2.59%.

**Tabla 9**

*Se aprecia el resumen de caudales medios mensuales del período 2003-2019*

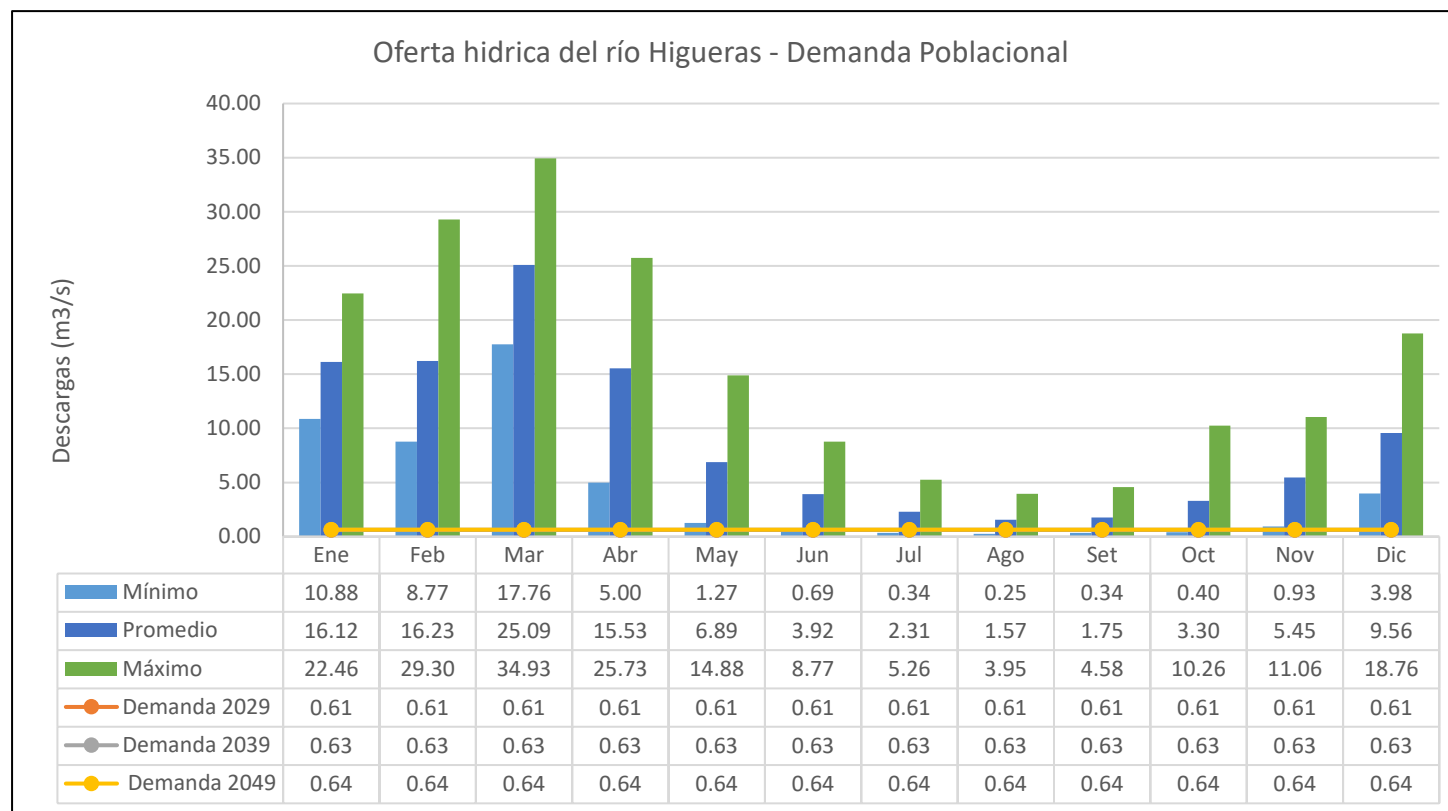
| Caudales medios mensuales (m3/s) |       |       |       |       |       |      |      |      |      |       |       |       |
|----------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|------|------|-------|-------|-------|
|                                  | Ene.  | Feb.  | Mar.  | Abr.  | May.  | Jun. | Jul. | Ago. | Set. | Oct.  | Nov.  | Dic.  |
| Promedio                         | 16.12 | 16.23 | 25.09 | 15.53 | 6.89  | 3.92 | 2.31 | 1.57 | 1.75 | 3.30  | 5.45  | 9.56  |
| Máximo                           | 22.46 | 29.30 | 34.93 | 25.73 | 14.88 | 8.77 | 5.26 | 3.95 | 4.58 | 10.26 | 11.06 | 18.76 |
| Mínimo                           | 10.88 | 8.77  | 17.76 | 5.00  | 1.27  | 0.69 | 0.34 | 0.25 | 0.34 | 0.40  | 0.93  | 3.98  |

*Nota:* En la tabla se aprecia un resumen de caudales medios mensuales (m3/s) de la subcuenca del río Higuera, donde se determinó el promedio obtenido del período 2003 - 2019, de la estación hidrométrica del río higuera (Ver Anexo 5).

En la Figura 14, se muestra el resumen de la Oferta hídrica mínima, máxima y promedio de las descargas medios mensuales del río higuera, este se contrasta con la demanda poblacional de los años 2029, 2039 y 2049 para las ciudades de Huánuco, amarilis y Pillco Marca que es la extensión de atención de la EPS Seda Huánuco.

**Figura 15**

*Contrastación de Oferta hídrica máxima, mínima y promedio del Río Higueras y demanda poblacional (Huánuco, Amarilis y Pillco Marca)*

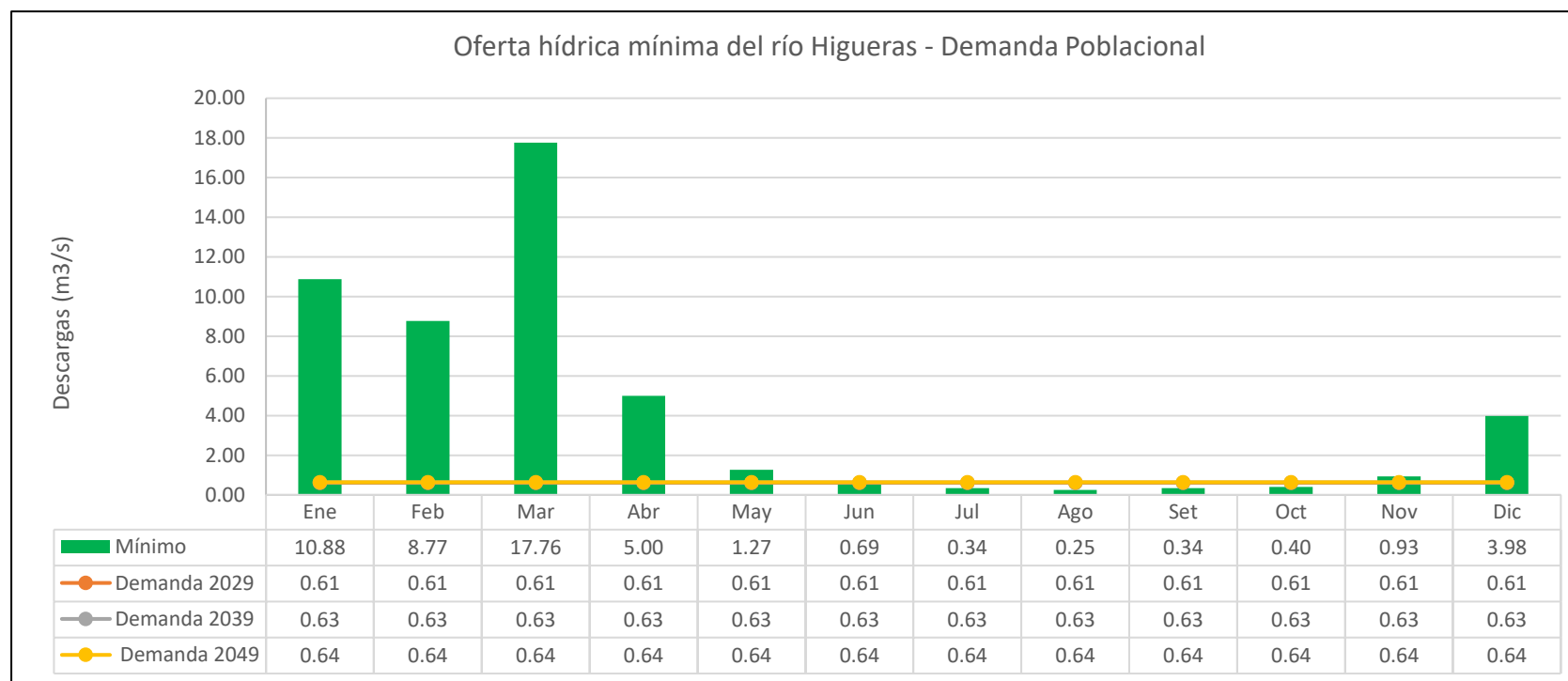


*Nota:* A partir de la imagen anterior se logra verificar que existe un posible déficit hídrico en el mes de agosto, setiembre y octubre, siempre que la demanda de la población para los períodos de 2039 y 2049 este por encima del caudal mínimo.

En la siguiente Figura 16, se observará la comparación de la descarga hídrica mínima del río higueras y la demanda poblacional para los años 2029, 2039 y 2049.

**Figura 16**

*Contrastación de Oferta hídrica Mínima del Río Higueras y demanda poblacional (Huánuco, Amarilis y Pillco Marca) para los años 2029, 2039 y 2049*



**Nota:** Descarga o caudal mínimo (m³/s) en columnas de color verde y la demanda poblacional de los años 2029, 2039 y 2049 en las líneas de color anaranjado, gris y amarillo. Se puede observar que abra déficit hídrico en el mes de julio, agosto, setiembre y octubre.

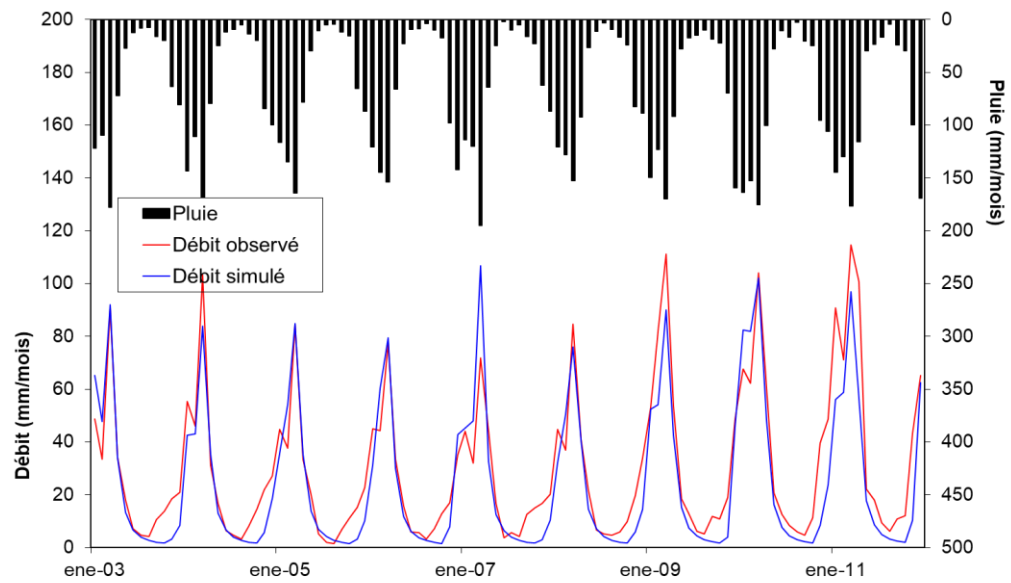
## **4.2. CONTRASTACION DE HIPOTESIS Y PRUEBA DE HIPOTESIS**

