



Esta obra está bajo una [Licencia Creative Commons Atribución - 4.0 Internacional \(CC BY 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

Vea una copia de esta licencia en <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.es>





FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

Tesis

Aplicación del modelo hidrológico Lutz Scholz para el cálculo de caudales medios mensuales en la subcuenca del río Gera

Para optar el título profesional de Ingeniero Civil

Autor:

Carlos Enrique López Bendezú
<https://orcid.org/0000-0002-9837-2798>

Asesor:

Dr. José del Carmen Pizarro Baldera
<https://orcid.org/0000-0002-9321-1370>

Tarapoto, Perú

2023



FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

Tesis

Aplicación del modelo hidrológico Lutz Scholz para el cálculo de caudales medios mensuales en la subcuenca del río Gera

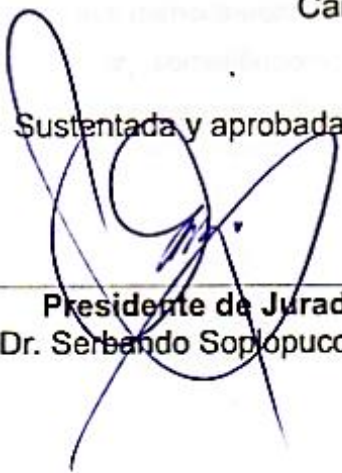
Para optar el título profesional de Ingeniero Civil

20 de julio del 2023,


Autor:

Carlos Enrique López Bendezú


Sustentada y aprobada el 20 de julio del 2023, ante el honorable jurado:



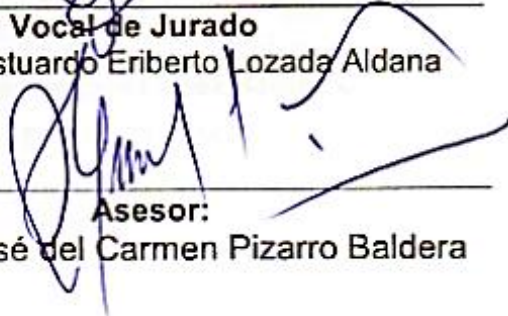
Presidente de Jurado
Ing. Dr. Serbeno Soplopucú Quiroga



Secretario de Jurado
Ing. MSc. Carlos Segundo Huamán Torrejón



Vocal de Jurado
Ing. MSc. Estuardo Eriberto Lozada Aldana



Asesor:
Ing. Dr. José del Carmen Pizarro Baldera

Tarapoto, Perú

2023



Año de la Unidad la Paz y el Desarrollo

*Acta de Sustentación de Trabajo de
Investigación Para Título de
Ingeniero Civil N°....*



Jurado reconocido con Resolución N° 242-2023-UNSM/FICA-CF-NLU
Facultad: Ingeniería Civil y Arquitectura
Escuela profesional de Ingeniería Civil


A las *11:30* del *20 de Julio del 2023* inició al acto público de sustentación del trabajo de investigación "APLICACIÓN DEL MODELO HIDROLÓGICO LUTZ SCHOLZ PARA EL CÁLCULO DE CAUDALES MEDIOS MENSUALES EN LA SUBCUENCA DEL RÍO GERA" para optar el título de Ingeniero Civil, presentado por el Bachiller Carlos Enrique López Bendezú asesoría de Ing. Dr. José del Carmen Pizarro Baldera.


Instalada la Mesa Directiva conformada por Ing. Dr. Serbando Soplopucú Quiroga (presidente del jurado), Ing. MSc. Carlos Segundo Huamán Torrejón (secretario), Ing. MSc. Estuardo Eriberto Lozada Aldana (vocal), y acompañados por Ing. Dr. José del Carmen Pizarro Baldera (asesor); el presidente del jurado dirigió brevemente unas palabras y a continuación el secretario dio lectura a la Circular N° 042-2023-UNSM/FICA


Seguidamente el autor expuso el trabajo de investigación y el jurado realizó las preguntas pertinentes, respondidas por el sustentante y eventualmente, con la venia del jurado, por el asesor. Una vez terminada la ronda de preguntas el jurado procedió a deliberar para determinar la calificación final, para lo cual dispuso un receso de quince (15) minutos, con participación del asesor con voz pero sin voto; sin la presencia del sustentante y otros participantes del acto público. Luego de aplicar los criterios de calificación con estricta observancia del principio de objetividad y de acuerdo con los puntajes en escala vigesimal (de 0 a 20), según el Anexo 4.2 del RG – CTI, la nota de sustentación otorgada resultante del promedio aritmético de los calificativos emitidos por cada uno de los miembros del jurado fue *Aprobado... (15.66)*; tal como se deja constar en la siguiente descripción:

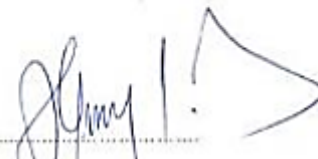
De acuerdo con el Artículo 40° del RG – CTI, la nota obtenida es *15.66* y correspondiente a la calificación de *Aprobado*. Leído este resultado en presencia de todos los participantes del acto de sustentación, el secretario dio lectura a las observaciones subsanables al informe final que el autor deberá corregir y alcanzar al jurado en un plazo de treinta (30) días calendario.

Firman los integrantes de la Mesa Directiva y el autor del trabajo de investigación en señal de conformidad, dando por concluido el acto a las *12:35* hora el mismo día *20 de Julio* de *2023*.


Ing. MSc. Carlos Segundo
Huamán Torrejón
Secretario del Jurado


Ing. Dr. Serbando
Soplopucú Quiroga
Presidente del Jurado


Ing. MSc. Estuardo
Eriberto Lozada Aldana
Vocal del Jurado


Ing. Dr. José del Carmen
Pizarro Baldera
Asesor

Declaratoria de autenticidad

Carlos Enrique López Bendezú, con DNI N° 71870470, bachiller de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería Civil y Arquitectura de la Universidad Nacional de San Martín, autor de la tesis titulada: **Aplicación del modelo hidrológico Lutz Scholz para el cálculo de caudales medios mensuales en la subcuenca del río Gera.**

Declaro bajo juramento que:

1. La tesis presentada es de mi autoría.
2. La redacción fue realizada respetando las citas y referencias de las fuentes bibliográficas consultadas.
3. Toda la información que contiene la tesis no ha sido auto plagiada;
4. Los datos presentados en los resultados son reales, no han sido alterados ni copiados, por tanto, la información de esta investigación debe considerarse como aporte a la realidad investigada.

Por lo antes mencionado, asumo bajo responsabilidad las consecuencias que deriven de mi accionar, sometiéndome a las leyes de nuestro país y normas vigentes de la Universidad Nacional de San Martín.

Tarapoto, 03 de julio del 2023.



.....
Carlos Enrique López Bendezú
DNI N° 71870470

Declaración jurada

Carlos Enrique López Bendezú, con DNI N° 71870470, con domicilio en AA. VV ciudad satélite M.z H. lote 2- Banda de Shilcayo, a efecto de cumplir con las disposiciones vigentes consideradas en el reglamento de Grados y Títulos de la Facultad de Ingeniería Civil y Arquitectura de la Universidad Nacional de San Martín, **Declaro Bajo Juramento** que, toda la documentación y todos los datos e información de la presente tesis, que acompaño es verás y auténtica.

En tal sentido asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de información aportada por lo cual me someto lo dispuesto en las normas académicas de la Universidad Nacional de San Martín.

Tarapoto, 03 de julio del 2023.



.....
Carlos Enrique López Bendezú

DNI N° 71870470

Ficha de identificación

<p>Título del proyecto Aplicación del modelo hidrológico Lutz Scholz para el cálculo de caudales medios mensuales en la subcuenca del río Gera</p>	<p>Área de investigación: Hidráulica Línea de investigación: Estrategias de tecnologías de información y comunicación (TIC) y sistemas constructivos convencionales y no convencionales para el desarrollo sostenible. Sublínea de investigación: Prevención de desastres y conservación de los recursos hídricos Grupo de investigación: Resolución N° 165-2020-UNSM/FICA-D-NLU Tipo de investigación: Básica <input type="checkbox"/>, Aplicada <input checked="" type="checkbox"/>, Desarrollo experimental <input type="checkbox"/></p>
<p>Autor: Carlos Enrique López Bendezú</p>	<p>Facultad de Ingeniería Civil y Arquitectura Escuela Profesional de Ingeniería Civil https://orcid.org/0000-0002-9837-2798</p>
<p>Asesor: Ing. Dr. José del Carmen Pizarro Baldera</p>	<p>Dependencia local de soporte: Facultad de Ingeniería Civil y Arquitectura Escuela Profesional de Ingeniería Civil Unidad o Laboratorio Ingeniería Civil https://orcid.org/0000-0002-9321-1370</p>

Dedicatoria

Dedico este trabajo a mis padres, por estar presentes y alentarme en mi camino personal y profesional.

A mi hermana por su apoyo incondicional.

A mis sobrinas por el apoyo moral.

A todos mis familiares y amigos que confiaron en mí.

Carlos Enrique López Bendezú

Agradecimientos

Ante todo, agradezco a Dios ya que sin Él nada es posible.

Expreso mi agradecimiento a las instituciones que han colaborado en el proceso de elaboración de la presente Tesis:

A la Universidad Nacional de San Martín como Alma Mater de mi formación profesional.

Al Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú Servicio Nacional de por los datos hidrometeorológicos brindados.

A Electro Oriente S.A por facilitar el acceso a sus instalaciones y a la información correspondiente al área de estudio.

A mi Asesor Dr. Ing. José Del Carmen Pizarro Baldera

Carlos Enrique López Bendezú

Índice general

Ficha de identificación.....	6
Dedicatoria.....	7
Agradecimiento	8
Índice general	9
Índice de Tablas.....	11
Índice de Figuras.....	12
RESUMEN	13
ABSTRACT.....	14
CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN A LA INVESTIGACIÓN	15
CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO	18
2.1. Antecedentes de la investigación	18
2.2. Fundamentos teóricos.....	20
2.2.1. El Ciclo Hidrológico	20
2.2.2. Modelo hidrológico	20
2.2.2.1. Método de Lutz Scholz	21
2.2.2.2. Balance hídrico media de la cuenca	22
2.2.2.3. Aforo con vertederos	24
2.2.2.4. Curva Número	24
2.2.2.5. Eficiencia de Nash - Sutcliffe	25
2.2.3. Tratamiento de datos hidrometeorológicos.....	26
2.2.3.1. Análisis de consistencia de la información hidrometeorológicas	26
CAPÍTULO III MATERIALES Y MÉTODOS.....	28
3.1. Ámbito de la investigación.....	28
3.1.1. Contexto de la investigación	28
3.1.1.1. Ubicación Política	28
3.1.1.2. Ubicación Geográfica	29
3.1.2. Periodo de ejecución.....	30
3.1.3. Autorizaciones y permisos	30
3.1.3.1. Autorización de ejecución	30
3.1.3.2. Autorización de uso de datos de SENAMHI	30
3.1.3.3. Autorización de uso de datos y acceso a instalaciones de Electro Oriente S.A.....	31
3.1.4. Control Ambiental y protocolos de bioseguridad	31
3.1.5. Aplicación de principios éticos internacionales.....	31
3.1.5.1. Principio de Beneficencia.....	31
3.1.5.2. Principio de No maleficencia.....	32
3.1.5.3. Principio de Autonomía.....	32

3.1.5.4. Principio de Justicia	32
3.2. Sistema de variables	33
3.2.1. Variables principales	33
3.2.1.1. Variable Dependiente (VD)	33
3.2.1.2. Variables Independientes (VI).....	33
3.2.1.3. Operacionalización de la variable dependiente	33
3.2.2. Variables secundarias.....	34
3.3. Procedimiento de la investigación.	34
3.3.1. Actividades del objetivo específico 1	36
3.3.2. Actividades del objetivo específico 2	42
3.3.3. Actividades del objetivo específico 3	55
CAPÍTULO IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN	71
4.1. Resultados del objetivo específico 1	71
4.2. Resultados del objetivo específico 2	72
4.3. Resultado del objetivo específico 3	73
CONCLUSIONES	77
RECOMENDACIONES	78
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	79
WEBGRAFÍA	81
ANEXOS.....	82

Índice de tablas

Tabla 1: Descripción de variables de los objetivos específico N° 1, 2 y 3.....	33
Tabla 2: Área, perímetro y longitud de los ríos de la subcuenca Gera.....	38
Tabla 3: Determinación de la curva hipsométrica de la subcuenca del río Gera	40
Tabla 4: Estaciones Hidrometeorológicas SENAMHI para recolección de datos	44
Tabla 5: Área de influencia de las Estaciones Hidrometeorológicas en subcuenca del río Gera.....	46
Tabla 6: Estaciones Hidrometeorológicas con influencia en subcuenca del río Gera.....	46
Tabla 7: Registro de Precipitaciones en Estaciones Hidrometeorológicas para Análisis de Doble Masa.....	49
Tabla 8: Ecuaciones para el cálculo del coeficiente de agotamiento “a”	56
Tabla 9: Características generales de la subcuenca del río Gera.....	59
Tabla 10: Precipitaciones efectivas de un año promedio.....	61
Tabla 11: Contribución de la retención	63
Tabla 12: Generación de caudales en el año promedio	63
Tabla 13: Resultados del cálculo de los coeficientes de la regresión del modelo matemático....	65
Tabla 14: Distribución normal de los números aleatorios	66
Tabla 15: Descargas medias mensuales generadas (mm) subcuenca del río Gera- Periodo 1999-2021	67
Tabla 16: Descargas medias mensuales generadas (m ³ /s) subcuenca del río Gera- Periodo 1999-2021	68
Tabla 17: Rangos de valores para el criterio de Nash-Sutcliffe	69
Tabla 18: Parámetros morfológicos de la subcuenca del río Gera.....	71
Tabla 19: Precipitación Total Mensual para el cálculo de la precipitación media anual en la subcuenca del río Gera.....	72
Tabla 20: Caudales generados mediante el método de Lutz Scholz	73
Tabla 21: Caudales medidos por Electro Oriente.....	74
Tabla 22: Tabla de diferencia de Caudales generados y caudales aforados	74
Tabla 23: Tabla de diferencia de Caudales medidos y caudal promedio	74