### **4.2.1. HIPOTESIS GENERAL**

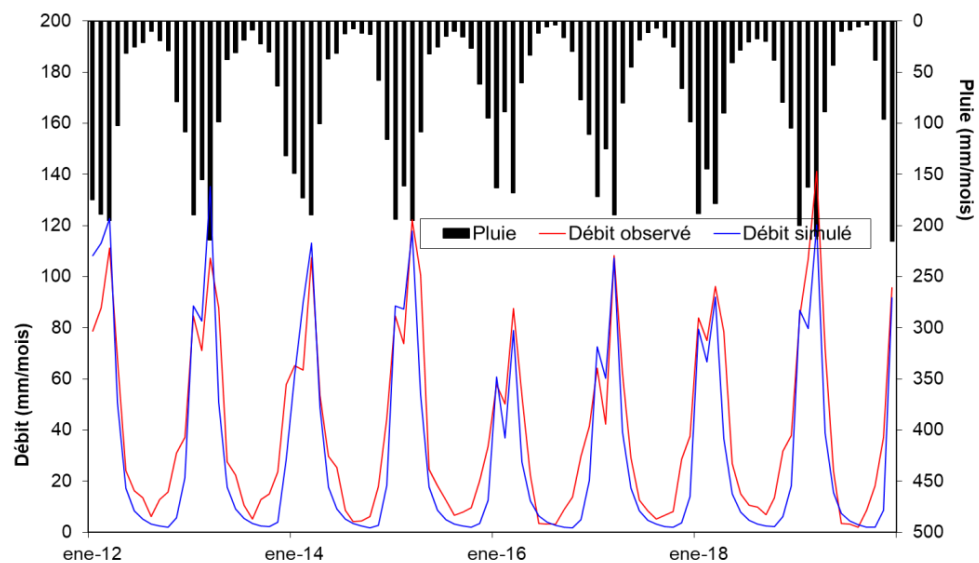
HA: Al generar y calibrar los caudales medios mensuales con el modelo hidrológico GR2M se podrá determinar la disponibilidad hídrica de la subcuenca del río Higuera.

Habiendo ejecutado la presente tesis de investigación se puede indicar que se valida dicha Hipótesis, si se puede generar y calibra los caudales medios mensuales ya que durante el proceso de calibración y validación obtenemos un buen rendimiento del modelo Hidrológico GR2M en la etapa histórica, donde nuestro caudal observado, caudal simulado tienen bastante congruencia con la precipitación, concluyendo que se ajustaron perfectamente mediante el modelo GR2M y fue evaluado con método estadístico Nash-Sutcliffe, como resultado se obtuvo una eficiencia en calibración de 82.1% y en validación 78.5 % de la misma manera para un  $R^2$  presenta en calibración de 0.852 y en validación de 0.87, esto muestra que existe una buena relación de la zona de estudio, precipitaciones y descargas del río Higuera. Todo esto influye en la contrastación con la demanda poblacional urbana (Huánuco, Amarilis y Pillco Marca) cada vez que realizamos el balance de la disponibilidad hídrica entre la oferta y demanda, donde se obtuvo para la población futura de los años 2039 una demanda de 0.63 m<sup>3</sup>/s y en la contrastación con la oferta hídrica se obtiene en el mes de octubre un caudal mínimo de 0.40 m<sup>3</sup>/s siendo así se pudo verificar que en las épocas de sequía el caudal mínimo no será capaz de poder abastecer a toda la población, los resultados se aprecian en el hidrograma de calibración y validación, que representa el caudal simulado, observado y precipitación.

**Figura 17**  
*Hidrograma de calibración*



**Figura 18**  
*Hidrograma de validación*



Ho: Al generar y calibrar los caudales medios mensuales con el modelo hidrológico GR2M no se podrá determinar la disponibilidad hídrica de la subcuenca del río Higuera.

Habiendo ejecutado la presente tesis de investigación se puede indicar que no es válida dicha Hipótesis, ya que durante el proceso de calibración y validación se obtuvo un buen rendimiento del modelo Hidrológico GR2M, ya que se pudo generar y calibrar caudales medios

mensuales, donde se aprecia que nuestro caudal observado con nuestros datos de nuestra subcuenca se ajusta perfectamente al caudal simulado, esto permite que se realice un balance hídrico entre la oferta y demanda poblacional.

## CAPITULO V

### DISCUSIÓN DE RESULTADOS

#### 5.1. DISCUSIÓN RESPECTO A LOS ANTECEDENTES

Se logro realizar la calibración y validación del modelo Hidrológico GR2M para la subcuenca del Río Higueras, llegando a obtener buen rendimiento por parte del modelo GR2m al momento de generar caudales medios mensuales en los periodos 2003-2019, el cual los resultados nos indica un mejor rendimiento del modelo, de estos resultados obtenidos se realiza la comparación con autores que desarrollaron el modelo GR2M el cual también obtuvieron buenos resultados y demuestra que el modelo GR2M tiene buen rendimiento con respecto a la calibración y validación, como por ejemplo, Rodríguez (2020) en su tesis titulada “Comparación de los modelos hidrológicos lluvia-escorrentía GR2M y GR4J en la obtención de caudales medios en la cuenca del río Subachoque” aplica los modelos GR2M y GR4J donde alcanzo una buena calibración con un coeficiente NASH de 51% y en la investigación realizada se obtuvo un coeficiente NASH en calibración de 82.1% y en validación 78.5 %, concluyendo que en la comparación de resultado de ambas investigaciones estas superan el 50% requerido para que se admita como el resultado satisfactorio. De igual forma Gallo e Iza (2018) en la tesis titulada “Modelamiento con SWAT y Gr2M para la Subcuenca del Río Guayllabamba” escribió que el modelamiento GR2M es más eficiente que el SWAT debido a que el modelo GR2M logro un mejor desempeño en la simulación de caudales ya que obtuvo en coeficiente de Nash de 62% y 66%, así mismo un coeficiente de determinación  $R^2$  de 0.63 y 0.66 y en la investigación realizada se obtuvo resultados en calibración de 82.1% y en validación 78.5 % de la misma manera para un  $R^2$  presenta en calibración de 0.852 y en validación de 0.87, concluyendo que en la comparación de resultados de ambas investigaciones estas superan el 50% en coeficiente NASH y en el coeficiente de determinación se aproxima al valor de 1, lo que demuestra el buen comportamiento del modelo GR2M en el modelamiento. De igual forma Buguña (2019) en su investigación titulado “Aplicación de modelos hidrológicos para la estimación de caudales mensuales en la sub

cuenca del río Bigote” escribió que al evaluar los modelos hidrológicos Lutz Scholz, abc, GR2M y Temez donde concluye que el modelo GR2M fue el de mejor obteniendo un resultado de eficiencia del 81% y en la investigación realizada se obtuvo un coeficiente NASH en calibración de 82.1% y en validación 78.5 %, concluyendo que en la comparación de resultado de ambas investigaciones estas superan el 50% requerido para que se admita como el resultado satisfactorio.

Las investigaciones realizadas por distintos autores demuestran que el modelo GR2M tiene un buen rendimiento, y no siendo diferente con los resultados obtenidos con la presente tesis con respecto a la eficiencia en calibración, validación y generación de caudales medios mensuales, siendo que el modelo GR2M al presentar menor parámetros que otros modelamientos presenta mayor rendimiento.

## CONCLUSIONES

- En el proceso de calibración y validación se obtuvo buen rendimiento del modelo hidrológico GR2M en la etapa histórica, mostrando que existe una buena relación con la zona de estudio, precipitaciones y descargas del río Higueras. Se realizó la contrastación de la oferta hídrica con la demanda poblacional urbana (Huánuco, Amarilis y Pillco Marca) donde se pudo verificar que en las épocas de sequía el caudal mínimo no será capaz de poder abastecer a toda la población.
- En el cálculo de la población futura, se obtuvo una demanda poblacional para el año 2029 (0.61 m<sup>3</sup>/s), 2039 (0.63 m<sup>3</sup>/s) y 2049 (0.64 m<sup>3</sup>/s) y realizando la contrastación con la oferta hídrica se obtiene un déficit en los meses de julio a octubre, consiguiendo un resultado en oferta mensual mínima de 0.34 m<sup>3</sup>/s (julio), 0.25 m<sup>3</sup>/s (agosto), 0.34 m<sup>3</sup>/s (setiembre) y 0.40 m<sup>3</sup>/s (octubre). Concluyendo un posible déficit hídrico y no será capaz de cubrir toda la brecha de la demanda poblacional.
- Se realizó el tratamiento de la información hidrometeorológica (precipitación y caudales), mediante el análisis de consistencia con la aplicación visual de gráficos, obteniendo buenos resultados, donde no se encontraron saltos ni inconsistencias, así también se realizó el análisis de doble masa de los datos de las estaciones meteorológicas de Canchán, Huánuco y Jacas Chico, donde no se encontró ningún quiebre en los datos obtenidos. Por tanto, se concluye que la información de estas estaciones meteorológicas es fiable para la presente investigación.
- En la determinación de la sensibilidad de los parámetros del modelo hidrológico GR2M para el período 2003-2019, se obtuvo los siguientes parámetros  $X_1 = 4.90$  mm y  $X_2 = 1.04$ , en el proceso de calibración se obtuvo resultados en coeficiente de Nash de 82.1% y en coeficiente de determinación R<sup>2</sup> de 0.852, así mismo en el proceso de validación se obtuvo en coeficiente de Nash de 78.5 % y en coeficiente de determinación R<sup>2</sup> de 0.87.

## RECOMENDACIONES

- Todo modelo Hidrológico debe ser calibrado y validado antes de obtener resultados y poder concluir sus objetivos; y más importante en la toma de decisiones
- Se recomienda a la entidad presentadora de servicio de saneamiento Seda Huánuco (EPS SEDA HUANUCO SAC) crear un Plan de Contingencia frente a la calidad y cantidad del recurso hídrico del Río Higuera, con la finalidad de no tener inconvenientes con la demanda poblacional en los meses secos (de junio a octubre).
- Se recomienda al gobierno regional de Huánuco, gobierno provincial de Huánuco, EPS Seda Huánuco, Dirección de Vivienda y Saneamiento – Huánuco considerar el presente estudio de balance hídrico para fines de abastecimiento poblacional y crear políticas de contingencia frente al posible desabastecimiento de la demanda poblacional.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Aliaga. (1985). *Precipitación*.

Aparicio, F. J. (1989). *FUNDAMENTOS DE HIDROLOGÍA DE SUPERFICIE*.  
(G. N. EDITORES, Ed.) MEXICO: EDITORIAL LIMUSA, S.A de C.V.

Atúncar, G. A. (2020). *Análisis espacio-temporal de sequías históricas en la cuenca del río Pampas durante el período 1981 – 2016*. Lima: Universidad Nacional Mayor de San Marcos.

Ayllon, T. (2009). *ELEMENTOS DE METEOROLOGIA Y CLIMATOLOGIA*.  
MEXICO: EDITORIAL TRILLAS.

Bugña. (2019). *Cuenca*.

Cabrera. (2012). *Calibración*.

Cabrera. (2012). *Modelos conceptuales*.