Índice de Figuras

<i>Figura 1: Proceso de obtención de caudales medios mensuales</i>	<i>22</i>
<i>Figura 2: Flujo de la precipitación según ecuación del Balance Hídrico.....</i>	<i>23</i>
<i>Figura 3: Modelo Conceptual de la Curva Número</i>	<i>24</i>
<i>Figura 4. Mapa de Ubicación.....</i>	<i>29</i>
<i>Figura 5. Diseño de investigación.....</i>	<i>35</i>
<i>Figura 6. Ubicación de Punto Inicial para delimitación de área de estudio obtenido de Google Earth Pro 7.3.6.9345</i>	<i>36</i>
<i>Figura 7. Delimitación de la subcuenca del río Gera obtenido mediante Arc Gis.....</i>	<i>37</i>
<i>Figura 8. Diferencias de altitudes en subcuenca del río Gera obtenido mediante Arc Gis.....</i>	<i>39</i>
<i>Figura 9. Curva Hipsométrica de la subcuenca del río Gera</i>	<i>40</i>
<i>Figura 10. Grado de Ramificación en subcuenca del río Gera obtenido mediante Arc GIS.....</i>	<i>41</i>
<i>Figura 11. Sensores de medición electrónico</i>	<i>43</i>
<i>Figura 12. Ubicación de las Estaciones Hidrometeorológicas cercanas al área de estudio obtenido mediante Arc GIS</i>	<i>44</i>
<i>Figura 13. Polígono de Thiessen en el área de estudio obtenido mediante Arc GIS.....</i>	<i>45</i>
<i>Figura 14. Hidrograma de precipitaciones totales mensuales de la Estación Moyobamba.....</i>	<i>47</i>
<i>Figura 15. Hidrograma de precipitaciones totales mensuales de la Estación Jepelacio</i>	<i>48</i>
<i>Figura 16. Hidrograma de precipitaciones totales mensuales de la Estación Pacayzapa</i>	<i>48</i>
<i>Figura 17. Curva de Doble Masa de las Estaciones consideradas en el estudio</i>	<i>50</i>
<i>Figura 18. Curva de Doble Masa de la Estación Moyobamba</i>	<i>50</i>
<i>Figura 19 Curva de Doble Masa de la Estación Jepelacio</i>	<i>51</i>
<i>Figura 20. Curva de Doble Masa de las Estaciones Pacayzapa.....</i>	<i>51</i>
<i>Figura 21. Curva de distribución t-student</i>	<i>53</i>
<i>Figura 22. Análisis de Salto en Estación Moyobamba.....</i>	<i>55</i>
<i>Figura 23. Medición con el método del correntómetro.....</i>	<i>59</i>
<i>Figura 24. Caudales generados vs caudales medidos en la subcuenca del río Gera en el periodo de calibración del 2015 al 2020.</i>	<i>75</i>

RESUMEN

Aplicación del modelo hidrológico Lutz Scholz para el cálculo de caudales medios mensuales en la subcuenca del río Gera

La presente investigación se desarrolló en la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería Civil y Arquitectura de la Universidad Nacional de San Marín, con fines de titulación de Ingeniero Civil. El objetivo que se persiguió tiene que ver con que al hacer uso de algunos enfoques y modelos hidrológicos que han evolucionado para producir caudales mensuales como solución al problema de la falta de información hidrométrica en los ríos, éstos, al basarse en fórmulas empíricas o tener una aplicabilidad restringida, estos modelos sólo han aportado una solución parcial. Para ello se empleó el enfoque de Lutz Scholz, un modelo hidrológico de estructura mixta con una estructura determinista para calcular los caudales medios anuales y una estructura estocástica para generar series de caudales ampliadas; que, para el caso, corresponde a determinar el caudal medio mensual del río Gera. Previamente, antes de aplicar el método, se determinaron las características morfométricas de la subcuenca del río Gera y sus variables hidrológicas (precipitación mensual total y media). Los resultados obtenidos utilizando el modelo de Lutz Scholz, creado en Perú para grandes cuencas, pero no validado para su uso en cuencas pequeñas, son poco claros. El impacto de la subcuenca del río Gera no se ha estimado porque no se han realizado investigaciones ni se han recogido datos en la región. Por consiguiente, es difícil adquirir datos fiables para hacer previsiones y disponer de resultados suficientes para diversas aplicaciones (abastecimiento de agua, hidroelectricidad, etc.). Sin embargo, se concluye que, las características morfométricas de la subcuenca del río Gera son consistentes entre ellas así también con las variables hidrológicas; estas últimas tienen valores coherentes con los caudales aforados; y la aplicación del método en estudio es considerada como “muy buena”.

Palabras clave: método Lutz Scholz, información hidrométrica, subcuenca, estaciones hidrometeorológicas, caudales medios mensuales.

ABSTRACT

Lutz Scholz's hydrological model enforcement for calculation of average monthly flows in the Gera river sub-watershed

The present research was developed at the Professional School of Civil Engineering of the Faculty of Civil Engineering and Architecture of the National University of San Marín, with the purpose of obtaining the degree of Civil Engineer. The objective pursued has to deal with the fact that by making use of some hydrological approaches and models that have evolved to produce monthly flows as a solution to the problem of the lack of hydrometric information in rivers, these models, being based on empirical formulas or having a restricted applicability, have only provided a partial solution. For this reason, the Lutz Scholz approach was used, a mixed structure hydrological model with a deterministic structure to calculate the mean annual flows and a stochastic structure to generate extended flow series, which, in this case, corresponds to determining the mean monthly flow of the Gera River. Previously, before applying the method, the morphometric characteristics of the Gera river sub-basin and its hydrological variables (total and average monthly precipitation) were determined. The results obtained using the Lutz Scholz model, which was developed in Peru for large basins but not validated for use in small basins, are unclear. The impact of the Gera River sub-basin has not been estimated because no research or data collection has been carried out in the region. It is therefore difficult to acquire reliable data to make forecasts and have sufficient results for various applications (water supply, hydroelectricity, etc.). However, it is concluded that the morphometric characteristics of the Gera river sub-basin are consistent between them as well as with the hydrological variables, the latter having values consistent with the gauged flows and the application of the method under study is considered as "very good".

Keywords: Lutz Scholz method, hydrometric information, sub-basin, hydrometeorological stations, monthly mean flows.



CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN A LA INVESTIGACIÓN

El acceso a la información de los recursos hídricos es importante para poder hacer uso eficiente de los mismos, así como para prevenir desastres. Los enfoques de análisis varían según el límite de los sistemas hidrológicos, cualquier evento que se origine de un desastre dañará la infraestructura hidráulica y tendrá un impacto en cascada sobre las poblaciones y los bienes públicos (Khatri, 2022, p.176).

En nuestro país, uno de los problemas que afecta el manejo de los recursos hídricos es la escasez y calidad de la información hidrométrica. La falta de información se presenta a consecuencia de la distribución de las estaciones hidrométricas, ya que se encuentran sólo en algunos ríos importantes, mas no en pequeños ríos, que es donde los proyectos de desarrollo de recursos hídricos están en progreso, especialmente para la selva. Adicionalmente, la mayoría de las cuencas hidrológicas no están aforadas; y si lo están, estas se encuentran aforadas incorrectamente o mal aforadas (Burgan, 2020, p. 2). Es necesario reducir la incertidumbre de los datos fundamentales utilizados en las cuencas no instrumentadas, con el fin de aumentar la fiabilidad en la modelización para la hidrología (Garaya et al., 2019, p. 12).

La escasez de datos hidrométricos sobre los ríos ha conducido al desarrollo de técnicas y modelos hidrológicos que pueden proporcionar caudales mensuales. Estos modelos, que se basan en factores meteorológicos (velocidad del viento, temperatura, etc.) y topográficos (forma de la cuenca, fisiografía, vegetación, etc.), sólo han proporcionado una solución parcial. Sin embargo, al basarse en fórmulas empíricas o tener una aplicabilidad restringida, estos modelos sólo han proporcionado una solución parcial. El modelo estocástico determinista de Lutz Scholz es uno de ellos; tiene tanto un componente determinista para calcular los caudales medios anuales (Balance Hídrico - Modelo Determinista) como un componente estocástico para generar series de caudales ampliadas, lo que lo convierte en un modelo hidrológico de estructura combinada. Aplicarlo en cuencas más pequeñas sin la validación correspondiente introduce incertidumbre en los resultados obtenidos, ya que se empleó originalmente para cuencas enormes. Diseñado por el experto alemán Lutz Scholz como una alternativa al aforo de caudales, según el Plan de Mejoramiento de la Irrigación en la Sierra II (Plan Meris II), financiado por la Cooperación Técnica de la República de Alemania, se puso en marcha en las cuencas de la sierra peruana entre 1979 y 1980. En este estudio, utilizamos

métodos de medición tradicionales para recopilar datos sobre los caudales medios mensuales.

Según la curva de aforo de la sección, que asigna un caudal determinado a cada nivel de agua, se calculan los caudales. Tras la adquisición de las dos mediciones, se calcula una media que se denomina caudal medio diario. Calculando la media de los valores medios diarios, se obtienen las medias diarias de cada mes. Con la idea de que el régimen fluvial estará mejor definido cuanto más larga sea la serie de años de registro empleada, las medias mensuales se toman a continuación sobre una secuencia de un número determinado de años para generar las medias mensuales que incluyen los datos de todos los años de la secuencia.

Para el caso de la sub cuenca del río Gera, no se han registrado datos de aforo de caudales que permitan cuantificar su aporte anual en MMC, no se cuenta con investigaciones para tal fin en la zona de estudio. Esta realidad, dificulta, en gran medida, el acceso a información confiable que permita cuantificar el recurso hídrico en la cuenca, esta limitación no permite realizar estudios satisfactorios con la finalidad de planificar la explotación y aprovechamiento del agua para los diferentes usos de la sociedad (abastecimiento de agua, hidroelectricidad, etc.).

De lo anterior surge la siguiente pregunta de investigación. ¿En qué forma se podrá llevar a cabo la aplicación del método hidrológico de Lutz Scholz para determinar el cálculo de caudales medios mensuales en la subcuenca del río Gera? Para responder esta pregunta se formula la siguiente hipótesis: La aplicación del método hidrológico de Lutz Scholtz permitirá determinar el cálculo de caudales medios mensuales en la subcuenca del río Gera. Se define el objetivo general como: calcular los caudales medios mensuales en el río Gera mediante la aplicación del método de Lutz Scholz cuando no se dispone de registros hidrométricos. Asimismo, los objetivos específicos de esta tesis son: determinar las características morfométricas de la subcuenca del río Gera; identificar las variables hidrológicas en la subcuenca del río Gera, y realizar la validación del modelo hidrológico de Lutz Scholz para el cálculo de caudales medios mensuales en la subcuenca del río Gera mediante el análisis comparativo de resultados con aforos realizados en la bocatoma de la hidroeléctrica Gera, registrados por Electro Oriente.

En el ámbito de la Hidrología, los resultados de la presente investigación y la validez de sus resultados, permitirán en adelante el empleo del método de Lutz Scholtz para la generación de caudales medios mensuales empleando el valor de ciertos parámetros

hidrológicos en corrientes de agua menores que no cuentan con estaciones de aforo. En consecuencia, los resultados se podrán emplear para diversos campos de la investigación como: cuantificación de la oferta hídrica para la generación de energía y uso del recurso hídrico con fines de uso poblacional, agrícola, etc; también la prevención de desastres, con medidas dirigidas a minimizar las afectaciones posibles a la población civil ubicada en las riberas y fajas marginales de los ríos. Por mencionar algunas aplicaciones.

CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación

2.1.1. Antecedentes Internacionales

Dolling & Varas (2002), en su artículo "Artificial neural networks for streamflow prediction" presenta la predicción del caudal mensual del río San Juan en Argentina utilizando Redes Neuronales Artificiales. El uso de indicadores globales como la oscilación de temperatura del pacífico sur, ha mejorado la capacidad predictiva del modelo. Aplicó el método de retropropagación usando momento además de la estrategia recomendada por Mitchell T (1997), para el caso de información escasa. Concluyendo que mejores métodos de predicción de caudales pueden significar beneficios en la optimización del uso de los recursos del agua para irrigación y generación de energía hidroeléctrica (p. 553).

2.1.2. Antecedentes Nacionales

Buguña (2019), utilizaron modelos hidrológicos en la tarea de estimar los caudales mensuales en la subcuenca del río Bigote Piura para su tesis. El objetivo de este estudio fue estimar los caudales medios mensuales en la subcuenca del río en estudio mediante la selección y análisis de información pluviométrica e hidrométrica de 10 estaciones hidrometeorológicas cercanas a la zona de estudio con el fin de establecer parámetros climatológicos de la zona de estudio. El autor concluyó que el modelo hidrológico GR2m se mostró como el más efectivo para la subcuenca del río Bigote debido a su alto índice de eficiencia (81%), alto coeficiente de correlación (0.87) y alto índice de ajuste modificado (0.87). (p.144).

Tito (2018), en su investigación lo llevó a concluir que el modelo hidrológico de Lutz Scholz podría ser utilizado para calcular caudales mensuales típicos en algunos tramos del río Coata. Este método puede ser utilizado para estimar caudales medios mensuales en puntos de interés a lo largo de la cuenca del río Coata tomando en consideración el comportamiento único del régimen de afluencia y almacenamiento que ocurre dentro de las subcuencas debido a la presencia de nevados y lagunas (p.135)

Álvarez (2015), para producir caudales en cuencas que no están siendo aforadas, como la cuenca del río Huayanay en la provincia de Acobamba - Huancavelica, realizó una tesis titulada Creación de caudales utilizando modelos de redes neuronales artificiales basados en las características de una cuenca. Se recopiló información importante mediante mediciones directas en la cuenca del río Huayanay y a través de estaciones hidrométricas y pluviométricas ubicadas a lo largo de la cuenca del Mantaro. El uso de la tierra fue verificado en el campo y mapeado, mientras que los modelos digitales de elevación fueron utilizados para derivar las características fisiográficas. Concluyendo que la importancia de los parámetros es proporcional a su correlación: como el área de la cuenca y el caudal (coeficiente de correlación de 0,84), la precipitación (coeficiente de correlación de 0,80) y el uso de la tierra (coeficiente de correlación de 0,41). (p.112).

Zárate (2020), utilizando el enfoque de Lutz Scholz y redes neuronales artificiales, modeló los caudales medios mensuales en la microcuenca Huajiri, Oropesa, Antabamba y Apurímac, que carecían de información hidrométrica. Concluye que: “El modelamiento hidrológico aplicando el método Lutz Scholz y redes neuronales artificiales permite obtener caudales medios mensuales para el estudio de disponibilidad hídrica en cuencas sin información hidrométrica como la cuenca Huajiri”. También sostiene que para determinar si la modelización hidrológica calculada es aceptable o no, es necesario calcular el coeficiente de Nash. Además, concluye que el uso de Redes Neuronales Artificiales junto con el método de Lutz Scholz es ligeramente superior en términos de bondad de ajuste (79% versus 78%) que la aplicación de sólo el método de Lutz Scholz. (p.134).

2.1.3. Antecedentes Regionales

Pezo (2021), En su investigación titulada "Estudio hidrológico con fines de aprovechamiento hídrico en la microcuenca de la quebrada Shupishiña, ubicado en el distrito de Cacatachi, provincia de San Martín, región San Martín" expresa lo siguiente como conclusiones: la quebrada Shupishiña tiene 33.52 MMC como oferta hídrica, la cual falta gestionar para su uso según la “Ley de Recursos Hídricos 29338”; asimismo, afirma que el software ArcGis se destaca como herramienta en este tipo de estudios ya que arroja resultados confiables; también indica que la información usada en los cálculos de su investigación tiene un alto grado de confiabilidad debido a que las estaciones de donde se obtuvieron los datos están circundantes a la zona de estudio (p.163).

2.2. Fundamentos teóricos

2.2.1. El Ciclo Hidrológico

El ciclo hidrológico, también conocido como ciclo del agua en la naturaleza, es un proceso necesario para la continuidad de la vida en la Tierra. Es el curso que sigue el agua en sus distintas fases físicas cuando viaja de la hidrosfera a la atmósfera, luego a través de la litosfera y de vuelta a la hidrosfera. Este ciclo hidrológico se completa con el flujo de las aguas. Todos los acontecimientos que se producen en la superficie del planeta como resultado de la acción de las aguas continentales, en particular las aguas que crean los ríos, se combinan en la dinámica fluvial. Los agentes básicos de la modelización fluvial son la erosión y la sedimentación, que son las dos acciones principales de estos ríos (Villón, 2002, p.16).

Para Guevara (2015), aunque los fenómenos hidrológicos son extremadamente complicados y nunca llegarán a comprenderse del todo, la idea de sistema puede servir para representarlos de manera sencilla a falta de una noción perfecta. Un sistema es un conjunto de componentes que funcionan e interactúan cohesivamente. La precipitación, escorrentía, evaporación y las demás fases del ciclo hidrológico pueden descomponerse en subsistemas independientes y combinar los resultados en función de su interacción. El ciclo hidrológico puede concebirse como un sistema con estos componentes: precipitación, evaporación, escorrentía y las demás fases del ciclo. Se representa como un sistema, con líneas de puntos que lo dividen en tres subsistemas: (1) el sistema hídrico atmosférico, que incluye los procesos de precipitación, evaporación, interceptación y transpiración; (2) el sistema hídrico superficial, que incluye los procesos de infiltración y evaporación; y (3) el sistema de aguas subterráneas.

2.2.2. Modelo hidrológico

Para Cabrera (2012), el modelo hidrológico de la cuenca es un reflejo de nuestra comprensión actual del sistema de la cuenca y de su reacción. Lo bien que se construya y utilice el modelo determina la precisión con que puede prever la actividad en la cuenca. Por consiguiente, tanto nuestro conocimiento del sistema como la precisión del modelo utilizado para describirlo contribuyen a la fiabilidad de las previsiones. Dado que cada cuenca de la Tierra tiene su propio conjunto de factores ambientales (geografía, clima, geología, etc.), sería imposible crear un modelo de aplicación universal para su investigación. Estas características condicionan la estructura del modelo al elevar la importancia de un proceso por encima de otros.

2.2.2.1. Método de Lutz Scholz

Plan Meriss II (1980), para las cuencas altas del Perú, el experto Lutz Scholz desarrolló este modelo hidrológico en 1979 y 1980 como parte de la Cooperación Técnica del Plan Meriss II de la República Federal de Alemania. El Balance Hídrico - Modelo Determinístico calcula los caudales medios anuales de manera determinística, mientras que el Proceso Markoviano - Modelo Estocástico genera series prolongadas de caudales de manera estocástica.

Dado que en la sierra peruana no se dispone de registros de caudales, el modelo se creó teniendo en cuenta las características físicas y meteorológicas de las cuencas hidrográficas que pueden determinarse mediante cartografía y mediciones sobre el terreno. Los coeficientes utilizados para calcular la precipitación efectiva, el déficit de escorrentía, la retención y el agotamiento de las cuencas son las variables más cruciales del modelo; Lutz Scholz adoptó el siguiente procedimiento:

Entre Cuzco y Cajamarca, examinó los datos hidrometeorológicos de 19 cuencas y luego calculó los parámetros indispensables para describir los fenómenos de la escorrentía promedio.

En una fase posterior, creó una colección de modelos estocásticos parciales de las variables necesarias para calcular el caudal en estas cuencas a falta de datos hidrométricos. Los caudales mensuales pueden determinarse utilizando los modelos parciales y los datos meteorológicos regionalizados de la cuenca correspondiente.

La tercera etapa permite crear los caudales en el punto de captación previsto a lo largo de un período de tiempo prolongado combinando los cálculos (la precipitación efectiva con las descargas del mes previo mediante un proceso markoviano) y calibrando el modelo integral utilizando aforos en funcionamiento.

Este modelo se creó con la intención de estimar caudales a escala mensual, inicialmente para estudios de proyectos de riego y posteriormente para estudios hidrológicos con casi cualquier finalidad (gestión del agua, por ejemplo).

Se utiliza la fórmula 2.1 para el desarrollo de caudales para periodos extendidos:

$$Q_i = B_0 + B_1 \times Q_{i-1} + B_2 \times PE_i + z \times S \times \sqrt{(1 - r^2)} \quad \dots(2.1)$$

Donde:

Q_i = Caudal para el mes i

Q_{i-1} = Caudal del mes anterior

PE_i = Precipitación efectiva del mes i

$B_{1,2,..}$ = Coeficientes de la regresión lineal múltiple

S = Error estándar de la regresión múltiple

r = Coeficiente de correlación múltiple

z = Número aleatorio normalmente distribuido (0,1) del año i

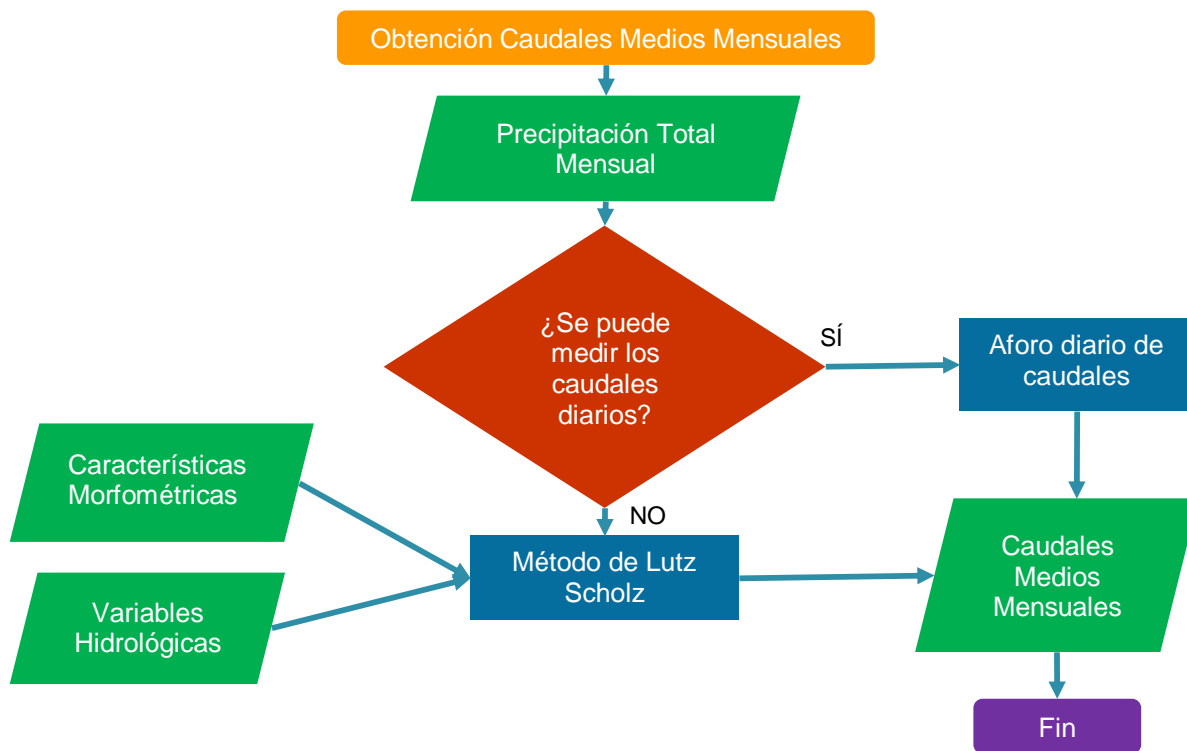


Figura 1. Proceso de obtención de caudales medios mensuales

Fuente: Elaboración propia (2019)

2.2.2.2. Balance hídrico media de la cuenca

Según (Plan Meriss II, 1980,p. 6), explicado en la Figura 2, el flujo de la precipitación según la Ecuación de balance hídrico al que tiene que representar el Modelo de Lutz Scholz. Ocurre de la siguiente manera: inicia al momento de la precipitación (P_i), cuyo volumen se distribuye entre la precipitación atrapada en el suelo en forma de Humedad del Suelo, y la precipitación excedente que continúa en la atmósfera. A su vez, la precipitación excedente retorna al río mediante la escorrentía superficial o se infiltra (A_i) abasteciendo la retención (acuífero), que a su vez descarga (G_i) o gasta la retención en el río. Aplicando la ecuación del balance hídrico con respecto a los caudales mensuales (CM):

$$CM_i = P_i - D_i + (G_i - A_i) \quad \dots(2.2)$$

Donde P_i , G_i y A_i han sido definidas en la explicación y D_i es el déficit o pérdida por absorción del suelo como la humedad del suelo menos la escorrentía superficial. Todas las variables de la ecuación (i) están definidas en unidades de mm/mes.

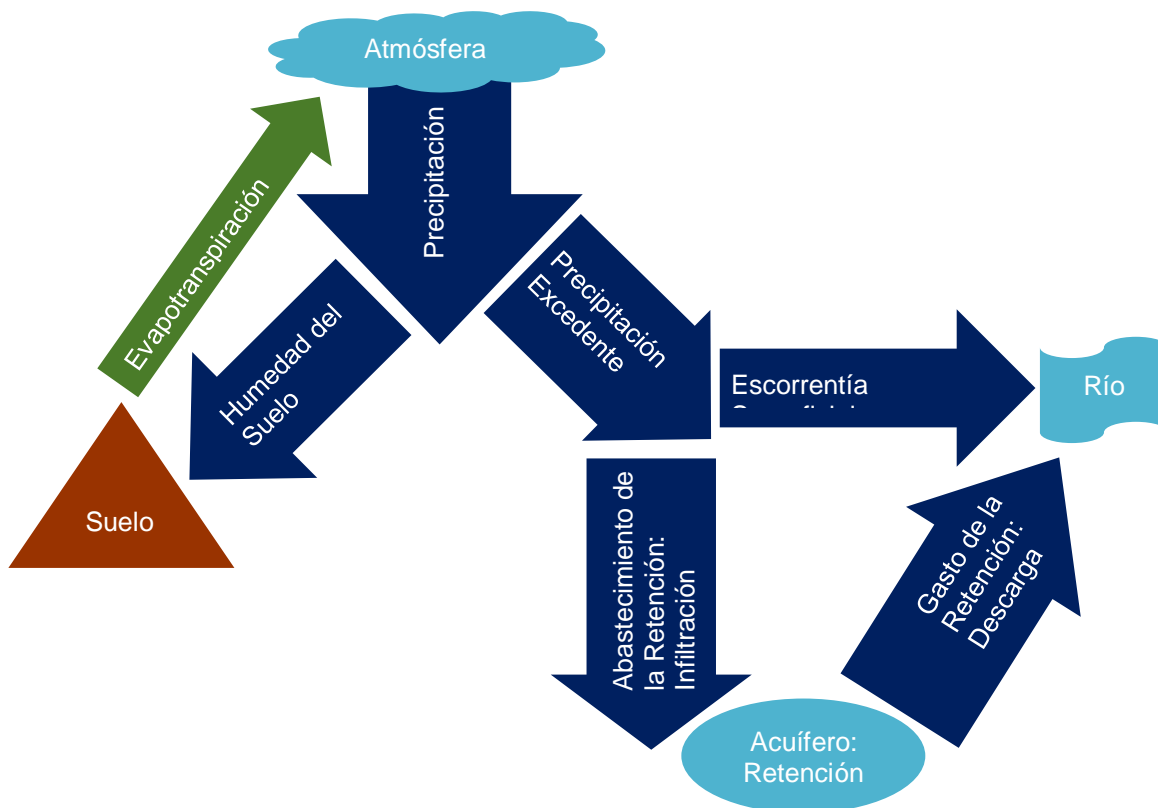


Figura 2. Flujo de la precipitación según ecuación del Balance Hídrico
Fuente: Elaboración Propia (2019)

Según el Plan Meriss II (1980, p. 11), la retención de la cuenca no presenta cambios en el largo plazo; es decir, que en periodos largos el abastecimiento (A_i) y el gasto (G_i) son iguales. También para el año promedio se pierde por evaporación un gasto fijo de la precipitación, cambiando la ecuación (2.2) en la ecuación básica del método racional (2.3), reemplazando “ $P_i - D_i$ ” por “ $C \times P$ ”. Al tener en cuenta que la descarga está en unidades de (m^3/seg) y la precipitación en (mm/mes) la ecuación (2.2) llega a la siguiente forma:

$$Q = c' \times C \times P \times AR \quad \dots(2.3)$$

Donde:

Q = descarga (m^3/seg)

c' = coeficiente para la conversión del tiempo (mes/seg)

C = coeficiente de escurrimiento

P = precipitación total mensual (mm/mes)

AR = área de la cuenca (m^2)

2.2.2.3. Aforo con vertederos

La palabra "aforador" se refiere a un dispositivo utilizado para controlar el caudal de una corriente a través de un segmento específico en un momento determinado. Es un método que consiste en forzar el paso del cauce por una escotadura, la cual se encuentra represada por una cortina. De esta manera se logra medir el caudal en canales abiertos, como en el caso de ríos. Entre sus principales ventajas se encuentran: la duración del dispositivo (vertedero), suele tener una vida útil larga; los materiales que flotan en el agua no obstruyen el paso de la misma; es una estructura fácil de construir y puede lograr precisión en los aforos.