Carrasco, J. D. (2018). *CARACTERIZACIÓN DE SEQUÍAS METEOROLÓGICAS EN LA CUENCA ALTO JEQUETEPEQUE MEDIANTE ÍNDICE ESTANDARIZADO DE PRECIPITACIÓN Y EVAPOTRANSPIRACIÓN*. Cajamarca: Universidad Nacional de Cajamarca.

Chereque. (1989). *Estación Meteorológica*.

Chereque. (1989). *Sub cuenca*.

Chereque, W. (1989). *HIDROLOGIA para estudiantes de ingeniería civil*.  
LIMA.

Cordoba, M. (2016). *PARAMETROS GEOMORFOLOGICOS DE CUENCAS HIDROGRAFICAS*.  
Obtenido de  
[https://www.prontubeam.com/articulos/articulos.php?Id\\_articulo=26](https://www.prontubeam.com/articulos/articulos.php?Id_articulo=26)

Edilberto, G. P. (1991). *Modelo Hidrológico*.

- Fernández, B. (1997). *IDENTIFICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE SEQUÍAS HIDROLÓGICAS EN CHILE CENTRAL* (1° ed. ed.). EDITORIAL INGENIERÍA DEL AGUA.
- Hernández, R. (2014). *METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN*. (I. E. C.V., Ed.) MEXICO: Mc Graw Hill Education.
- Marcos, Ó. (2001). *SEQUÍA: DEFINICIONES, TIPOLOGÍAS Y METODOS DE CUANTIFICACIÓN*. INSTITUTO UNIVERSITARIO DE GEOGRAFIA UNIVERSIDAD DE ALICANTE.
- Millan, J. (1972). *DROUGHT IMPACT ON REGIONAL ECONOMY*. FORT COLLINS, COLORADO: HYDROLOGY PAPERS COLORADO STATE UNIVERSITY.
- Monsalve, G. (1999). *HIDROLOGÍA EN LA INGENIERÍA* (2a. edición ed.). (A. G. C.V, Ed.) EDITORIAL ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERIA.
- Nobles, E. (2016). *EVALUACIÓN DE LA AMENAZA POR SEQUÍA EN EL DEPARTAMENTO DE CÓRDOBA*. CÓRDOBA: UNIVERSISAD DE CÓRDOBA.
- Organización Metereológica Mundial (OMM). (2016). *Manual de indicadores e índices de sequía*. Ginebra: Programa de gestión integrada de sequías.
- Palza, H. O. (2014). *ANALISIS ESPACIAL Y TEMPORAL DE SEQUIAS EN LA CUENCAS HIDROGRAFICAS DE LA REGION TACNA*. TACNA: UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN.
- Seelmann, D. B. (2017). *EVALUACIÓN DEL IMPACTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN EVENTOS EXTREMOS. ANALISIS DE RIESGO DE SEQUIAS E INUNDACIONES USANDO METODOS SIMPLES*. SANTIAGO, CHILE: UNIVERSIDAD DE CHILE.
- SENHAMI. (2015). *REGIONALIZACIÓN Y CARACTERIZACION DE SEQUÍAS EN EL PERÚ*. LIMA: DIRECCIÓN GENERAL DE HIDROLOGIA Y RECURSOS HIDRICOS.

- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENHAMI). (2019). *CARACTERIZACION ESPACIO TEMPORAL DE LA SEQUÍA EN LOS DEPARTAMENTOS ALTOANDINOS DEL PERÚ (1981-2018)*. LIMA: SENHAMI.
- Servicio Nacional Meteorología e Hidrología (SENHAMI). (2016). ANÁLISIS DE RIESGO DE SEQUIAS EN EL SUR DE PERÚ. *BOLETIN SENHAMI*, 53.
- Tallaksen, L. m., & Van Lamen, H. A. (2004). *HIDROLOGICAL DROUGHT PROCESSES AND ESTIMATION METHODS FOR STREAMFLOW AND GROUNDWATER*. EDITORIAL ELSEVIER.
- Valerazo, L. K. (2017). *CARACTERIZACIÓN DE LAS SEQUÍAS METEOROLÓGICAS EN LA CUENCA DEL PAUTE MEDIANTE LA APLICACIÓN DEL ÍNDICE DE PRECIPITACIÓN ESTANDARIZADO EN DIVERSAS ESCALAS TEMPORALES*. CUENCA, ECUADOR: UNIVERSIDAD DE CUENCA.
- Villon. (2002). *Características Geomorfológicas de una Cuenca*.
- Villon. (2002). *Parámetros Geomorfológicas de una Cuenca*.
- Villon, M. (2011). *HIDROLOGIA*. LIMA: EDITORIAL VILLÓN.
- Wilhite, D. (2006). *Vigilancia y alerta temprana de la sequía* (primera edición ed.). Editorial Escuela de Recursos Naturales de la Universidad de Nebraska.
- Javier Eduardo López Cabello (2022). *Efectos del cambio Climático sobre la disponibilidad Hídrica para fines de abastecimiento poblacional de la ciudad de Huánuco*.

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

Espinoza Malpartida, E. (2024). *Generación y calibración de caudales medios mensuales con el modelo GR2M, para determinar la disponibilidad hídrica de la subcuenca del Río Higuera, Huánuco 2023* [Tesis de pregrado, Universidad de Huánuco]. Repositorio Institucional UDH. <http://...>

## **ANEXOS**

## ANEXO 1

### MATRIZ DE CONSISTENCIA

| Problemas                                                                                                                                                                                            | Objetivos                                                                                                                                                                       | Hipótesis                                                                                                                                                             | Variables                 | METODOLOGIA                                                                                    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Problema General                                                                                                                                                                                     | Objetivo General                                                                                                                                                                | Hipótesis General                                                                                                                                                     | Variable Dependiente      |                                                                                                |
| PG: ¿De qué manera considerando el modelo hidrológico GR2M se podrá predecir los caudales medios mensuales, para determinar la disponibilidad hídrica de la subcuenca del río Higuera, Huánuco 2023? | OG: Generar y calibrar los caudales medios mensuales, empleando el modelo hidrológico GR2M, para determinar la disponibilidad hídrica de la subcuenca del río Higuera, Huánuco. | HG: Al generar y calibrar los caudales medios mensuales con el modelo hidrológico GR2M se podrá determinar la disponibilidad hídrica de la subcuenca del río Higuera. | Disponibilidad Hídrica    | De acuerdo a su enfoque: La Investigación es de tipo Aplicada                                  |
| Problemas específicos                                                                                                                                                                                | Objetivos específicos                                                                                                                                                           |                                                                                                                                                                       |                           |                                                                                                |
| PE1: ¿Cuál es la oferta hídrica de la subcuenca del río higuera para la demanda poblacional las ciudades de Huánuco, Pillco Marca y Amarilis?                                                        | OE1: Determinar la oferta hídrica de la subcuenca del río Higuera, para asegurar el abastecimiento de agua poblacional en las ciudades de Huánuco, Pillco Marca y Amarilis.     | HE: La oferta hídrica de la subcuenta del río higuera será suficiente para el abastecimiento poblacional.                                                             | Variable Independiente    | De acuerdo a su alcance o nivel: la investigación es explicativo y relacional respectivamente. |
| PE2: ¿Cuál es el resultado del análisis y tratamiento de la información hidrometeorológica en el período 1981-2022?                                                                                  | OE2: Realizar el tratamiento de la información hidrometeorológica en el período 1981-2022.                                                                                      |                                                                                                                                                                       |                           | De acuerdo al diseño: La investigación es no experimental longitudinal                         |
| PE3: ¿Cómo se podrá validar, calibrar y determinar la sensibilidad del modelo GR2M, en la subcuenca del río Higuera en el período 2003-2019?                                                         | OE3: Validar, calibrar y determinar la sensibilidad del modelo hidrológico GR2M, en la subcuenca del río Higuera en el período 2003-2019.                                       |                                                                                                                                                                       | Caudales medios mensuales |                                                                                                |

## ANEXO 2

### PANEL FOTOGRÁFICO



Se aprecia la estación Hidrológica del río Higueras



Estación Meteorológica de Cancán



La captación se encuentra en mejoramiento.



Captación del agua natural del río Higuera, ubicado en el lugar de Canchán.



Planta de tratamiento ubicado en el lugar denominado Cabrito Pampa, parte alta de la Urbanización los carrizales.



Los reservorios son de forma circular, de concreto armado y con diversos volúmenes de capacidad.

### ANEXO 3

#### DATOS DE LA TEMPERATURA MEDIA MENSUAL DE LA SUBCUENCA DEL RÍO HIGUERAS

| Año  | Ene   | Feb   | Mar   | Abr   | May   | Jun   | Jul   | Ago   | Set   | Oct   | Nov   | Dic   |
|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 1981 | 11.82 | 11.79 | 11.64 | 11.93 | 11.79 | 11.09 | 10.35 | 11.00 | 11.23 | 11.67 | 11.54 | 11.70 |
| 1982 | 11.75 | 11.39 | 11.63 | 11.41 | 11.50 | 10.89 | 10.78 | 10.68 | 11.24 | 11.75 | 11.77 | 12.11 |
| 1983 | 12.02 | 11.40 | 11.50 | 11.98 | 11.73 | 10.79 | 10.02 | 10.36 | 11.14 | 12.22 | 12.09 | 11.91 |
| 1984 | 11.61 | 11.29 | 11.88 | 11.46 | 11.38 | 10.27 | 10.33 | 10.38 | 11.54 | 12.25 | 11.65 | 11.60 |
| 1985 | 11.46 | 10.69 | 10.98 | 11.47 | 11.21 | 9.86  | 9.75  | 10.18 | 11.07 | 11.68 | 11.44 | 11.94 |
| 1986 | 11.48 | 11.03 | 10.97 | 11.74 | 11.39 | 10.32 | 9.90  | 10.69 | 10.95 | 11.62 | 11.89 | 11.85 |
| 1987 | 11.89 | 12.10 | 11.91 | 11.68 | 11.44 | 10.60 | 10.61 | 10.96 | 11.81 | 12.16 | 12.15 | 12.11 |
| 1988 | 12.09 | 12.21 | 11.95 | 11.67 | 11.52 | 10.27 | 10.46 | 11.23 | 11.24 | 11.91 | 11.72 | 11.72 |
| 1989 | 10.73 | 10.82 | 10.89 | 10.84 | 10.53 | 9.97  | 9.49  | 10.28 | 10.85 | 11.07 | 11.45 | 11.88 |
| 1990 | 11.10 | 11.99 | 11.89 | 11.69 | 11.17 | 10.32 | 10.11 | 10.29 | 11.20 | 11.53 | 10.99 | 11.39 |
| 1991 | 11.71 | 11.51 | 11.32 | 11.63 | 10.75 | 10.38 | 9.20  | 10.03 | 10.59 | 10.88 | 11.57 | 11.93 |
| 1992 | 11.74 | 11.32 | 11.52 | 11.76 | 11.89 | 10.90 | 10.65 | 10.91 | 11.89 | 11.17 | 11.33 | 11.87 |
| 1993 | 12.04 | 11.93 | 11.86 | 11.07 | 10.58 | 11.13 | 11.87 | 11.53 | 11.88 | 12.39 | 12.35 | 12.43 |
| 1994 | 11.89 | 12.07 | 11.77 | 11.54 | 11.39 | 10.89 | 11.13 | 11.38 | 12.12 | 12.13 | 12.03 | 12.39 |
| 1995 | 13.11 | 13.02 | 12.64 | 12.65 | 12.02 | 12.46 | 12.51 | 12.90 | 12.83 | 12.49 | 13.28 | 13.62 |
| 1996 | 13.27 | 12.78 | 12.93 | 12.58 | 12.05 | 11.56 | 11.59 | 12.28 | 12.89 | 13.37 | 12.90 | 12.86 |
| 1997 | 13.14 | 13.02 | 12.91 | 12.25 | 11.52 | 11.98 | 11.63 | 11.99 | 12.90 | 13.51 | 13.23 | 13.20 |
| 1998 | 13.33 | 13.32 | 13.41 | 13.47 | 12.27 | 11.31 | 11.76 | 12.48 | 13.15 | 13.00 | 12.88 | 12.58 |
| 1999 | 11.99 | 11.62 | 11.54 | 11.22 | 10.67 | 10.98 | 10.63 | 11.34 | 12.01 | 11.83 | 12.39 | 12.28 |
| 2000 | 11.56 | 11.48 | 11.63 | 10.75 | 11.64 | 10.85 | 11.30 | 12.28 | 12.61 | 12.67 | 12.95 | 12.57 |
| 2001 | 12.15 | 12.45 | 11.92 | 11.77 | 11.70 | 11.10 | 11.11 | 11.77 | 12.30 | 12.80 | 12.97 | 12.83 |
| 2002 | 12.78 | 12.37 | 12.17 | 12.00 | 11.39 | 11.02 | 10.86 | 11.46 | 11.91 | 12.29 | 13.02 | 12.65 |
| 2003 | 13.18 | 12.60 | 12.08 | 11.47 | 11.22 | 10.76 | 10.51 | 11.48 | 12.07 | 12.75 | 13.10 | 12.66 |
| 2004 | 12.60 | 12.36 | 12.71 | 12.32 | 11.45 | 10.36 | 10.94 | 10.87 | 12.09 | 12.27 | 12.67 | 12.77 |

|        |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 2005   | 12.65 | 12.39 | 12.02 | 12.14 | 11.66 | 11.46 | 11.24 | 11.98 | 11.96 | 12.46 | 13.05 | 12.69 |
| 2006   | 12.07 | 12.39 | 12.15 | 11.65 | 11.06 | 10.91 | 11.15 | 11.62 | 12.34 | 12.59 | 12.23 | 12.60 |
| 2007   | 12.36 | 12.22 | 11.88 | 11.77 | 11.35 | 11.32 | 10.92 | 11.69 | 12.00 | 12.33 | 12.48 | 12.31 |
| 2008   | 12.06 | 11.98 | 11.62 | 11.44 | 10.82 | 11.13 | 10.93 | 11.93 | 11.98 | 12.23 | 12.68 | 12.22 |
| 2009   | 12.08 | 11.76 | 11.71 | 11.54 | 11.14 | 10.94 | 10.72 | 11.32 | 11.80 | 12.54 | 12.45 | 12.18 |
| 2010   | 12.22 | 12.36 | 12.58 | 11.93 | 11.47 | 11.27 | 11.48 | 11.40 | 11.98 | 11.95 | 12.23 | 11.79 |
| 2011   | 11.79 | 11.49 | 11.67 | 11.30 | 10.86 | 10.75 | 10.50 | 11.36 | 11.56 | 11.52 | 12.33 | 11.70 |
| 2012   | 11.79 | 11.49 | 11.39 | 11.15 | 10.31 | 10.11 | 10.08 | 11.12 | 11.25 | 12.05 | 12.00 | 11.50 |
| 2013   | 11.74 | 11.65 | 11.68 | 11.38 | 10.96 | 10.10 | 10.44 | 10.86 | 11.95 | 12.31 | 12.55 | 11.84 |
| 2014   | 12.05 | 11.89 | 11.82 | 11.49 | 11.20 | 11.08 | 10.78 | 10.84 | 11.58 | 11.65 | 12.59 | 12.38 |
| 2015   | 12.44 | 12.53 | 12.19 | 11.48 | 11.25 | 11.21 | 11.14 | 11.56 | 12.43 | 12.75 | 12.83 | 12.72 |
| 2016   | 11.86 | 13.17 | 13.18 | 12.66 | 11.63 | 10.89 | 11.01 | 11.66 | 12.23 | 12.36 | 12.83 | 12.39 |
| 2017   | 11.41 | 12.03 | 11.81 | 11.87 | 11.71 | 10.86 | 9.78  | 10.49 | 11.25 | 11.93 | 12.13 | 11.62 |
| 2018   | 11.33 | 12.55 | 13.18 | 11.13 | 11.00 | 8.97  | 9.27  | 9.99  | 10.54 | 12.58 | 12.74 | 12.71 |
| 2019   | 12.17 | 12.41 | 12.31 | 12.49 | 11.86 | 10.74 | 9.98  | 9.92  | 10.80 | 11.22 | 11.76 | 11.55 |
|        | Ene   | Feb   | Mar   | Abr   | May   | Jun   | Jul   | Ago   | Set   | Oct   | Nov   | Dic   |
| Media  | 12.06 | 12.02 | 11.97 | 11.74 | 11.35 | 10.82 | 10.69 | 11.19 | 11.77 | 12.15 | 12.31 | 12.23 |
| Máxima | 13.33 | 13.32 | 13.41 | 13.47 | 12.27 | 12.46 | 12.51 | 12.90 | 13.15 | 13.51 | 13.28 | 13.62 |
| Mínima | 10.73 | 10.69 | 10.89 | 10.75 | 10.31 | 8.97  | 9.20  | 9.92  | 10.54 | 10.88 | 10.99 | 11.39 |

## ANEXO 4

### DATOS DE LA PRECIPITACION MEDIA MENSUAL DE LA SUBCUENCA DEL RÍO HIGUERAS

| Año  | Ene    | Feb    | Mar    | Abr    | May   | Jun   | Jul   | Ago   | Set   | Oct    | Nov    | Dic    |
|------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|
| 1981 | 51.75  | 175.68 | 96.61  | 39.02  | 3.77  | 1.31  | 1.56  | 12.52 | 6.89  | 36.70  | 79.96  | 100.76 |
| 1982 | 91.09  | 116.26 | 115.86 | 43.31  | 12.20 | 6.17  | 2.42  | 4.66  | 12.61 | 104.68 | 121.66 | 64.47  |
| 1983 | 103.31 | 150.91 | 89.41  | 10.52  | 11.04 | 4.94  | 1.22  | 2.24  | 16.86 | 41.46  | 71.45  | 154.85 |
| 1984 | 83.16  | 278.87 | 123.08 | 18.16  | 17.70 | 19.76 | 11.18 | 3.95  | 21.70 | 30.40  | 64.97  | 94.89  |
| 1985 | 137.56 | 125.78 | 73.44  | 36.23  | 5.46  | 2.02  | 2.94  | 33.11 | 74.70 | 67.45  | 108.08 | 98.17  |
| 1986 | 124.61 | 132.67 | 238.01 | 138.77 | 30.48 | 5.09  | 16.50 | 39.60 | 50.46 | 65.77  | 64.41  | 138.19 |
| 1987 | 69.71  | 103.70 | 71.25  | 22.07  | 9.97  | 36.47 | 22.31 | 4.00  | 15.03 | 54.04  | 95.66  | 106.68 |
| 1988 | 224.48 | 87.67  | 138.68 | 86.74  | 39.96 | 1.13  | 5.36  | 1.71  | 7.73  | 41.60  | 43.61  | 64.16  |
| 1989 | 105.78 | 97.10  | 90.73  | 79.98  | 33.90 | 23.41 | 3.04  | 21.19 | 51.30 | 147.91 | 55.72  | 51.88  |
| 1990 | 88.89  | 19.09  | 53.76  | 45.86  | 40.31 | 70.78 | 3.35  | 10.35 | 70.38 | 97.00  | 126.61 | 118.42 |
| 1991 | 120.75 | 113.04 | 242.28 | 43.02  | 1.58  | 4.69  | 0.00  | 0.00  | 81.75 | 193.08 | 100.83 | 26.34  |
| 1992 | 149.14 | 81.48  | 162.73 | 36.09  | 17.47 | 19.10 | 7.38  | 42.31 | 18.34 | 60.03  | 86.20  | 59.45  |
| 1993 | 199.76 | 180.51 | 228.21 | 134.83 | 44.31 | 10.46 | 0.32  | 32.03 | 50.66 | 142.21 | 230.29 | 332.14 |
| 1994 | 155.66 | 162.49 | 91.89  | 30.34  | 8.09  | 2.60  | 1.27  | 0.33  | 15.63 | 116.72 | 51.57  | 87.73  |
| 1995 | 129.81 | 103.54 | 113.37 | 48.74  | 40.30 | 6.76  | 13.01 | 0.00  | 35.19 | 36.98  | 44.28  | 83.59  |
| 1996 | 89.10  | 59.17  | 76.29  | 108.27 | 44.02 | 4.72  | 7.20  | 16.26 | 31.70 | 68.83  | 88.50  | 67.52  |
| 1997 | 114.46 | 140.44 | 68.71  | 38.47  | 31.32 | 13.64 | 1.71  | 38.83 | 41.77 | 69.18  | 77.38  | 158.52 |
| 1998 | 216.75 | 165.81 | 140.89 | 41.25  | 14.51 | 15.69 | 1.71  | 6.72  | 19.51 | 72.54  | 95.59  | 103.52 |
| 1999 | 146.08 | 175.93 | 187.08 | 108.03 | 29.28 | 14.17 | 20.75 | 10.04 | 48.54 | 51.08  | 77.43  | 114.45 |
| 2000 | 112.17 | 127.69 | 241.42 | 65.59  | 20.25 | 17.67 | 25.13 | 49.50 | 26.68 | 58.79  | 66.67  | 125.22 |
| 2001 | 173.97 | 149.70 | 141.68 | 58.57  | 37.92 | 9.56  | 25.82 | 20.13 | 25.00 | 74.33  | 103.25 | 126.23 |
| 2002 | 43.23  | 130.22 | 145.56 | 75.07  | 31.69 | 1.91  | 43.09 | 11.41 | 42.37 | 106.85 | 119.70 | 71.38  |
| 2003 | 111.74 | 95.84  | 178.12 | 71.95  | 32.36 | 12.30 | 2.26  | 32.87 | 35.91 | 38.81  | 97.25  | 194.60 |
| 2004 | 33.70  | 110.86 | 110.33 | 25.03  | 64.16 | 28.42 | 17.89 | 44.52 | 48.74 | 108.15 | 67.00  | 153.58 |