Los datos de ingreso o *inputs* requeridos para el uso de este tipo de estructura son: la carga del agua sobre la cresta del vertedero, así como la ecuación de calibración del dispositivo para la obtención del caudal. También es necesaria la altura de carga "h", se debe medir a una distancia de 3h o 4h aguas arriba del vertedero.

Dependiendo del tamaño de la corriente o del nivel de precisión necesario para los datos obtenidos, existen varias formas de calcular el caudal de una corriente de agua, cada una de las cuales es pertinente en circunstancias diferentes. Las técnicas más conocidas son el aforo con flotadores, el aforo volumétrico, el aforo químico, el aforo con presas, el aforo con correntímetro o molinete y el aforo tomando medidas de la sección y la pendiente (Villón, 2002, p. 150).

2.2.2.4. Curva Número

El Número de Curva del Servicio de Conservación de Suelo (SCS) de los Estados Unidos de América es un parámetro usado en la estimación de la escorrentía. Es uno de los modelos empíricos más extendidos para el cálculo de la infiltración. Esta metodología se basa en el uso de herramientas de los Sistemas de Información Geográfica (SIG), de los cuales se obtiene información sobre la cobertura y uso del suelo y modelos digitales de elevaciones (MDE), según lo descrito en la Figura 3 (Portuguéz et al, 2016, p. 91).

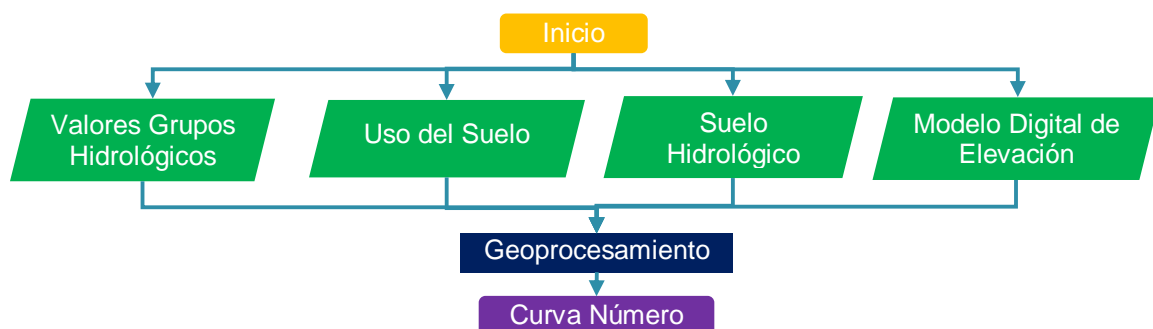


Figura 3. Modelo Conceptual de la Curva Número
Fuente: Adaptado de Portuguese et al (2016)

En la generación del Mapa de Curva Número, el mapa de cobertura es una de las variables más vulnerable, ya que las actividades antropogénicas de manera permanente modifican el uso del suelo y a su vez la CN que se haya generado. Es por ello que los estudios hidrológicos deben ajustar sus valores. Asimismo, en estos estudios hidrológicos como el presente trabajo de investigación, la CN debe ser dato de inicio y en la fase de calibración estos valores fueron ajustados.

2.2.2.5. Eficiencia de Nash - Sutcliffe

La eficiencia de Nash-Sutcliffe (1970,p.283), nace del análisis de la posibilidad de desarrollar conceptos simplificados adecuados para representar el funcionamiento de la cuenca en la transformación de lluvia a escorrentía, resalta el hecho de que una cuenca no es una colección aleatoria de diversos elementos, sino más bien un sistema geomorfológico cuyas partes están ligadas entre sí. Incluso el funcionamiento de una cuenca no aforada puede predecirse a partir de un examen de estas características si, además, puede comprenderse la relación entre este funcionamiento y las características físicas de la cuenca. Desde donde inicia la aplicación de modelos hidrológicos.

Para que exista optimización entre las descargas aforadas y las calculadas se necesitan de ajustes. Uno de ellos es el análisis de regresión lineal, la cual sugiere:

$$F^2 = \Sigma(q' - q)^2 \quad \dots(2.4)$$

Donde:

F: índice de ajuste

q: descargas observadas o aforadas en el tiempo "t"

q': descargas calculadas para el tiempo "t"

F²: es el análogo a la varianza residual de un análisis de regresión

La suma puede ser tomada sobre todas las descargas en intervalos de tiempo Δt , o en momentos específicos como los saltos en el hidrograma. Además se define la varianza inicial F_0^2 definida por:

$$F_0^2 = \Sigma(q - \bar{q})^2 \quad \dots(2.5)$$

Donde \bar{q} es la media de las descargas observados y la suma se toma como antes, puede ser también definida como el valor de F² "sin modelo". Esto permite que la eficiencia de un modelo pueda ser definida por R² (análogo al coeficiente de determinación) como la proporción de la varianza inicial contabilizada explicada por ese modelo (Nash-Sutcliffe, 1970, p. 287).

$$R^2 = \frac{F_0^2 - F^2}{F_0^2} \quad \dots(2.6)$$

El criterio de eficiencia de Nash – Sutcliffe o NSE, por sus siglas en inglés, puede usarse en modelos en los que se midan caudales o sedimentos; usando como escala temporal, las mediciones diarias, mensuales y anuales en el caso de los caudales y mensuales en el caso de los sedimentos (Moriassi et al, 2015, p. 1777).

2.2.3. Tratamiento de datos hidrometeorológicos

Según Gamarra (2018, p. 23), el análisis de las series hidrológicas suele ignorar el tratamiento de los datos históricos. Ajustar los datos históricos a un estado uniforme, eliminar los errores sistemáticos y devolverlos a sus niveles normales forman parte de este proceso. Sin embargo, la mayoría de las cuencas y circunstancias se encuentran en un estado perpetuo de cambio, por lo que los datos históricos sólo pueden aplicarse a un único estado estabilizado. La confianza en la hidrología se basa en la disponibilidad de pruebas de calidad adecuadas para poner a prueba las ideas sobre los fenómenos naturales.

La fase preparatoria de una investigación hidrológica consta de tres actividades principales: “análisis de consistencia de la información, complementación de los datos faltantes y extensión de los registros”. Una vez recopilada una información coherente, completa y ampliada, la fase preparatoria puede pasar a la fase de aplicación, que en este caso consiste en utilizar el modelo "Precipitación-Descarga" desarrollado por el experto Lutz Scholz para calcular los parámetros de datos buscados.

2.2.3.1. Análisis de consistencia de la información hidrometeorológicas

Con el análisis de consistencia de la información hidrometeorológicas se pretende compatibilizar la realidad con el criterio probabilístico. La inconsistencia es equivalente de error sistemático y se expone como saltos y tendencias y; la no homogeneidad está determinada como las alteraciones de los datos de origen con el tiempo. Tiene tres orígenes esenciales: (1) el cambio de ubicación de las estaciones hidrometeorológicas en una distancia horizontal, (2) el movimiento vertical, (3) cambios producidos por las actividades humanas, así como por causas naturales, en el medio ambiente de una estación de control, por ejemplo: inundaciones, deforestación, movimiento de tierras por construcción o agricultura, etc.

Los datos recogidos por una estación pueden contener imprecisiones tanto aleatorias como sistemáticas. En primer lugar, está el error resultante de la negligencia en la medición y la observación. Los errores en la lectura de los datos, los equipos e instrumentos defectuosos, el uso inadecuado de los equipos, las transcripciones erróneas, etc. contribuyen a estos problemas, que se hacen más difíciles de ver a medida que pasa el tiempo. Los errores sistemáticos, por su parte, adquieren mayor importancia por el hecho de que pueden provocar un aumento o disminución sistemática de los datos, lo que a su vez provoca grandes imprecisiones en las conclusiones finales para futuras investigaciones basadas en estos datos (Aliaga y De Piérola, 1979, p.2).

Análisis de saltos

Aliaga y De Piérola (1979, p.3), los saltos o resbalamientos, permiten a una serie estadística en un periodo determinado pasar de un estado a otro, es la representación de la reacción a los cambios a los que han sido sometidos los recursos hídricos. Estos se presentan en la media, desviación estándar y otros parámetros, siendo el análisis más importante en los dos primeros mencionados.

Si se produce un cambio brusco que reduzca o aumente el caudal de agua típico, la media experimentará un pico (salto en la media). Sin embargo, la desviación típica aumentará si el embalse no modifica su tasa media de evaporación y se limita a controlar los caudales.

Análisis de tendencias

Según Aliaga y De Piérola (1979, p.15), los componentes deterministas incluyen las tendencias, que se definen como un cambio constante de cualquier parámetro hidrometeorológico a lo largo del tiempo. La dependencia y la distribución de las series cambiarán como resultado de estas modificaciones. Como ejemplo de génesis de una tendencia, puede decirse que un cambio en los valores de los parámetros climatológicos, como la temperatura, la precipitación, la escorrentía o la evaporación, se debe a la influencia directa o indirecta del hombre. La ecuación de regresión lineal puede utilizarse para aproximar estas tendencias, mientras que los polinomios pueden utilizarse para aproximar tendencias curvas.

CAPÍTULO III MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Ámbito de la investigación

La presente investigación se desarrolló en el contexto geopolítico, temporal, ético y circunstancial en el área de estudio.

3.1.1. Contexto de la investigación

3.1.1.1. Ubicación Política

El área de estudio se encuentra ubicado políticamente en:

- País : Perú
- Región : San Martín
- Provincia : Moyobamba
- Distrito : Jepelacio

Limites de la zona de estudio

- Por el Norte : con el Centro Poblado San Vicente y con el Distrito Nuevo Porvenir.
- Por el Sur : con el Centro Poblado Monterrico.
- Por el Este : con el Distrito de Soritor.
- Por el Oeste : con el Centro Poblado Mayor de Pacayzapa.

A continuación se presenta la ubicación del área de estudio:

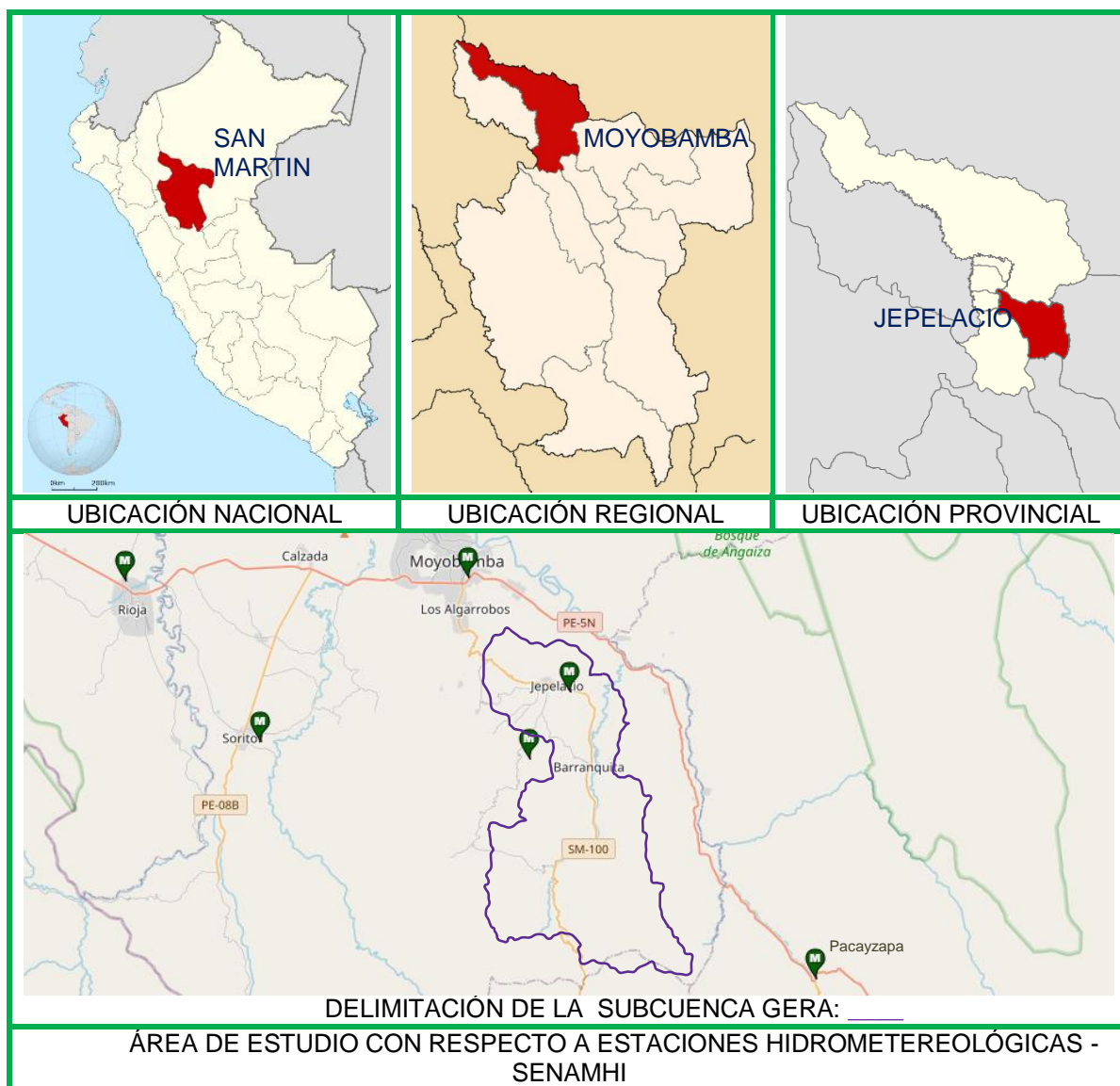


Figura 4. Mapa de Ubicación
Fuente: SENAMHI, adaptado por el autor (2022).