|        |        |        |        |        |       |       |       |       |       |        |        |        |
|--------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|
| 2005   | 80.20  | 134.75 | 143.20 | 40.68  | 3.87  | 0.00  | 9.47  | 13.57 | 14.62 | 105.53 | 57.71  | 152.79 |
| 2006   | 171.43 | 95.28  | 153.72 | 68.31  | 12.06 | 21.23 | 0.32  | 3.66  | 35.31 | 136.45 | 97.73  | 141.86 |
| 2007   | 134.32 | 29.69  | 194.94 | 74.33  | 43.06 | 2.05  | 15.53 | 5.26  | 20.22 | 122.04 | 75.98  | 87.12  |
| 2008   | 133.87 | 157.89 | 102.66 | 117.15 | 18.65 | 11.13 | 3.54  | 9.34  | 75.40 | 67.77  | 62.05  | 141.08 |
| 2009   | 175.10 | 172.55 | 138.96 | 107.42 | 30.06 | 15.96 | 36.12 | 19.85 | 31.63 | 74.06  | 119.46 | 179.45 |
| 2010   | 60.16  | 172.43 | 165.39 | 54.30  | 16.23 | 1.91  | 10.12 | 2.91  | 39.36 | 85.57  | 95.50  | 106.19 |
| 2011   | 144.40 | 149.48 | 176.63 | 91.81  | 40.17 | 9.23  | 24.88 | 4.46  | 33.49 | 105.27 | 87.40  | 169.31 |
| 2012   | 174.95 | 199.60 | 93.51  | 138.65 | 26.02 | 18.30 | 6.57  | 11.29 | 11.59 | 97.05  | 123.86 | 233.76 |
| 2013   | 134.04 | 182.24 | 214.35 | 92.45  | 28.39 | 33.59 | 52.83 | 41.34 | 19.43 | 112.77 | 86.14  | 131.85 |
| 2014   | 148.98 | 172.95 | 166.70 | 100.45 | 71.88 | 4.66  | 18.49 | 18.52 | 73.87 | 79.69  | 76.46  | 187.26 |
| 2015   | 193.57 | 151.92 | 152.25 | 74.12  | 89.97 | 15.92 | 8.50  | 6.18  | 7.36  | 31.48  | 105.28 | 94.46  |
| 2016   | 108.08 | 141.87 | 67.04  | 60.53  | 8.24  | 11.55 | 5.77  | 32.94 | 12.93 | 75.23  | 118.29 | 98.01  |
| 2017   | 183.84 | 134.60 | 171.47 | 80.00  | 32.63 | 9.43  | 11.03 | 17.16 | 24.98 | 42.51  | 82.39  | 168.63 |
| 2018   | 153.19 | 124.82 | 156.77 | 89.98  | 8.84  | 31.95 | 23.74 | 32.33 | 19.61 | 176.71 | 54.41  | 104.37 |
| 2019   | 226.80 | 130.79 | 156.38 | 48.96  | 41.35 | 17.05 | 20.00 | 4.09  | 23.95 | 82.30  | 96.01  | 235.37 |
|        | Ene    | Feb    | Mar    | Abr    | May   | Jun   | Jul   | Ago   | Set   | Oct    | Nov    | Dic    |
| Media  | 130.76 | 134.24 | 140.34 | 67.82  | 28.04 | 13.76 | 12.42 | 16.95 | 33.16 | 84.08  | 89.15  | 126.37 |
| Máxima | 226.80 | 278.87 | 242.28 | 138.77 | 89.97 | 70.78 | 52.83 | 49.50 | 81.75 | 193.08 | 230.29 | 332.14 |
| Mínima | 33.70  | 19.09  | 53.76  | 10.52  | 1.58  | 0.00  | 0.00  | 0.00  | 6.89  | 30.40  | 43.61  | 26.34  |

*Fuente:* Elaborado por el tesista en base al SENAMHI.

## ANEXO 5

### CAUDALES MEDIOS MENSUALES

| Año   | Ene   | Feb   | Mar   | Abr   | May   | Jun  | Jul  | Ago  | Set  | Oct   | Nov   | Dic   |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|------|------|-------|-------|-------|
| 2003  | 12.08 | 9.20  | 22.46 | 8.77  | 3.10  | 0.84 | 0.34 | 0.25 | 0.34 | 0.40  | 2.31  | 5.19  |
| 2004  | 13.71 | 12.61 | 25.56 | 7.94  | 2.13  | 1.04 | 0.47 | 0.39 | 0.59 | 3.15  | 5.63  | 6.68  |
| 2005  | 11.06 | 10.29 | 20.93 | 5.00  | 1.27  | 0.69 | 0.50 | 0.35 | 0.37 | 1.08  | 0.93  | 5.61  |
| 2006  | 11.15 | 12.12 | 19.20 | 18.32 | 2.17  | 1.61 | 0.90 | 0.81 | 0.68 | 1.64  | 4.32  | 8.69  |
| 2007  | 10.88 | 8.77  | 17.76 | 11.28 | 4.60  | 2.25 | 1.79 | 1.33 | 1.27 | 2.95  | 4.28  | 3.98  |
| 2008  | 11.06 | 10.10 | 20.93 | 10.48 | 2.92  | 1.69 | 1.26 | 1.17 | 1.51 | 2.42  | 3.56  | 8.38  |
| 2009  | 13.15 | 22.46 | 27.48 | 13.71 | 8.35  | 4.04 | 2.49 | 1.97 | 1.74 | 2.31  | 4.86  | 12.08 |
| 2010  | 16.75 | 18.76 | 25.73 | 15.49 | 10.57 | 7.55 | 4.30 | 2.88 | 4.58 | 6.45  | 10.10 | 12.08 |
| 2011  | 22.46 | 19.47 | 28.38 | 25.73 | 12.08 | 8.77 | 3.32 | 1.81 | 2.68 | 6.45  | 11.06 | 16.11 |
| 2012  | 19.47 | 24.06 | 27.48 | 17.40 | 14.88 | 6.45 | 3.79 | 1.52 | 1.04 | 3.32  | 7.94  | 9.22  |
| 2013  | 20.93 | 19.47 | 26.51 | 22.46 | 7.94  | 4.53 | 2.88 | 1.27 | 2.13 | 3.10  | 4.86  | 14.29 |
| 2014  | 16.11 | 17.40 | 26.60 | 13.71 | 9.20  | 6.45 | 2.13 | 1.52 | 1.15 | 1.52  | 4.58  | 11.06 |
| 2015  | 20.93 | 20.19 | 30.24 | 25.73 | 13.15 | 6.45 | 4.30 | 2.68 | 3.55 | 2.31  | 5.15  | 8.35  |
| 2016  | 16.75 | 13.71 | 21.69 | 13.71 | 1.30  | 0.90 | 0.80 | 0.78 | 0.70 | 1.54  | 1.45  | 4.33  |
| 2017  | 15.91 | 11.59 | 26.78 | 15.82 | 7.16  | 3.21 | 2.09 | 1.59 | 1.71 | 1.68  | 3.96  | 9.33  |
| 2018  | 20.73 | 16.44 | 23.80 | 20.08 | 6.62  | 3.86 | 2.61 | 2.44 | 1.78 | 10.26 | 8.11  | 9.36  |
| 2019  | 20.95 | 29.30 | 34.93 | 18.43 | 9.67  | 6.26 | 5.26 | 3.95 | 3.96 | 5.50  | 9.47  | 18.76 |
| Media | 16.12 | 16.23 | 25.09 | 15.53 | 6.89  | 3.92 | 2.31 | 1.57 | 1.75 | 3.30  | 5.45  | 9.62  |
| Máy.  | 22.46 | 29.30 | 34.93 | 25.73 | 14.88 | 8.77 | 5.26 | 3.95 | 4.58 | 10.26 | 11.06 | 18.76 |
| Mín.  | 10.88 | 8.77  | 17.76 | 5.00  | 1.27  | 0.69 | 0.34 | 0.25 | 0.34 | 0.40  | 0.93  | 3.98  |

*Fuente:* Elaborado por el tesista en base al SENAMHI.

## **ANEXO 6**

### **DATOS POBLACIONALES**

Cálculo de la población futura del ámbito atendido por la EPS SEDA HUANUCO S.A. en los distritos de Huánuco, Amarilis y Pillco Marca, considerando los datos poblacionales del censo nacional 1993, 2007 y 2017 (fuente INEI).

| <b>AÑO</b>  | <b>Urbana</b> | <b>Rural</b> | <b>TOTAL</b> |
|-------------|---------------|--------------|--------------|
| <b>1993</b> | 118,814.00    | 16,624.00    | 135,438.00   |
| <b>2007</b> | 149,210.00    | 17,077.00    | 166,287.00   |
| <b>2017</b> | 202,016.00    | 12,765.00    | 214,781.00   |

FUENTE INEI

Resumen del Censo poblacional de los años 1993, 2003 y 2017 (Para el estudio se considera las poblaciones de Huánuco, Amarilis y Pillco Marca).

| Provincia, distrito     | Total   | Población |         | Total   | Urbana  |         | Total   | Rural   |         |
|-------------------------|---------|-----------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
|                         |         | Hombres   | Mujeres |         | Hombres | Mujeres |         | Hombres | Mujeres |
| <b>DEP. HUANUCO</b>     | 721,047 | 357,169   | 363,878 | 375,432 | 184,032 | 191,400 | 345,615 | 173,137 | 172,478 |
| <b>PROV. HUANUCO</b>    | 293,397 | 143,850   | 149,547 | 210,539 | 102,843 | 107,696 | 82,858  | 41,007  | 41,851  |
| <b>Distritos</b>        |         |           |         |         |         |         |         |         |         |
| Huánuco                 | 89,502  | 43,060    | 46,442  | 84,612  | 40,634  | 43,978  | 4,890   | 2,426   | 2,464   |
| Amarilis                | 81,461  | 39,188    | 42,273  | 76,333  | 36,620  | 39,713  | 5,128   | 2,568   | 2,560   |
| Pillco Marca            | 43,818  | 22,810    | 21,008  | 41,071  | 21,449  | 19,622  | 2,747   | 1,361   | 1,386   |
| Chinchao                | 13,135  | 6,533     | 6,602   | 3,496   | 1,654   | 1,842   | 9,639   | 4,879   | 4,760   |
| Churubamba              | 15,670  | 7,596     | 8,074   | 2,933   | 1,464   | 1,469   | 12,737  | 6,132   | 6,605   |
| Margos                  | 4,364   | 2,097     | 2,267   | -       | -       | -       | 4,364   | 2,097   | 2,267   |
| Quisqui                 | 3,453   | 1,713     | 1,740   | -       | -       | -       | 3,453   | 1,713   | 1,740   |
| San Francisco de Cayrán | 4,788   | 2,420     | 2,368   | -       | -       | -       | 4,788   | 2,420   | 2,368   |
| San Pedro de Chaulan    | 2,789   | 1,372     | 1,417   | -       | -       | -       | 2,789   | 1,372   | 1,417   |
| Santa María del Valle   | 19,226  | 9,489     | 9,737   | -       | -       | -       | 19,226  | 9,489   | 9,737   |
| Yarumayo                | 1,545   | 757       | 788     | -       | -       | -       | 1,545   | 757     | 788     |
| Yacus                   | 5,296   | 2,605     | 2,691   | 2,094   | 1,022   | 1,072   | 3,202   | 1,583   | 1,619   |
| San Pablo de Pillao     | 8,350   | 4,210     | 4,140   | -       | -       | -       | 8,350   | 4,210   | 4,140   |

*Fuente:* Elaborado en base a datos del INEI 1993, 2007 y 2017

## ANEXO 7

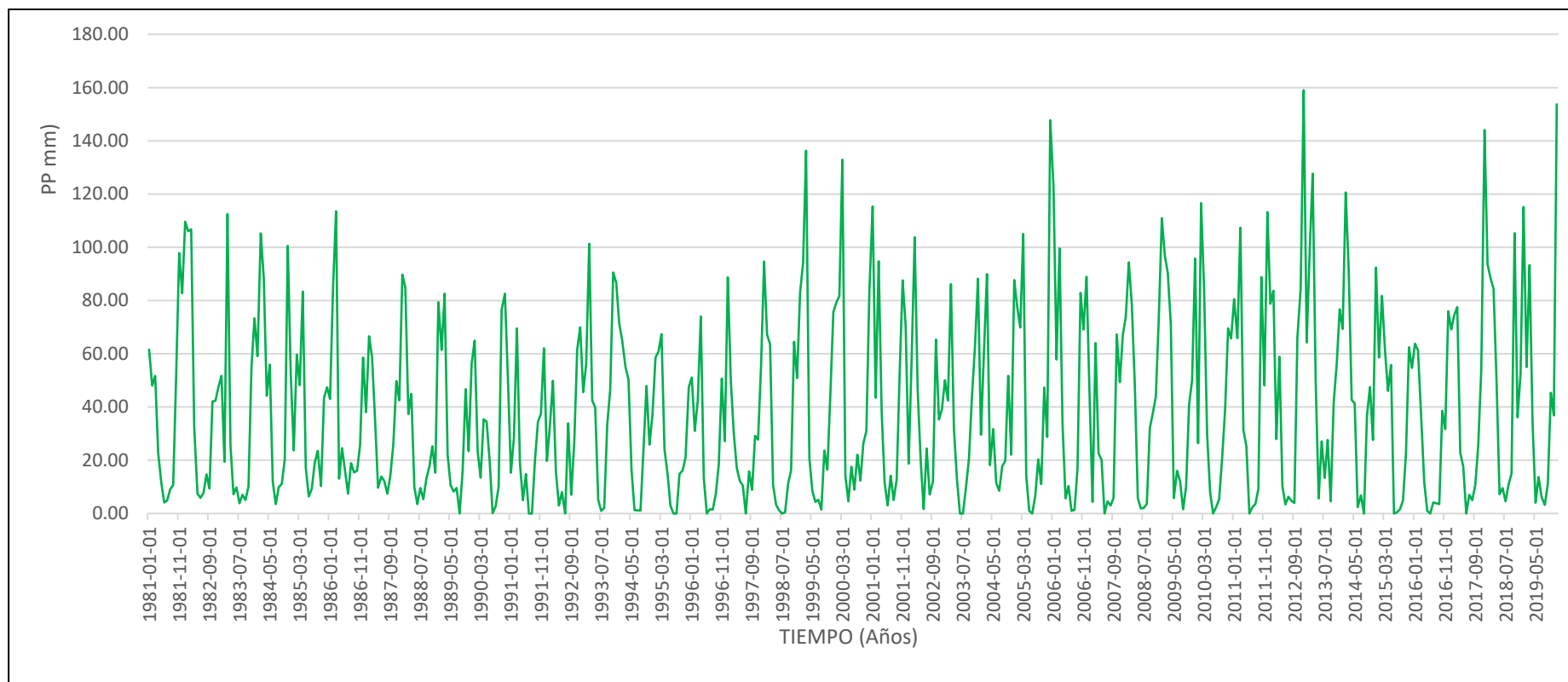
### VALIDACIÓN DE DATOS CLIMÁTICOS

*Análisis de doble masa de precipitación total anual de las estaciones Jacas Chico, Canchán y Huánuco.*

| Precipitación Total Anual (mm) |         |         |             | Promedio | Precipitación Total Anual Acumulado (mm) |          |          |             |
|--------------------------------|---------|---------|-------------|----------|------------------------------------------|----------|----------|-------------|
| Año                            | Canchán | Huánuco | Jacas chico |          | Promedio                                 | Canchán  | Huánuco  | Jacas chico |
| 1981                           | 457.68  | 427.94  | 675.50      | 520.37   | 520.37                                   | 457.68   | 427.94   | 675.50      |
| 1982                           | 532.19  | 504.80  | 771.00      | 602.66   | 1,123.04                                 | 989.88   | 932.74   | 1,446.50    |
| 1983                           | 380.87  | 348.70  | 786.70      | 505.42   | 1,628.46                                 | 1,370.74 | 1,281.44 | 2,233.20    |
| 1984                           | 562.53  | 536.10  | 862.90      | 653.84   | 2,282.31                                 | 1,933.28 | 1,817.54 | 3,096.10    |
| 1985                           | 391.84  | 360.02  | 937.80      | 563.22   | 2,845.53                                 | 2,325.12 | 2,177.56 | 4,033.90    |
| 1986                           | 437.09  | 406.70  | 1,326.00    | 723.26   | 3,568.79                                 | 2,762.21 | 2,584.26 | 5,359.90    |
| 1987                           | 374.57  | 342.20  | 720.36      | 479.04   | 4,047.83                                 | 3,136.78 | 2,926.46 | 6,080.26    |
| 1988                           | 356.54  | 323.60  | 921.80      | 533.98   | 4,581.81                                 | 3,493.32 | 3,250.06 | 7,002.06    |
| 1989                           | 416.49  | 428.70  | 922.00      | 589.06   | 5,170.88                                 | 3,909.80 | 3,678.76 | 7,924.06    |
| 1990                           | 414.34  | 436.40  | 897.90      | 582.88   | 5,753.76                                 | 4,324.14 | 4,115.16 | 8,821.96    |
| 1991                           | 305.66  | 330.70  | 1,215.40    | 617.25   | 6,371.01                                 | 4,629.80 | 4,445.86 | 10,037.36   |
| 1992                           | 327.98  | 426.70  | 930.50      | 561.73   | 6,932.74                                 | 4,957.78 | 4,872.56 | 10,967.86   |
| 1993                           | 550.98  | 392.50  | 1,965.10    | 969.53   | 7,902.26                                 | 5,508.76 | 5,265.06 | 12,932.96   |
| 1994                           | 397.00  | 397.76  | 875.97      | 556.91   | 8,459.17                                 | 5,905.76 | 5,662.82 | 13,808.93   |
| 1995                           | 328.05  | 310.20  | 807.29      | 481.85   | 8,941.02                                 | 6,233.81 | 5,973.02 | 14,616.22   |
| 1996                           | 318.80  | 331.40  | 820.37      | 490.19   | 9,431.21                                 | 6,552.61 | 6,304.42 | 15,436.59   |
| 1997                           | 346.00  | 285.40  | 1,002.20    | 544.53   | 9,975.74                                 | 6,898.61 | 6,589.82 | 16,438.79   |
| 1998                           | 384.00  | 365.80  | 1,131.00    | 626.93   | 10,602.67                                | 7,282.61 | 6,955.62 | 17,569.79   |
| 1999                           | 514.70  | 514.90  | 1,199.75    | 743.12   | 11,345.79                                | 7,797.31 | 7,470.52 | 18,769.54   |
| 2000                           | 514.80  | 542.50  | 1,132.30    | 729.87   | 12,075.66                                | 8,312.11 | 8,013.02 | 19,901.84   |

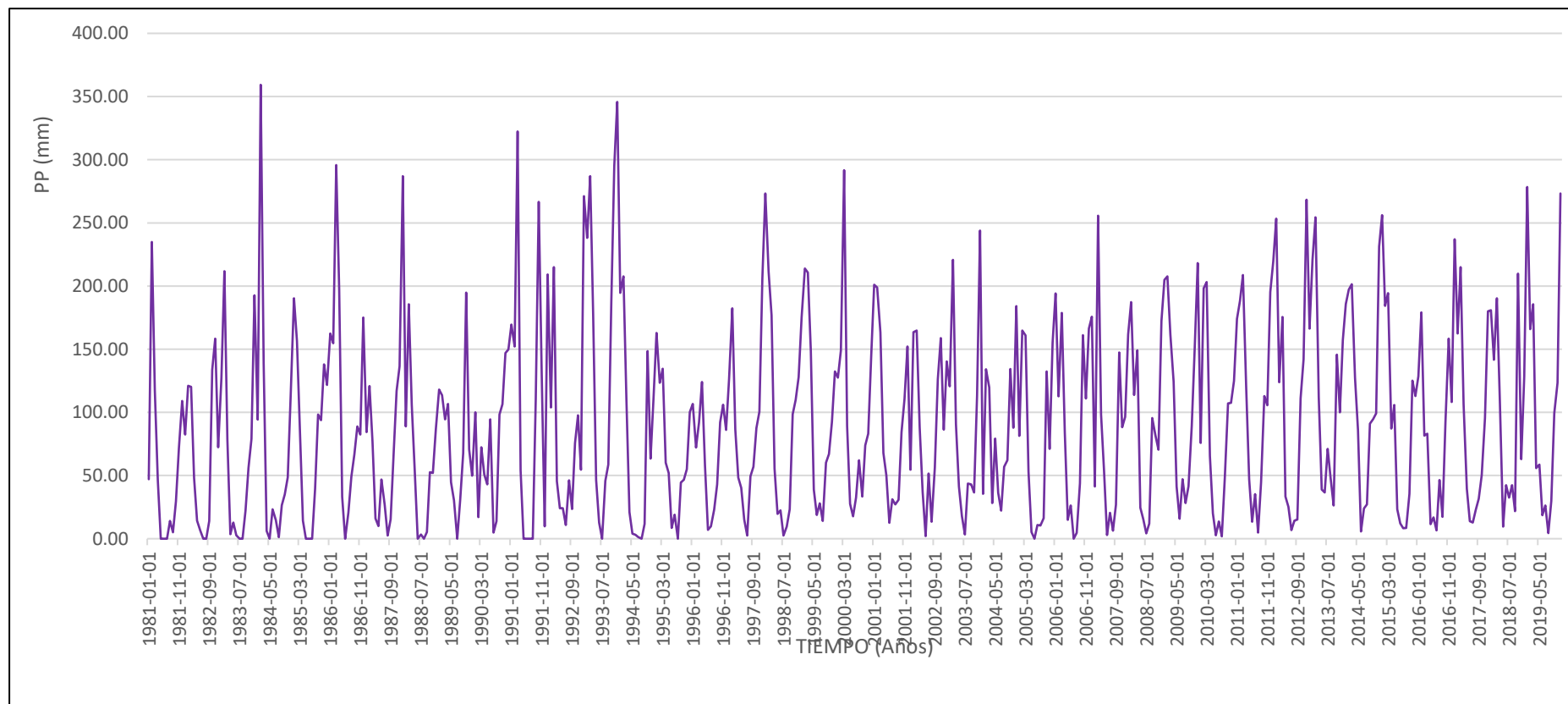
|      |        |        |          |        |           |           |           |           |
|------|--------|--------|----------|--------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 2001 | 549.10 | 417.90 | 1,130.10 | 699.03 | 12,774.69 | 8,861.21  | 8,430.92  | 21,031.94 |
| 2002 | 432.60 | 442.80 | 1,003.08 | 626.16 | 13,400.85 | 9,293.81  | 8,873.72  | 22,035.02 |
| 2003 | 448.30 | 380.90 | 1,115.13 | 648.11 | 14,048.96 | 9,742.11  | 9,254.62  | 23,150.16 |
| 2004 | 449.10 | 389.80 | 980.70   | 606.53 | 14,655.50 | 10,191.21 | 9,644.42  | 24,130.86 |
| 2005 | 529.50 | 385.00 | 861.50   | 592.00 | 15,247.50 | 10,720.71 | 10,029.42 | 24,992.36 |
| 2006 | 590.10 | 509.40 | 1,098.25 | 732.58 | 15,980.08 | 11,310.81 | 10,538.82 | 26,090.61 |
| 2007 | 353.30 | 354.50 | 1,013.60 | 573.80 | 16,553.88 | 11,664.11 | 10,893.32 | 27,104.21 |
| 2008 | 495.80 | 449.80 | 1,088.00 | 677.87 | 17,231.75 | 12,159.91 | 11,343.12 | 28,192.21 |
| 2009 | 601.90 | 470.90 | 1,331.67 | 801.49 | 18,033.24 | 12,761.81 | 11,814.02 | 29,523.88 |
| 2010 | 467.90 | 413.70 | 968.60   | 616.73 | 18,649.97 | 13,229.71 | 12,227.72 | 30,492.48 |
| 2011 | 575.70 | 617.30 | 1,250.00 | 814.33 | 19,464.31 | 13,805.41 | 12,845.02 | 31,742.48 |
| 2012 | 587.90 | 598.10 | 1,388.70 | 858.23 | 20,322.54 | 14,393.31 | 13,443.12 | 33,131.18 |
| 2013 | 593.10 | 494.60 | 1,377.90 | 821.87 | 21,144.41 | 14,986.41 | 13,937.72 | 34,509.08 |
| 2014 | 579.40 | 520.10 | 1,370.30 | 823.27 | 21,967.67 | 15,565.81 | 14,457.82 | 35,879.38 |
| 2015 | 450.60 | 425.10 | 1,153.57 | 676.42 | 22,644.10 | 16,016.41 | 14,882.92 | 37,032.96 |
| 2016 | 331.25 | 307.20 | 930.07   | 522.84 | 23,166.94 | 16,347.66 | 15,190.12 | 37,963.03 |
| 2017 | 508.20 | 497.50 | 1,167.40 | 724.37 | 23,891.30 | 16,855.86 | 15,687.62 | 39,130.43 |
| 2018 | 557.40 | 570.90 | 1,171.00 | 766.43 | 24,657.74 | 17,413.26 | 16,258.52 | 40,301.43 |
| 2019 | 572.00 | 566.10 | 1,319.79 | 819.30 | 25,477.03 | 17,985.26 | 16,824.62 | 41,621.22 |