3.1.1.2. Ubicación Geográfica

El área de estudio tiene como puntos límites las siguientes coordenadas geográficas.

- Por el Norte : 6° 4' 57.5" S, 76°56' 34.6" W
- Por el Sur : 6° 18' 14.4" S, 76°49' 40.7" W
- Por el Este : 6° 11' 29.7" S, 76°51' 15.3" W
- Por el Oeste : 6° 15' 51.9" S, 76°57' 32.9" W

Las coordenadas de la bocatoma que se encuentra en el área de estudio son las siguientes: 6° 6' 58.1" S, 76° 53' 9.6" O, Altitud: 1 025.80 m.s.n.m.

3.1.2. Periodo de ejecución

Mediante resolución N° 165-2020-UNSM/FICA-D-NLU de fecha 26 de diciembre del 2020 la Universidad Nacional de San Martín aprobó la ejecución del presente trabajo de investigación cuyo plazo establecido fue de 24 meses para su desarrollo. Además, se aprobó una ampliación de plazo de seis meses para culminar el proyecto de tesis en mención, mediante resolución N° 165-2022-UNSM/FICA-D-NLU de fecha 26 de diciembre de 2022.

Es importante mencionar que se solicitó la ampliación de plazo debido a las limitaciones en la obtención de datos.

3.1.3. Autorizaciones y permisos

Se gestionaron autorizaciones y permisos con el objetivo de realizar esta investigación desde el inicio de la ejecución del mismo por parte de la universidad gestora; así como para la obtención de datos por parte de entidades que están involucradas en el área de estudio.

3.1.3.1. Autorización de ejecución

La Facultad de Ingeniería Civil y Arquitectura de la Universidad Nacional de San Martín autorizó la ejecución de la investigación mediante resolución N° 165-2020-UNSM/FICA-D-NLU de fecha 26 de diciembre del 2020.

Asimismo, mediante resolución N° 165-2022-UNSM/FICA-D-NLU de fecha 26 de diciembre de 2022, se aprueba la ampliación de 6 meses para culimar el desarrollo del proyecto de tesis del autor.

3.1.3.2. Autorización de uso de datos de SENAMHI

Para elaborar el perfil de tesis el autor requirió, de manera presencial según los formatos de la institución, datos meteorológicos al SENAMHI (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú) de los últimos 20 años de 5 estaciones cercanas al área de estudio, de fecha 06 de junio de 2019. Asimismo, SENAMHI remitió la información solicitada el 13 de junio de 2019 mediante correo electrónico.

El 04 de mayo de 2021 mediante Oficio N° 090-2021-UNSM/FICA-D-NLU el Decano de la Facultad de Ingeniería Civil y Arquitectura de la Universidad Nacional de San Martín solicita datos meteorológicos en atención al autor a SENAMHI. Este documento es

adjuntado para la presentación de manera presencial a SENAMHI el 05 de mayo de 2021 junto con una Declaración Jurada de uso de datos de SENAMHI para investigación y una Carta de Compromiso para la entrega y uso de la investigación por parte de la mencionada institución.

Mediante el requerimiento, de fecha 23 de noviembre de 2022, al Director Zonal 9 de SENAMHI se solicitaron datos de precipitación total mensual de 5 estaciones aledañas al área de estudio desde el año 2019 al 2020. Se obtuvo respuesta mediante correo electrónico el 25 de noviembre de 2022 con la información solicitada.

3.1.3.3. Autorización de uso de datos y acceso a instalaciones de Electro Oriente S.A.

Mediante la solicitud presentada por parte del autor con fecha 5 de octubre de 2022, hacia Electro Oriente S.A.(Empresa Regional de Servicio Público de Electricidad del Oriente S.A.), con el asunto de *“Solicita permiso para ingreso a Hidroeléctrica del Gera para toma de fotos, información de aforo de caudales y calidad de agua del mismo”*, a la cual se obtuvo respuesta con fecha 15 de diciembre del 2022 la cual autorizó el ingreso a las instalaciones de Electro Oriente S.A. ubicadas en la provincia de Moyobamba, distrito de Jepelacio.

3.1.4. Control Ambiental y protocolos de bioseguridad

Debido a la naturaleza de la investigación no corresponde control ambiental y protocolos de bioseguridad.

3.1.5. Aplicación de principios éticos internacionales

El autor de la presente investigación declara que se respetan los principios éticos generales, particularmente los principios de beneficencia, no maleficencia, autonomía y justicia en este estudio. Asimismo, la presente investigación ha sido sometida al software Turnitin para la de detección de similitud con otras investigaciones.

3.1.5.1. Principio de Beneficencia

Este principio hace referencia a buscar el bienestar mediante la investigación, de buscar el beneficio científico de la investigación en pro de la sociedad, no debe entenderse como caridad (Martín, 2013, p. 29). Los modelos de predicción, como el modelo hidrológico de Lutz Scholz utilizado aquí para determinar los caudales medios mensuales, permiten la

generalización de los resultados, la regulación de los fenómenos, la precisión en la replicación y la previsión exacta. Estas características suelen ser útiles cuando se utilizan métodos científicos en tareas de importancia social.

3.1.5.2. Principio de No maleficencia

No hacer daño es la esencia de este concepto, que está relacionado con la idea de beneficencia. Hay veces en que lo mejor que podemos hacer es no causar daño. Cuando un principio entra en contradicción con otro, éste tiene prioridad (Martín, 2013, p. 29)

Es por ello que se tomó en consideración los posibles riesgos al realizar esta investigación. Al tratarse de una investigación cuantitativa en la que se obtuvieron datos in situ de Electro Oriente S.A. Se identificaron los principales riesgos a los que podrían estar expuestas todas las personas que participaron en la investigación y para garantizar su seguridad, se implementó medidas de seguridad, como el uso de Equipos de Protección Personal, según nos indican las normas.

3.1.5.3. Principio de Autonomía

Su fundamento se encuentra en el filósofo Kant, quien afirmó que “el hombre es un fin en sí mismo y nunca puede ser utilizado como un medio”. Es la capacidad de actuar libremente y conscientemente, sin condicionantes externos. Asimismo, la libertad que se posee envuelve la responsabilidad de las acciones que se realizan, por consiguiente, también de las consecuencias (Martín, 2013, p. 29).

Cabe resaltar que en esta investigación se ha procedido con accionar libre y responsable en cada etapa de la metodología.

3.1.5.4. Principio de Justicia

Según Aristóteles consiste en “tratar igual lo que es igual y desigualmente lo que es desigual” o, dicho de otro modo, a casos iguales, tratamientos iguales (Martín, 2013, p. 29). Desde el punto de vista de la ética social, la justicia puede aplicarse a la distribución lógica y equitativa de los recursos. Esto nos permite comprender cómo el esfuerzo de cada profesión y profesional contribuye al avance de la sociedad. Es legítimo calificar de inmorales desde el punto de vista profesional las políticas sociales que restringen el acceso de todas las personas a las prestaciones, así como las situaciones en las que las instituciones buscan exclusivamente aumentar sus beneficios a costa de la calidad de su trabajo y de la distribución de las prestaciones (Hirsch, 2003, p. 254).

Aplicando el principio de justicia, se considera justo divulgar todos los resultados obtenidos en la investigación en las plataformas de acceso a la información pública de las entidades como SENAMHI y la UNSM; que beneficia y contribuye como antecedente para proyectos futuros en la región San Martín.

3.2. Sistema de variables

Se identifican principalmente 3 variables abstractas: la eficiencia del modelo hidrológico resultante de la aplicación del Método de Lutz Scholz para el cálculo de caudales medios mensuales, las características morfométricas, y las variables hidrológicas; de manera que se clasifican según su relación entre sí de la siguiente manera:

3.2.1. Variables principales.

3.2.1.1. Variable Dependiente (VD)

La eficiencia del modelo hidrológico resultante de la aplicación del Método de Lutz Scholz para el cálculo de caudales medios mensuales; esta variable depende de las VI.

3.2.1.2. Variables Independientes (VI)

Las características morfométricas de la subcuenca del río Gera; variables hidrológicas de la subcuenca del río Gera.

Asimismo, es importante resaltar que cada variable abstracta está relacionada con variables concretas o empíricas según la siguiente tabla:

3.2.1.3. Operacionalización de la variable dependiente

Tabla 1

Descripción de variables de los objetivos específico N° 1, 2 y 3

Objetivo específico N° 1: Determinar las características morfométricas de la subcuenca del río Gera.			
Variable abstracta	Variable concreta	Medio de registro	Unidad de medida
Características Morfométricas de la subcuenca del río Gera	Área de la subcuenca	Software de procesamiento de base de datos geomorfológicos y topográficos: ArcGis versión 2016 (ArcGis, 2022)	Km ²
	Perímetro		Km
	Longitud total del río principal		Km
	Longitud total de los ríos		Km
	Coficiente de compacidad Kc		Numérico adimensional cuantitativo

Forma de la cuenca Ff	Numérico adimensional cuantitativo
Altitud media	m.s.n.m.
Pendiente media	m/m
Grado de Ramificación	Numérico adimensional cuantitativo
Densidad de drenaje Dd	Km/ Km ²
Tiempo de concentración	Hrs

Objetivo específico Nº 2: Identificar las variables hidrológicas en la subcuenca del río Gera.

Variable abstracta	Variable concreta	Medio de registro	Unidad de medida
Variables hidrológicas en la subcuenca del río Gera	Precipitación Total Mensual	Estaciones Hidrometeo-rológicas de SENAMHI	mm
	Temperatura Media Mensual		C°

Objetivo específico Nº 3: Realizar la validación del modelo hidrológico de Lutz Scholz para el cálculo de caudales medios mensuales en la subcuenca del río Gera mediante el análisis comparativo de resultados con aforos realizados en la bocatoma de la hidroeléctrica Gera, registrados por Electro Oriente.

Variable abstracta	Variable concreta	Medio de registro	Unidad de medida
La eficiencia del modelo hidrológico resultante de la aplicación del Método de Lutz Scholz para el cálculo de caudales medios mensuales	Coefficiente de Eficiencia de Nash Sutcliffe	Validación	Cuantitativo – Cualitativo. Los valores calculados representan cada nivel de eficiencia.

Fuente: Elaboración Propia (2019)

Las variables concretas del objetivo específico 1 y 2 son variables concretas, las cuales, luego de registrarlas estas se comportan como parámetros.

3.2.2. Variables secundarias.

En la presente investigación, no se presentan variables secundarias.

3.3. Procedimiento de la investigación.

El diseño de de esta investigación corresponde al de un diseño transeccional descriptivo. Para lograr este objetivo principal de la investigación es necesario obtener datos de entrada en los Medios de Registro según la muestra definida. Luego de proceder al cálculo con el método en mención, los resultados de caudales medios mensuales calculados deben ser contrastados con aquellos valores de caudales medios mensuales medidos por medio de aforos diarios.

Este estudio cuantitativo utiliza un diseño no experimental. Dado que no se crea nada nuevo y sólo se estudia lo que ya existe, es decir, los registros de Precipitación Mensual Total, se trata de una metáfora adecuada. Dado que no existe un control directo sobre estos factores ni la posibilidad de influir en ellos, los resultados de la investigación no experimental deben basarse en la inferencia de lo que ya ha ocurrido (Sampieri et al., 2014, p. 152). De esta manera definimos la población como la Precipitación Total Mensual en la subcuenca del río Gera; y la muestra como la Precipitación Total Mensual en la subcuenca del río Gera en el intervalo de tiempo de los años 1999-2021.

El nivel de investigación tiene como finalidad describir y estimar parámetros del método hidrológico de Lutz Scholz. Se define como de nivel correlacional ya que el método de Lutz Scholz se somete a un análisis y la investigación es de tipo aplicada. Se requiere conseguir los objetivos específicos N° 1 y N° 2, los cuales tienen variables abstractas independientes, para poder trabajar en el objetivo N° 3 ya que tiene una variable abstracta dependiente. En la figura 5 se describe el diseño de investigación.

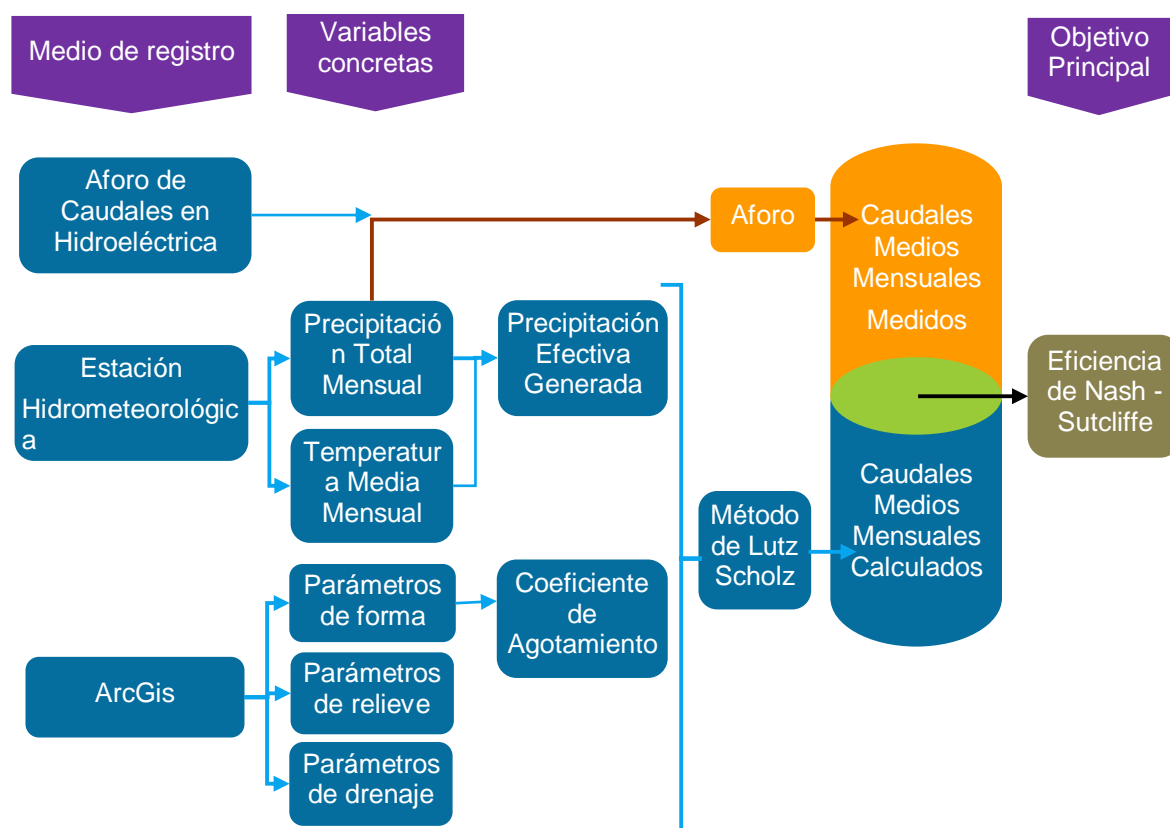


Figura 5. Diseño de investigación
Fuente: Elaboración propia (2022)

3.3.1. Actividades del objetivo específico 1: Determinar las características morfométricas de la subcuenca del río Gera.

Actividad 1: Delimitación del área de estudio

Comúnmente se ha usado software o programas de detección remota como ArcGis para examinar el comportamiento de las cuencas hidrográficas, hay una variedad de formas en que el espacio se ha representado y se han medido las características hidrológicas: sitio, cuenca, distancia base y red. Son necesarios para complementar los datos de campo recopilados en un sitio o ubicación. Ocasionalmente se obtienen datos de covariables para características que están cerca o que forman el contexto de un sitio, como área de captación, población, densidad, acres de uso de suelo agrícola, etc (Theobald et al, 2005, p.1).