*Hidrograma de Precipitación total anual (mm) – Estación meteorológica de Canchán. Período 1981-2019*



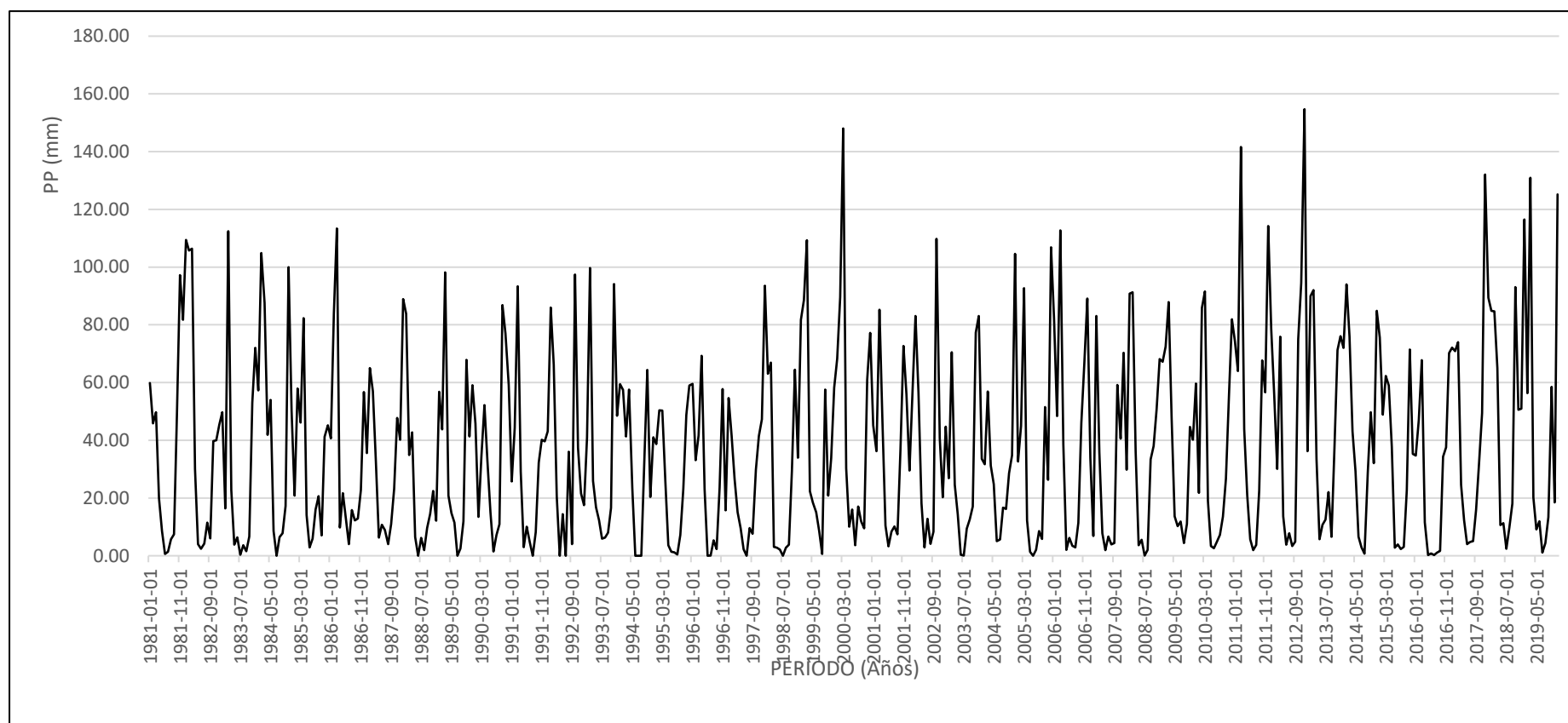
**NOTA:** Se aprecia la representación gráfica de la precipitación total mensual período 1981-2019 de la estación meteorológica de Canchán, donde la línea verde muestra los períodos de mayor precipitación.

*Hidrograma de Precipitación total anual (mm) – Estación meteorológica de Jacas Chico. Período 1981-2019.*



**NOTA:** Se aprecia la representación gráfica de la precipitación total mensual período 1981-2019 de la estación meteorológica de Jacas Chico, donde la línea de color morado muestra los períodos de mayor precipitación.

*Hidrograma de Precipitación total anual (mm) – Estación meteorológica de Huánuco. Período 1981-2019.*



**NOTA:** Se aprecia la representación gráfica de la precipitación total mensual período 1981-2019 de la estación meteorológica de Huánuco, donde la línea de color negro muestra los períodos de mayor precipitación.

## ANEXO 8

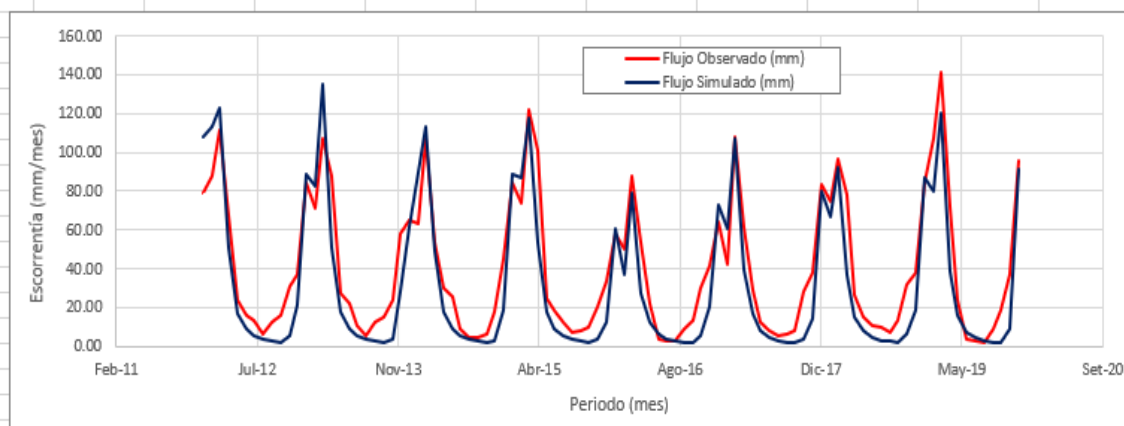
### MODELAMIENTO HIDROLOGICO GR2M

|    | A                                                                                                                                                                                                                        | B | C | D           | E      | F | G | H | I | J | K | L | M | N | O | P |
|----|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|---|-------------|--------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1  | Modelo de flujo de lluvia mensual GR2M (Versión de Mouelhi et al., 2006)                                                                                                                                                 |   |   |             |        |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 2  | (Rq: solo se modifican las celdas en amarillo, las otras se derivan de los cálculos, las fórmulas de las celdas F41 a AE41 se deben copiar en las siguientes líneas para los cálculos de los siguientes pasos de tiempo) |   |   |             |        |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 3  |                                                                                                                                                                                                                          |   |   |             |        |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 4  |                                                                                                                                                                                                                          |   |   |             |        |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 5  |                                                                                                                                                                                                                          |   |   |             |        |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 6  |                                                                                                                                                                                                                          |   |   |             |        |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 7  | Nombre de Cuenca                                                                                                                                                                                                         |   |   | Higueras    |        |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 8  |                                                                                                                                                                                                                          |   |   |             |        |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 9  | Superficie de Cuenca (km²)                                                                                                                                                                                               |   |   | 663         |        |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 10 |                                                                                                                                                                                                                          |   |   |             |        |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 11 | Parámetros del modelo                                                                                                                                                                                                    |   |   | Transforma. | Real   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 12 | x1: Capacidad de Res. de Produccion (mm)                                                                                                                                                                                 |   |   | 4.90        | 133.74 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 13 | x2: Parámetro de intercambio (mm)                                                                                                                                                                                        |   |   | 1.04        | 1.04   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 14 |                                                                                                                                                                                                                          |   |   |             |        |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 15 | Valores iniciales                                                                                                                                                                                                        |   |   |             |        |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 16 | Nivel de llenado inicial So (max.: x1 mm)                                                                                                                                                                                |   |   | 66.87       |        |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 17 | Nivel de llenado inicial Ro (max.: 60 mm)                                                                                                                                                                                |   |   | 30          |        |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 18 |                                                                                                                                                                                                                          |   |   |             |        |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 19 | Periodo                                                                                                                                                                                                                  |   |   |             |        |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 20 | Duración del período de puesta en marcha (meses)                                                                                                                                                                         |   |   | 12          |        |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 21 | Duración del período de prueba (meses)                                                                                                                                                                                   |   |   | 59          |        |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 22 | Fecha de Salida                                                                                                                                                                                                          |   |   | 01/2013     |        |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 23 | Fecha Final                                                                                                                                                                                                              |   |   | 12/2017     |        |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 24 |                                                                                                                                                                                                                          |   |   |             |        |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 25 | Precipitación promedio observada (mm / mes)                                                                                                                                                                              |   |   | 73.9        |        |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 26 | Promedio de ETP observados (mm / mes)                                                                                                                                                                                    |   |   | 96.3        |        |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 27 | Caudales promedio observados (mm / mes)                                                                                                                                                                                  |   |   | 37.7        |        |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 28 | Raíces promedio de los flujos observados                                                                                                                                                                                 |   |   | 5.5         |        |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 29 | Registro promedio de tasas de flujo observadas                                                                                                                                                                           |   |   | 3.2         |        |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 30 |                                                                                                                                                                                                                          |   |   |             |        |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 31 | Criterios de eficiencia (%)                                                                                                                                                                                              |   |   |             |        |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 32 | Nash(Q)                                                                                                                                                                                                                  |   |   | 78.5        |        |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 33 | Nash(VQ)                                                                                                                                                                                                                 |   |   | 67.2        |        |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 34 | Nash(ln(Q))                                                                                                                                                                                                              |   |   | 33.3        |        |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 35 | Bilan                                                                                                                                                                                                                    |   |   | 80.4        |        |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 36 |                                                                                                                                                                                                                          |   |   |             |        |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |

x1: Capacidad de almacenamiento de reservorio (mm)

x2: Parámetro de intercambio de agua subterránea (mm)

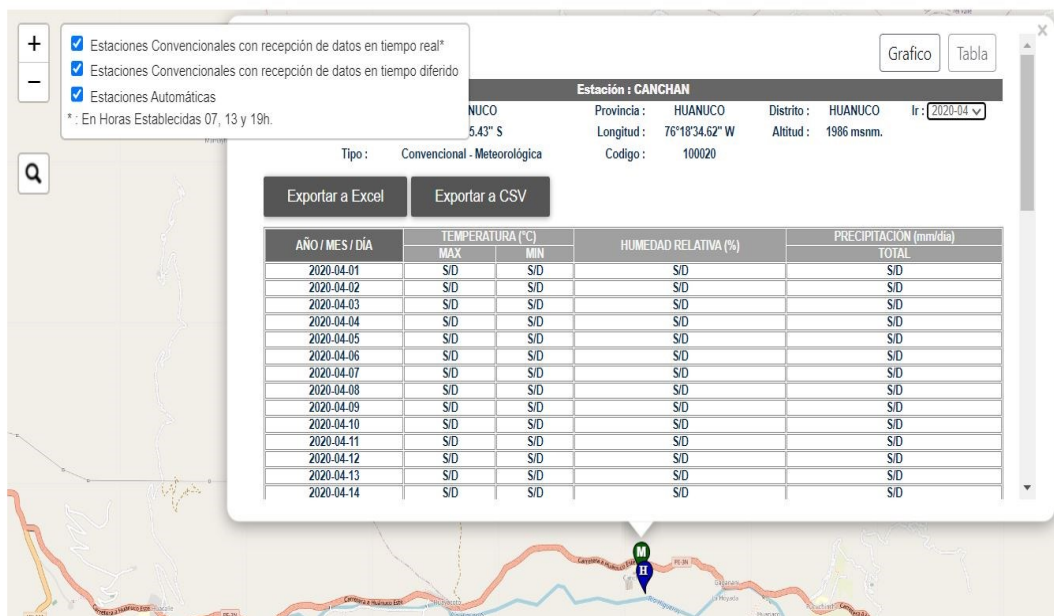
x1: Capacidad de almacenamiento de reservorio (mm)  
x2: Parámetro de intercambio de agua subterránea (mm)



## ANEXO 9

### DATOS DE SENAMHI

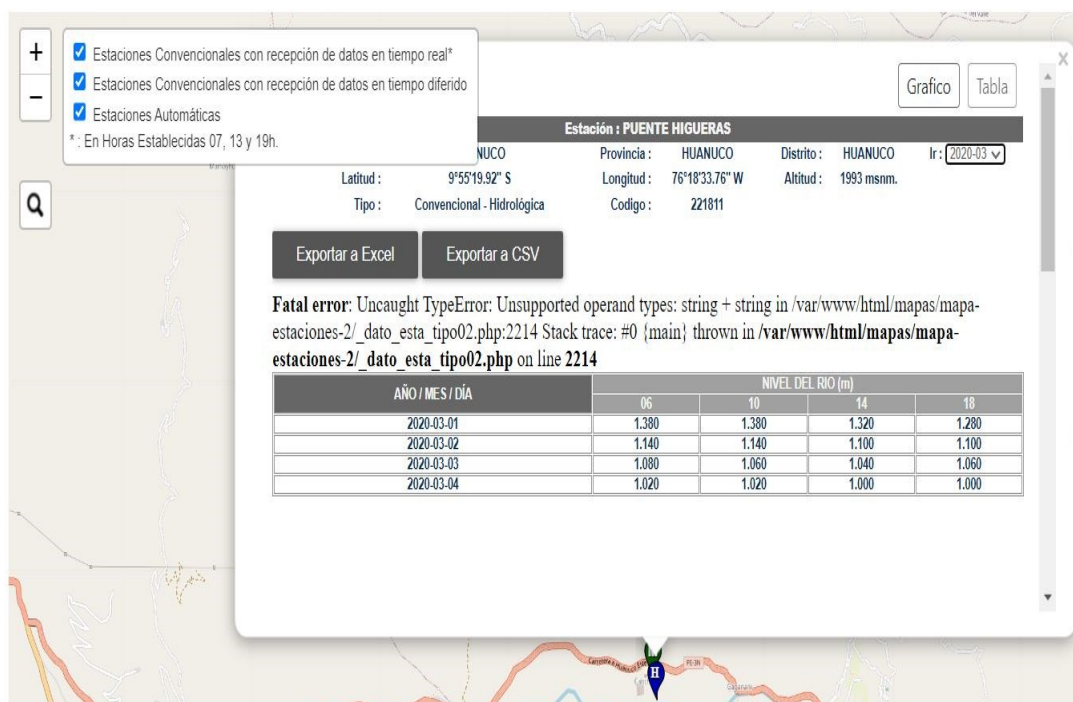
#### Datos Hidrometeorológicos a nivel nacional



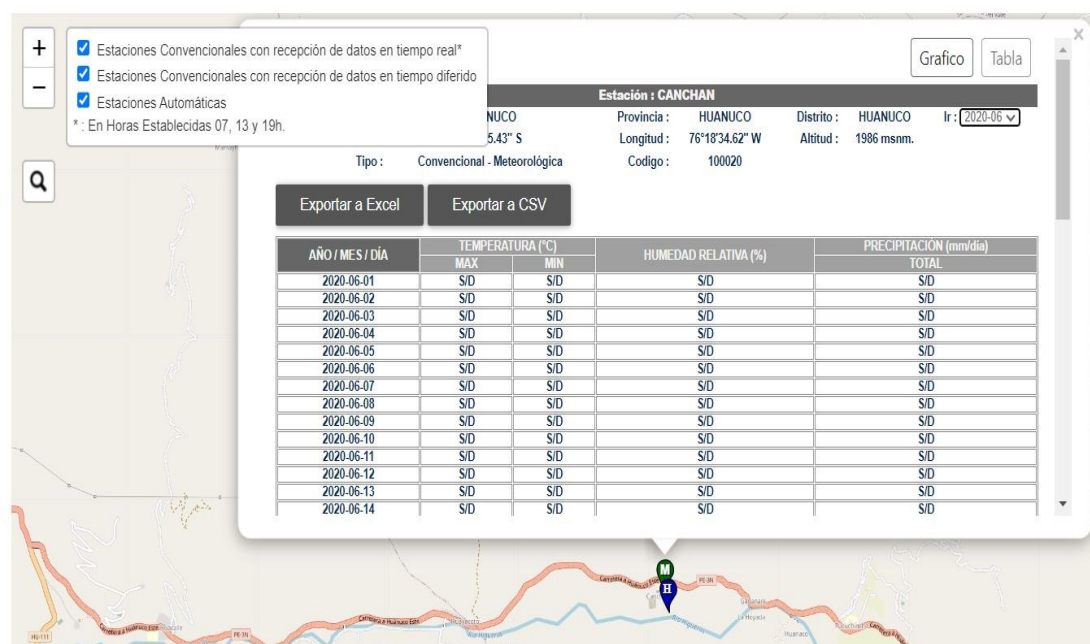
#### Datos Hidrometeorológicos a nivel nacional



## Datos Hidrometeorológicos a nivel nacional



## Datos Hidrometeorológicos a nivel nacional



## Datos Hidrometeorológicos a nivel nacional

☒ Estaciones Convencionales con recepción de datos en tiempo real\*

☒ Estaciones Convencionales con recepción de datos en tiempo diferido

☒ Estaciones Automáticas

\*: En Horas Establecidas 07, 13 y 19h.

Estación : PUENTE HIGUERAS

NUCO Provincia : HUANUCO Distrito : HUANUCO Ir: 2020-04

Latitud : 9°55'19.92" S Longitud : 76°18'33.76" W Altitud : 1993 msnm.

Tipo : Convencional - Hidrológica Código : 221811

Exportar a Excel Exportar a CSV

**Fatal error:** Uncaught TypeError: Unsupported operand types: string + string in /var/www/html/mapas/mapa-estaciones-2/\_dato\_esta\_tipo02.php:2214 Stack trace: #0 {main} thrown in /var/www/html/mapas/mapa-estaciones-2/\_dato\_esta\_tipo02.php on line 2214

| AÑO / MES / DÍA | NIVEL DEL RIO (m) |    |    |    |
|-----------------|-------------------|----|----|----|
|                 | 06                | 10 | 14 | 18 |

## Datos Hidrometeorológicos a nivel nacional

☒ Estaciones Convencionales con recepción de datos en tiempo real\*

☒ Estaciones Convencionales con recepción de datos en tiempo diferido

☒ Estaciones Automáticas

\*: En Horas Establecidas 07, 13 y 19h.

Estación : PUENTE HIGUERAS

NUCO Provincia : HUANUCO Distrito : HUANUCO Ir: 2020-05

Latitud : 9°55'19.92" S Longitud : 76°18'33.76" W Altitud : 1993 msnm.

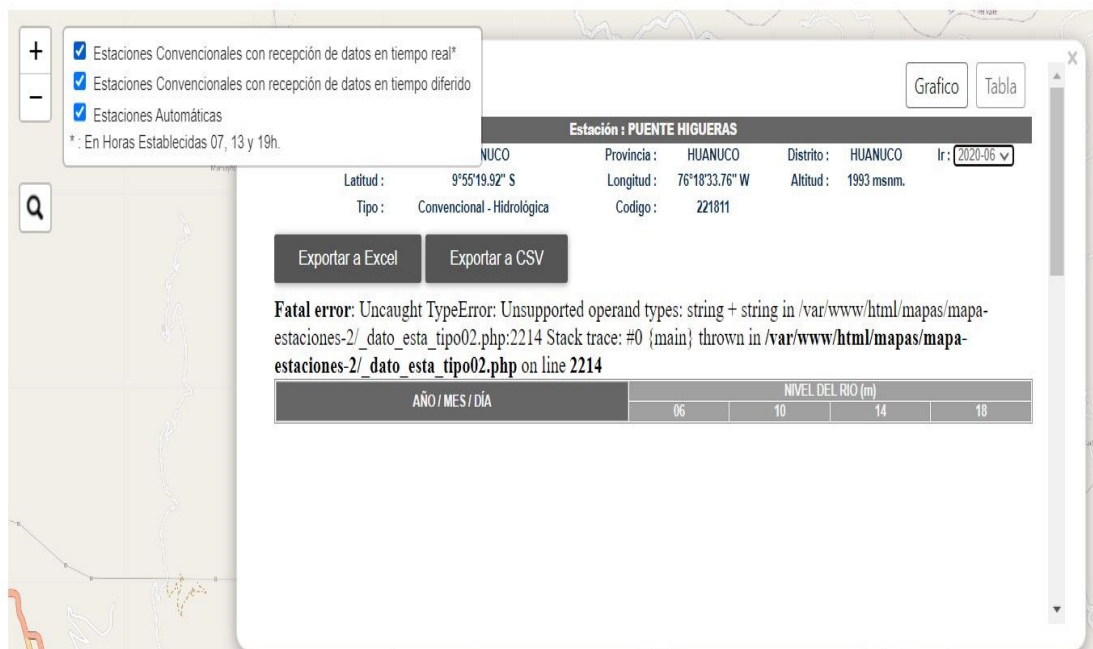
Tipo : Convencional - Hidrológica Código : 221811

Exportar a Excel Exportar a CSV

**Fatal error:** Uncaught TypeError: Unsupported operand types: string + string in /var/www/html/mapas/mapa-estaciones-2/\_dato\_esta\_tipo02.php:2214 Stack trace: #0 {main} thrown in /var/www/html/mapas/mapa-estaciones-2/\_dato\_esta\_tipo02.php on line 2214

| AÑO / MES / DÍA | NIVEL DEL RIO (m) |    |    |    |
|-----------------|-------------------|----|----|----|
|                 | 06                | 10 | 14 | 18 |

## Datos Hidrometeorológicos a nivel nacional



## Datos Hidrometeorológicos a nivel nacional