Al inicio del proyecto de investigación se programó una visita in situ del área de estudio para poder corresponder los datos a abstraer mediante herramientas de exploración de imágenes por satélite como Google Earth Pro, para la determinación de los parámetros morfométricos y para la delimitación de la subcuenca. Asimismo, la demarcación hidrográfica se identificó según la Unidad Hidrográfica y los cuadrantes hidrológicos importados hacia ArcGIS.

En el reconocimiento en campo se tomó la ubicación de la bocatoma de la Hidroeléctrica del Gera, denominado "PUNTO INICIAL" con las coordenadas UTM descritas en la Figura 6. Se utilizó el GPS del aplicativo GPS UTM.

Google Earth - Editar Marca de posición

Nombre:

Zona:

Coordenada Este:

Coordenada Norte:

Descripción | Estilo, color | Ver | Altitud

Centrar en la vista

Latitud:

Longitud:

Alcance:

Encabezado:

Inclinación:

Fecha/hora:

Figura 6. Ubicación de Punto Inicial para delimitación de área de estudio obtenido de Google Earth Pro 7.3.6.9345
Fuente: Elaboración propia (2019)

Con el “PUNTO INICIAL” ubicado en Google Earth Pro se procedió a crear un polígono desde los puntos más altos de la cuenca, delimitando la subcuenca de estudio. Desde ArcGIS se importó el polígono creado. Resultando en la Figura 7. Se utilizó la herramienta Basin de ArcGIS para modelar la cuenca hidrográfica del área de estudio. Esta herramienta se basa en las crestas dentro del ráster que divide la imagen completa en diferentes cuencas. La subcuenca de drenaje fue delineada dentro de la ventana de análisis identificando líneas de crestas. Se ha analizado el ráster de dirección de flujo para encontrar todos los conjuntos de celdas conectadas que pertenecen a la misma cuenca de drenaje. Por lo tanto, la cuenca de drenaje se crea ubicando los puntos de fluidez en los bordes del área de estudio, así como sumideros. (Lemenkova, 2016, p. 583).

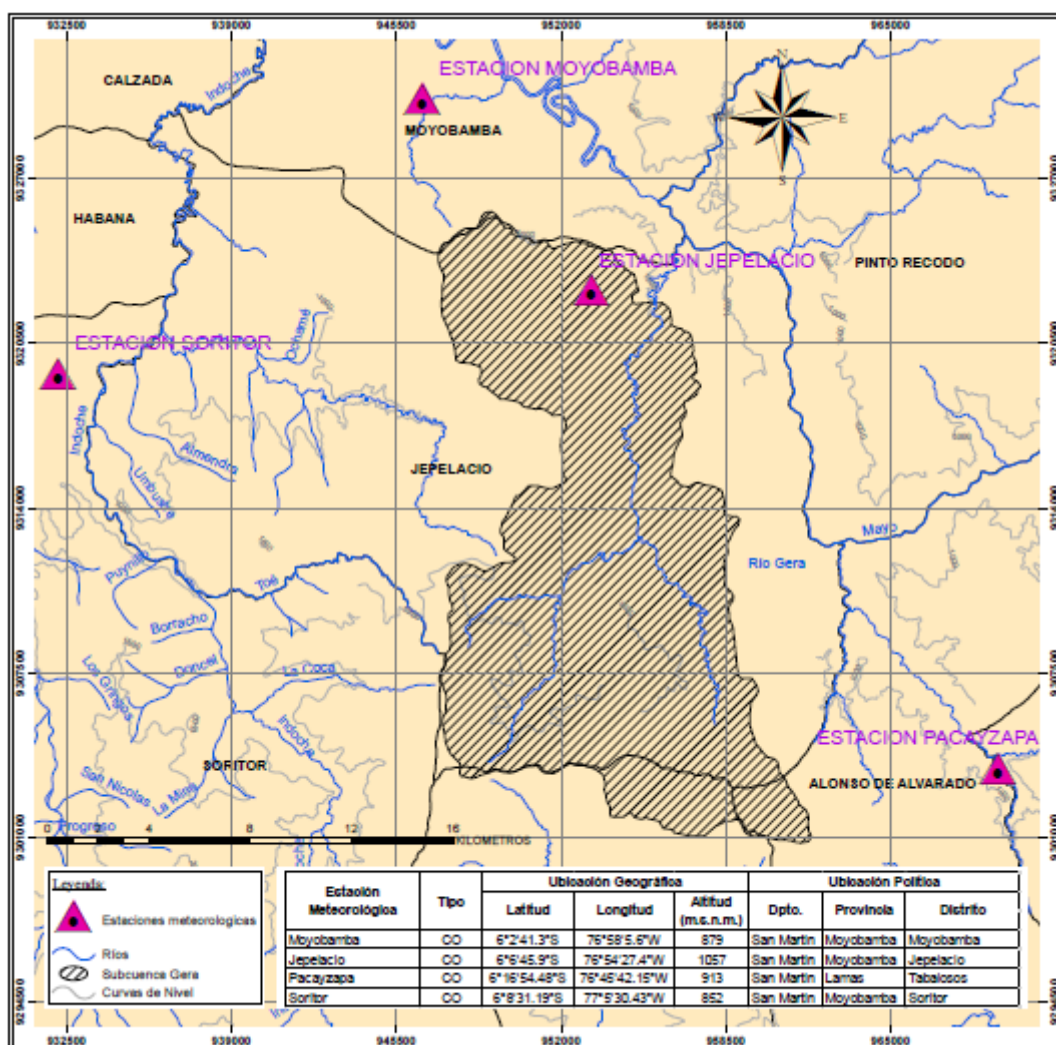


Figura 7. Delimitación de la subcuenca del río Gera obtenido mediante Arc Gis
Fuente: Elaboración propia (2019)

Actividad 2: Obtención de Parámetros de forma

El flujo de trabajo consistió en el procesamiento de datos usando ArcToolbox por medio de instrumentos de modelado matemático incorporados para visualizar condiciones hidrológicas del área de estudio. El primer paso fue descargar datos y leerlos. Para el análisis de las propiedades del terreno, se visualizó un histograma de los datos raster. La ejecución de Longitud de flujo y Dirección de flujo se ha realizado utilizando la Herramienta de análisis espacial, Hidrología. La longitud del flujo se calculó para seleccionar la longitud de la ruta de flujo más larga dentro de una cuenca del Gera y crear diagramas distancia-área de eventos de lluvia y escorrentía usando el peso raster. Para determinar la distancia y el tiempo de viaje se utilizó el peso. Se utilizó una versión simple de un modelo de escorrentía, determinando el agua corriendo cuesta abajo (Lemenkova, 2016, p. 582).

En la Tabla 2 se puede apreciar los valores de: área, perímetro; longitud total de los ríos y longitud del río principal de la subcuenca obtenida mediante el software ArcGIS.

Tabla 2

Área, perímetro y longitud de los ríos de la subcuenca Gera

Descripción	Valor
Área (Km ²): A	206.98 Km ²
Coefficiente de compacidad Kc	1.65
Perímetro (Km): P	84.92 Km
Forma de la cuenca Ff	0.31
Longitud Total de los ríos (km): Lt	45.16 Km
Longitud del Río Principal (km): Lp	25.71 Km

Fuente: Elaboración Propia (2019)

Actividad 3: Cálculo de Parámetros de relieve

En la Figura 8 se pueden observar las diferentes elevaciones presentes en la subcuenca del río Gera.

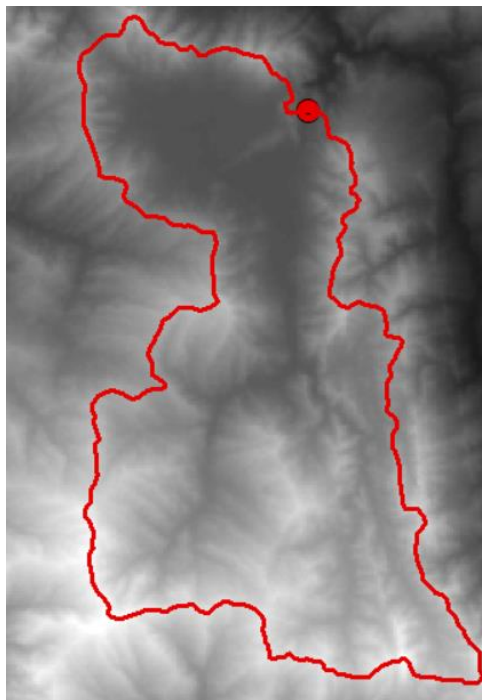


Figura 8. Diferencias de altitudes en subcuenca del río Gera obtenido mediante Arc Gis
Fuente: Elaboración propia (2019).

Se determinó la Altura Media de la cuenca, definida como la altitud que delimita el 50% del área de la cuenca por encima y el 50% del área de la cuenca por debajo de esta altitud. Se representa mediante la curva hipsométrica en la Figura 9. La Tabla 3. muestra la determinación mediante la ponderación de las elevaciones que han sido calculadas con la siguiente fórmula:

$$Altitud\ media = \frac{Volumen}{Área} = \frac{\sum_{i=1}^n Área\ parcial_i \times Altitud\ media_i}{\sum_{i=1}^n Área\ parcial_i} \quad \dots(3.1)$$

$$Altitud\ media = 1376.57\ m.\ s.\ n.\ m$$

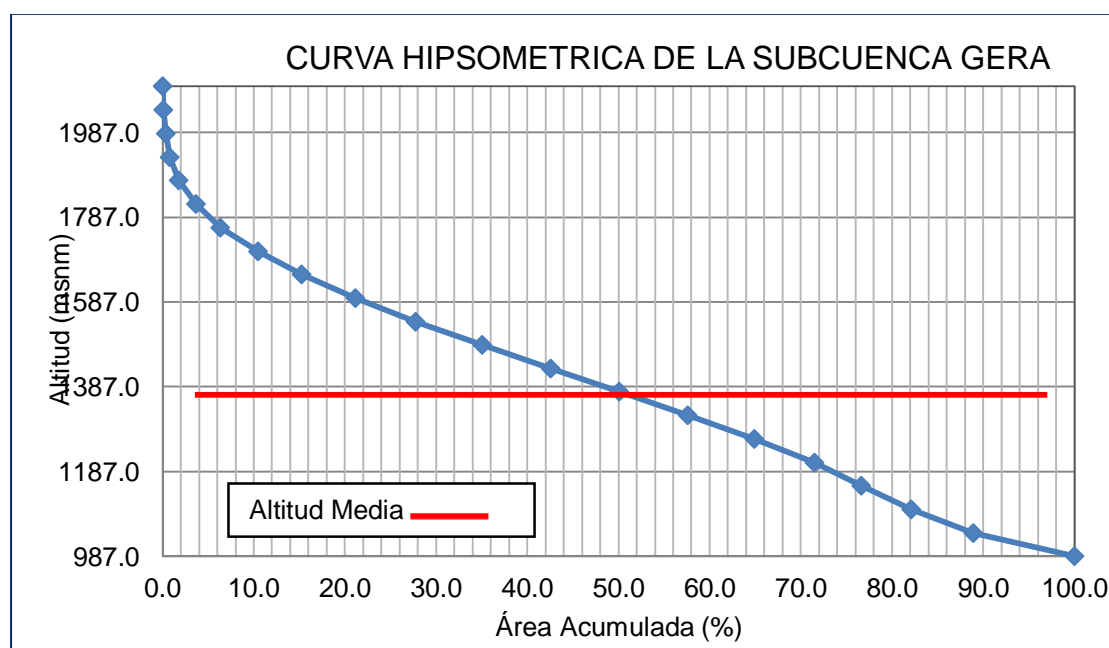
Donde:

n= número de intervalos de diferencia de cotas

Tabla 3*Determinación de la curva hipsométrica de la subcuenca del río Gera*

Cota baja (msnm)	Cota alta (msnm)	Área parcial (Km ²)	Altitud media (msnm)	Altitud Ponderada (msnm Km ²)	Área acumulada (Km ²)
	987.0				
987.0	1042.0	22.9	1014.5	23236.9	22.9
1043.0	1097.0	14.1	1070.0	15092.5	37.0
1098.0	1153.0	11.4	1125.5	12783.4	48.4
1154.0	1208.0	10.6	1181.0	12460.7	58.9
1209.0	1264.0	13.7	1236.5	16931.5	72.6
1265.0	1319.0	15.0	1292.0	19444.0	87.7
1320.0	1375.0	15.7	1347.5	21112.2	103.3
1376.0	1430.0	15.5	1403.0	21680.6	118.8
1431.0	1486.0	15.7	1458.5	22826.2	134.4
1487.0	1541.0	15.0	1514.0	22785.0	149.5
1542.0	1596.0	13.8	1569.0	21578.8	163.2
1597.0	1652.0	12.1	1624.5	19706.2	175.4
1653.0	1707.0	9.9	1680.0	16586.2	185.2
1708.0	1763.0	8.5	1735.5	14824.8	193.8
1764.0	1818.0	5.6	1791.0	10101.9	199.4
1819.0	1874.0	3.9	1846.5	7133.5	203.3
1875.0	1929.0	2.0	1902.0	3820.9	205.3
1930.0	1985.0	1.0	1957.5	1882.2	206.3
1986.0	2040.0	0.5	2013.0	1106.0	206.8
2046.0	2096.0	0.2	2071.0	355.6	207.0
Total		206.98		285,449.04	
Altitud Media (msnm)				1,376.57	

Fuente: Elaboración Propia (2019)

**Figura 9.** Curva Hipsométrica de la subcuenca del río Gera

Fuente: Elaboración propia (2019)

Pendiente media de la cuenca (J): es el porcentaje de la relación entre la diferencia de altitudes y la longitud del cauce principal. Definido como:

$$J = \frac{Altitud_{m\acute{a}x} - Altitud_{m\acute{i}n}}{Lp} \times 100 \quad \dots(3.2)$$

$$J = \frac{2096 - 987}{25710} \times 100 = 4.3\% \text{ ó } 0.043 \text{ m/m}$$

Actividad 4: Definir los Parámetros de drenaje

Grado de ramificación: se refiere a la jerarquización de una red de drenaje. Asignándole el valor de 1 a los cursos nacientes, el valor 2 a la conjunción de cauce de orden 1, valor 3 a la unión de dos cauces de valor 2 y así sucesivamente. De esta manera, la Figura 10 corresponde al grado de ramificación de la subcuenca del río Gera, el cual tiene el valor de 3.

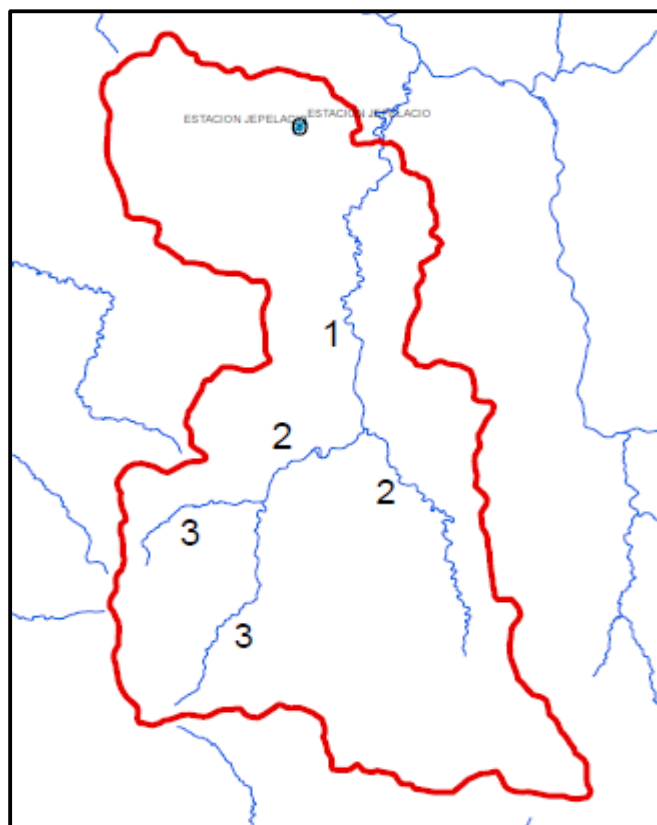


Figura 10. Grado de Ramificación en subcuenca del río Gera obtenido mediante Arc GIS
Fuente: Elaboración propia (2019).

Densidad de drenaje (Dd): entendido como la relación entre la suma de las longitudes de todos los cursos de agua que drenan por la cuenca con respecto al área de la misma.

$$Dd = \frac{Lt}{A} = \frac{45.16}{206.98} \quad \dots(3.3)$$

$$Dd = 0.2182 \text{ Km/Km}^2$$

Tiempo de concentración (Tc): El tiempo que tarda una sola gota de lluvia en viajar desde el punto más alejado de una cuenca hasta la desembocadura se conoce como tiempo de flujo superficial (Chow et al., 1994). Puede calcularse mediante distintas fórmulas, pero aquí utilizaremos la desarrollada por Témez (1978).

$$Tc = 0.3 \left(\frac{Lp}{j^{0.25}} \right)^{0.76} \quad \dots(3.4)$$

$$Tc = 0.3 \left(\frac{25.71}{4.3^{0.25}} \right)^{0.76} = 6.43 \text{ Horas}$$

En la tabla 18 se han consolidado los resultados mostrados en la Tabla 2 (de las actividades 1 y 2) y los resultados de las actividades 3 y 4 del objetivo N° 1.

3.3.2. Actividades del objetivo específico 2: Identificar las variables hidrológicas en la subcuenca del río Gera

Actividad 1: Solicitar y complementar la información de las Estaciones Hidrometeorológicas.

En este estudio se empleará la técnica cuantitativa por las ventajas que ofrece en ámbitos como la generalización, el control, la precisión, la replicación y la predicción. Éstas son la columna vertebral de todo modelo de predicción, y el modelo hidrológico de Lutz Scholz para la estimación de caudales medios mensuales es un buen ejemplo. Dentro de sus procedimientos, lleva a cabo un análisis lógico, secuencial y basado en pruebas del mundo exterior. Entre las principales características de esta estrategia de investigación cabe citar la concentración en métodos limitados, la medición de fenómenos, el análisis estadístico y la validación de hipótesis y teorías (Sampieri et al, 2014, p. 4).

El método de Lutz Scholz se usa para calcular los caudales medios mensuales cuando no sea posible medir los caudales medios mensuales en una subcuenca por medio de aforos de caudales diarios. En ambos casos es necesario la información de la Precipitación Total Mensual, la cual se obtiene de la medición por Estaciones Meteorológicas de la precipitación diaria.

Se ha determinado la cantidad de años de la muestra según criterio del autor, a pesar de que, a mayor cantidad de años de datos, mejor la predicción y la extrapolación de datos. Se priorizó la accesibilidad a los datos hidrometeorológicos remitidos por SENAMHI y a su cercanía con la fecha de la investigación.

La comprensión de las variables hidrometeorológicas es de suma importancia para la elaboración de modelos matemáticos como el modelo de Lutz Scholz y en los modelos hidrológicos autorregresivos, ya que se pueden obtener resultados aceptables rápidamente (Traverso et al, 2019, p. 4690). Las variables hidrológicas que se utilizan en el análisis de esta investigación son la precipitación, temperatura. Los datos han sido adquiridos del SENAMHI que se encarga del manejo y operación de los parámetros climatológicos en la región. Para el estudio se emplearon Estaciones hidrometeorológicas detalladas en la Tabla 4, las cuales se encuentran dentro del área de estudio delimitada en el acápite 3.3.1 y alrededor de la misma. Un disipador atmosférico, sensores electrónicos de medición, un colector de datos y un transmisor GOES con una antena de transmisión omnidireccional forman parte de cada estación como lo ilustra la figura 11. Precipitación, nivel piezométrico del agua, nivel del agua por radar, temperatura, radiación solar, humedad relativa y velocidad del viento son los datos recogidos.

Se utilizan instrumentos que han demostrado ser válidos y confiables en estudios previos.



Figura 11. Sensores de medición electrónico

Fuente: Adaptado de Rodriguez, I (2020, p. 12).

Tabla 4*Estaciones Hidrometeorológicas SENAMHI para recolección de datos*

Estación Hidromet.	Tipo	Ubicación Geográfica			Ubicación Política		
		Latitud	Longitud	Altitud (m.s.n.m.)	Dpto.	Provincia	Distrito
Moyobamba	CO	6°2'41.3"S	76°58'5.6"W	879	San Martín	Moyobamba	Moyobamba
Jepelacio	CO	6°6'45.9"S	76°54'27.4"W	1057	San Martín	Moyobamba	Jepelacio
Pacayzapa	CO	6°16'54.48"S	76°45'42.15"W	913	San Martín	Lamas	Tabalosos
Naranjillo	CA	5°48'35.88"S	77°23'35.8"W	882	San Martín	Rioja	Nueva Cajamarca
Soritor	CO	6°8'31.19"S	77°5'30.43"W	852	San Martín	Moyobamba	Soritor

Fuente: Adaptado de SENAMHI (2022)

A continuación, se detalla la ubicación de las estaciones hidrometeorológicas cercanas al área de estudio en la Figura 12.

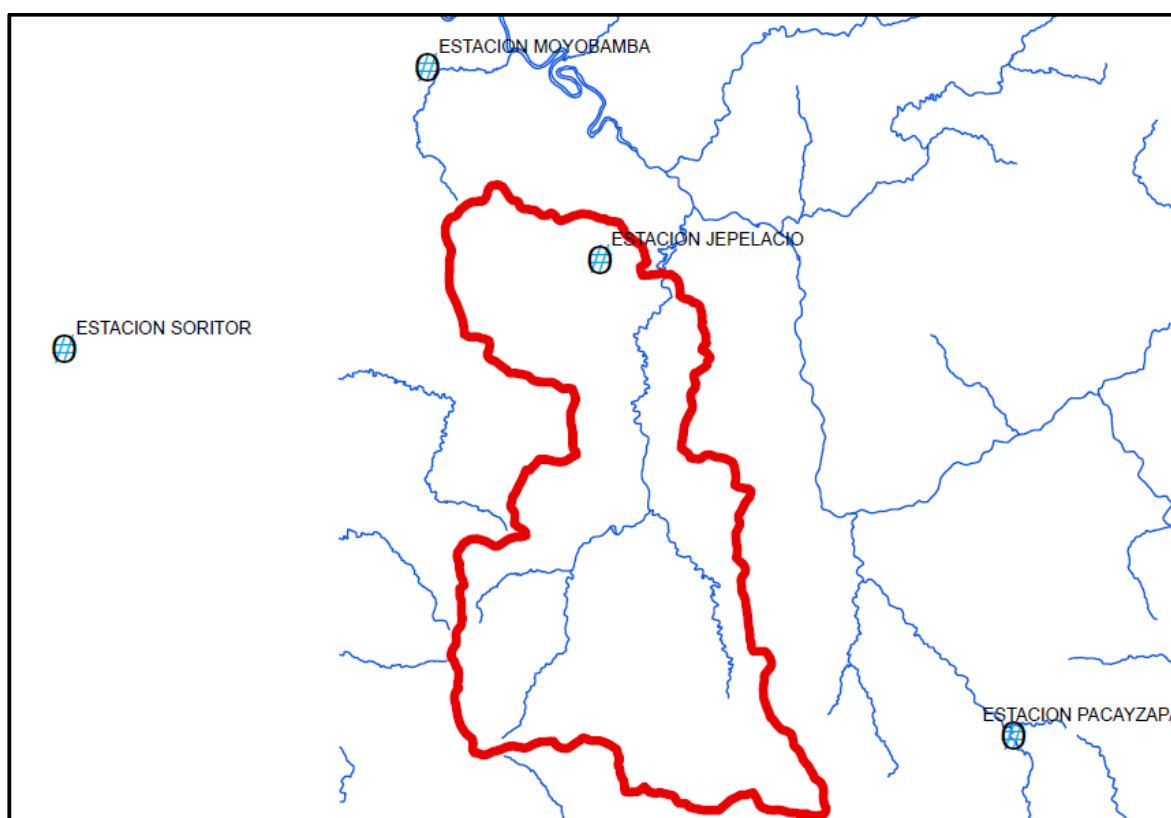


Figura 12. Ubicación de las Estaciones Hidrometeorológicas cercanas al área de estudio obtenido mediante Arc GIS

Fuente: Elaboración propia (2019)

Los datos pluviométricos de cualquier punto de la cuenca investigada pueden recogerse en el pluviómetro más cercano utilizando el método del polígono de Thiessen. Como resultado, la lectura del pluviómetro se utiliza hasta la mitad de la distancia hasta llegar a la siguiente estación hidrometeorológica. Del mismo modo, la técnica de Thiessen implica el levantamiento de las bisectrices perpendiculares de los triángulos generados a partir de la unión de los puntos existentes en la cuenca que representan las estaciones y, a continuación, el trazado de los polígonos resultantes. Resultando en la Figura 13.



Figura 13. Polígono de Thiessen en el área de estudio obtenido mediante Arc GIS
Fuente: Elaboración propia (2019)

De la Figura 13 se puede visualizar que la cuenca se divide en predominantemente dos secciones. Sin embargo, en la Tabla 5 se encuentra detallada el área de influencia de cada estación hidrometeorológica.

Tabla 5

Área de influencia de las Estaciones Hidrometeorológicas en subcuenca del río Gera

ESTACIÓN HIDROMET.	ÁREA (km²)	COEFICIENTE	% DE INFLUENCIA
Est. Moyobamba	0.14	0.000676786	0.07%
Est. Jepelacio	153.5	0.742047762	74.20%
Est. Pacayzapa	53.22	0.257275452	25.73%
TOTAL	206.86	1	

Fuente: Adaptado de ArcGIS, Elaboración Propia 2022

De esta manera quedan descartadas las estaciones Soritor y Naranjillo ya que no tienen influencia en la subcuenca del río Gera. Quedando las estaciones hidrometeorológicas, descritas en la Tabla 6.

Tabla 6

Estaciones Hidrometeorológicas con influencia en subcuenca del río Gera

Estación Hidromet.	Tipo	Ubicación Geográfica			Ubicación Política		
		Latitud	Longitud	Altitud (m.s.n.m.)	Dpto.	Provincia	Distrito
Moyobamba	CO	6°2'41.3"S	76°58'5.6"W	879	San Martín	Moyobamba	Moyobamba
Jepelacio	CO	6°6'45.9"S	76°54'27.4"W	1057	San Martín	Moyobamba	Jepelacio
Pacayzapa	CO	6°16'54.48"S	76°45'42.15"W	913	San Martín	Lamas	Tabalosos

Fuente: Adaptado de SENAMHI (2022)

Se procedió a completar los datos faltantes mediante el método de regresión lineal múltiple. En el Anexo 5 se muestran los cuadros con los datos obtenidos.

Actividad 2: Análisis de consistencia de datos mediante Hidrogramas

Para recolectar los datos se utilizan formularios y métodos normalizados. Los procesos de medición y registro proporcionan datos. Los caudales medios mensuales del modelo de Lutz Scholz se determinan de forma determinista a partir de los totales mensuales de precipitaciones. Los datos mensuales de caudal aforado se utilizan de forma similar para la validación del modelo.

En la tercera etapa, se realiza el análisis de consistencia de información de los datos hidrometeorológicos para detectar cambios en la media y la desviación típica. Para ello

se utilizan tres enfoques cuantitativos, según Aliaga y De Piérola (1979, p. 5), para dividir los periodos de tiempo inciertos, se realiza un análisis de hidrogramas como primera aproximación analítica a la bondad de la información antes de pasar al análisis de doble masa y al análisis estadístico. Se utilizan gráficos para representar visualmente los datos originales, con ordenadas que representan el valor de la información (temperatura, precipitación, descargas, etc.) y abscisas que representan el tiempo en intervalos anuales, mensuales, semanales o diarios. Para eliminar las pistas potencialmente falsas y aislar las fuentes más fiables se utilizaron los siguientes procedimientos:

En caso de contar con estaciones hidrometeorológicas vecinas, los gráficos se compararon y se contrastaron los datos en los periodos donde se perciban variaciones.

Si se contó con una sola estación se divide en periodos y se comparó con la información obtenida en campo. Es posible, por ejemplo, que la estación hidrometeorológica estuvo ubicada en otro lugar, su lectura pudo presentar un salto en el periodo de traslado.

Al tener los datos de precipitación y escorrentía, al comparar los diagramas, los datos debieron tener un comportamiento similar.

Se tuvo que mantener en lo posible el periodo más reciente y con mayor cantidad de datos como el más confiable, y se analizó según criterio técnico.

Las Figuras 14, 15 y 16 muestran los hidrogramas de las precipitaciones registradas en las estaciones de Jepelacio, Moyobamba y Pacayzapa.

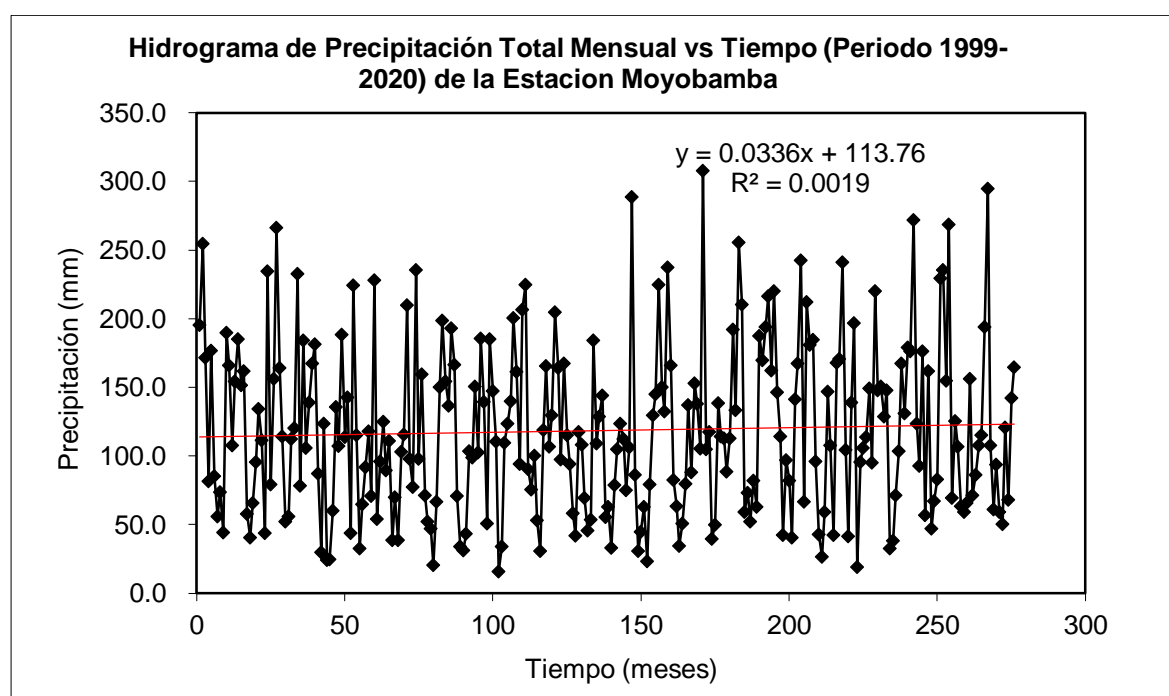


Figura 14. Hidrograma de precipitaciones totales mensuales de la Estación Moyobamba

Fuente: Adaptado de SENAMHI (2022).

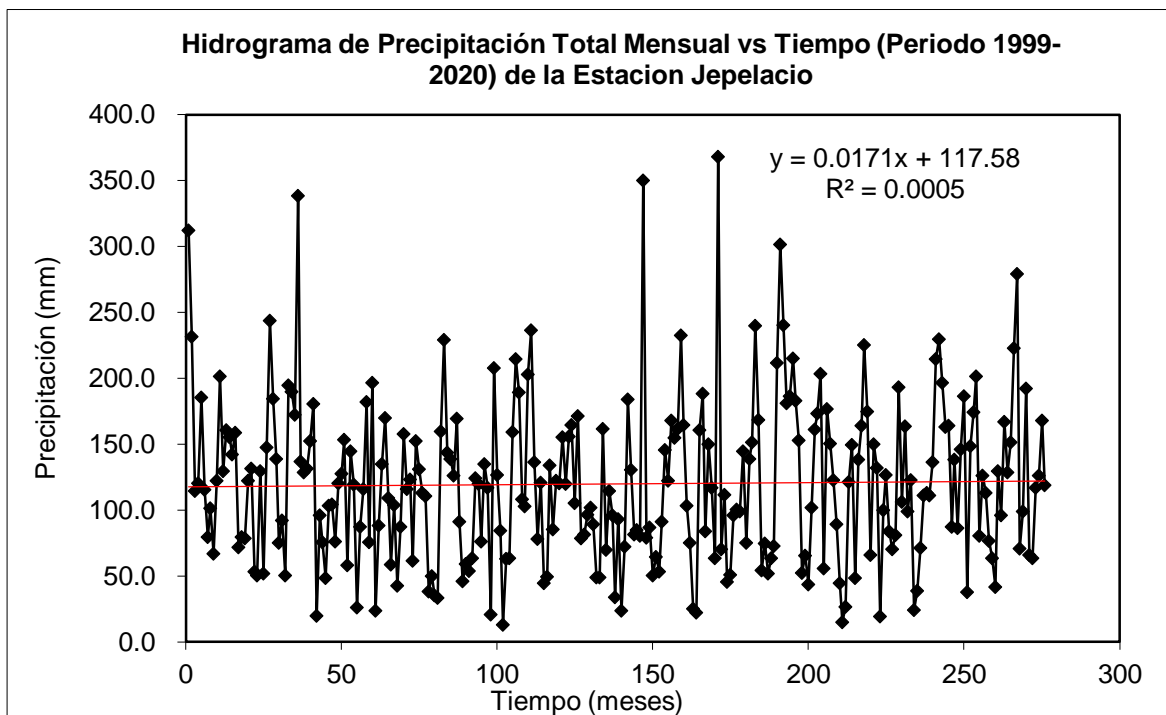


Figura 15. Hidrograma de precipitaciones totales mensuales de la Estación Jepelacio
Fuente: Adaptado de SENAMHI (2022).

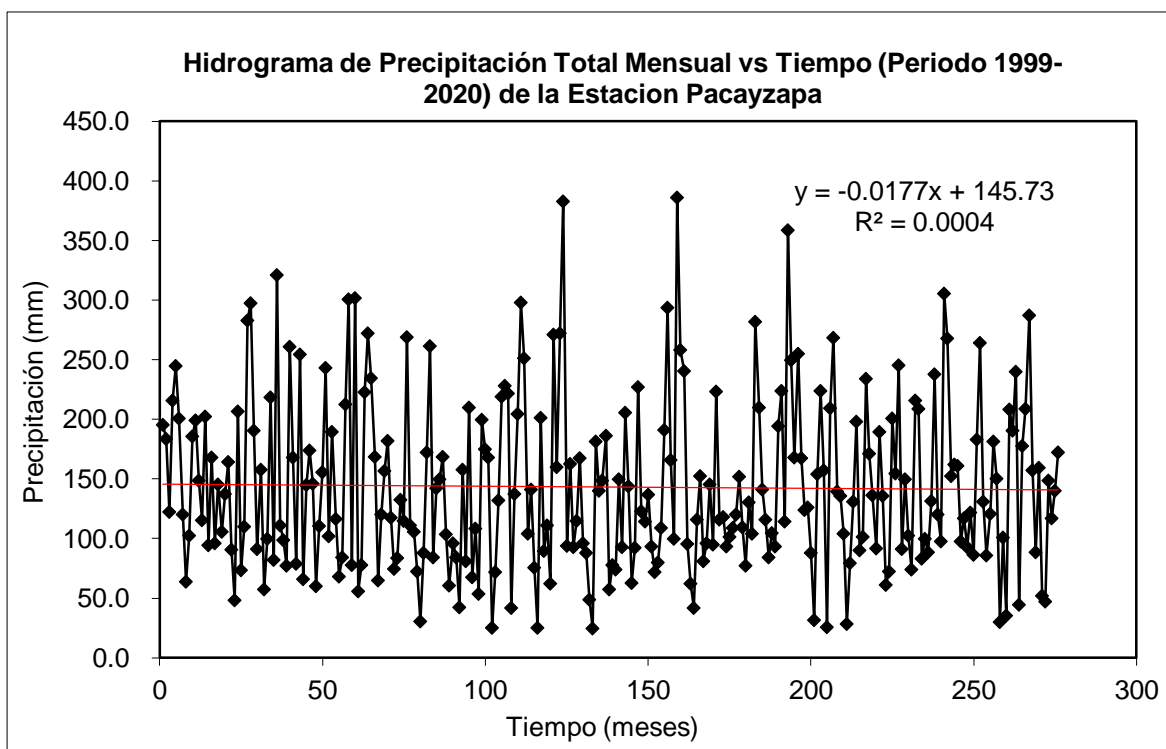


Figura 16. Hidrograma de precipitaciones totales mensuales de la Estación Pacayzapa
Fuente: Adaptado de SENAMHI (2022)

Actividad 3: Análisis de consistencia de datos mediante gráficos de Doble Masa

Se han detectado posibles errores en la recogida de datos mediante el análisis de doble masa. La línea de doble masa se utiliza sin realizar ningún ajuste. Los intervalos de incertidumbre y fiabilidad en cada estación se calcularon a partir de la aparición de roturas en los diagramas de doble masa. La estación con menos puntos de fallo resultó ser la más fiable. Cada quiebre significa un salto en los datos recogidos. Así se llevó a cabo el análisis:

La acumulación media anual se muestra en el eje de abscisas, mientras que la acumulación anual en cada centro de investigación se representa en el eje de ordenadas. Se seleccionó el gráfico de doble masa que presentó el menor número de quiebres, el cuál es el más confiable. Sólo en el caso del análisis de doble masa rellenamos los espacios en blanco mediante interpolación o una media. Los valores de precipitaciones de las estaciones se compararon con el promedio de las mismas, con el fin de establecer si existen saltos. En la Tabla 7 se visualizan los datos a ingresados en el análisis de doble masa.

Tabla 7

Registro de Precipitaciones en Estaciones Hidrometeorológicas para Análisis de Doble Masa

AÑO	Estación Moyobamba		Estación Jepelacio		Estación Pacayzapa		Prom. de las 3 estaciones
	Total	Acumulado	Total	Acumulado	Total	Acumulado	
1999	1603.80	1603.80	1782.8	1782.80	1984.6	1984.60	1790.40
2000	1437.50	3041.30	1337.6	3120.40	1576.9	3561.50	1450.67
2001	1617.10	4658.40	1882.9	5003.30	1984.6	5546.10	1828.20
2002	1186.70	5845.10	1257.1	6260.40	1641.6	7187.70	1361.80
2003	1435.30	7280.40	1409.7	7670.10	1964.3	9152.00	1603.10
2004	1149.70	8430.10	1219.0	8889.10	1748.7	10900.70	1372.47
2005	1332.30	9762.40	1260.8	10149.90	1527.9	12428.60	1373.67
2006	1317.40	11079.80	1207.7	11357.60	1365.0	13793.60	1296.70
2007	1418.80	12498.60	1370.4	12728.00	1646.5	15440.10	1478.57
2008	1396.90	13895.50	1436.5	14164.50	1703.0	17143.10	1512.13
2009	1284.20	15179.70	1371.3	15535.80	1951.9	19095.00	1535.80
2010	1192.20	16371.90	1113.0	16648.80	1483.8	20578.80	1263.00
2011	1296.60	17668.50	1379.5	18028.30	1596.6	22175.40	1424.23
2012	1375.70	19044.20	1525.3	19553.60	1797.3	23972.70	1566.10
2013	1431.40	20475.60	1345.5	20899.10	1462.3	25435.00	1413.07
2014	1673.10	22148.70	1771.2	22670.30	1800.2	27235.20	1748.17
2015	1674.00	23822.70	1721.5	24391.80	2104.6	29339.80	1833.37
2016	1334.80	25157.50	1141.7	25533.50	1514.7	30854.50	1330.40
2017	1473.40	26630.90	1397.3	26930.80	1786.4	32640.90	1552.37
2018	1519.20	28150.10	1293.4	28224.20	1612.6	34253.50	1475.07
2019	1722.30	29872.40	1305.4	29567.18	1774.3	36154.48	1600.70
2020	1336.20	31208.60	1266.3	30833.50	1782.0	37936.56	1461.53
2021	1472.90	32681.50	1227.2	32060.70	1789.7	39726.35	1496.63

Fuente: SENAMHI (2022)

Luego se procedió a graficar la Curva de Doble Masa de las estaciones en estudio, como se muestra en la Figura 17.

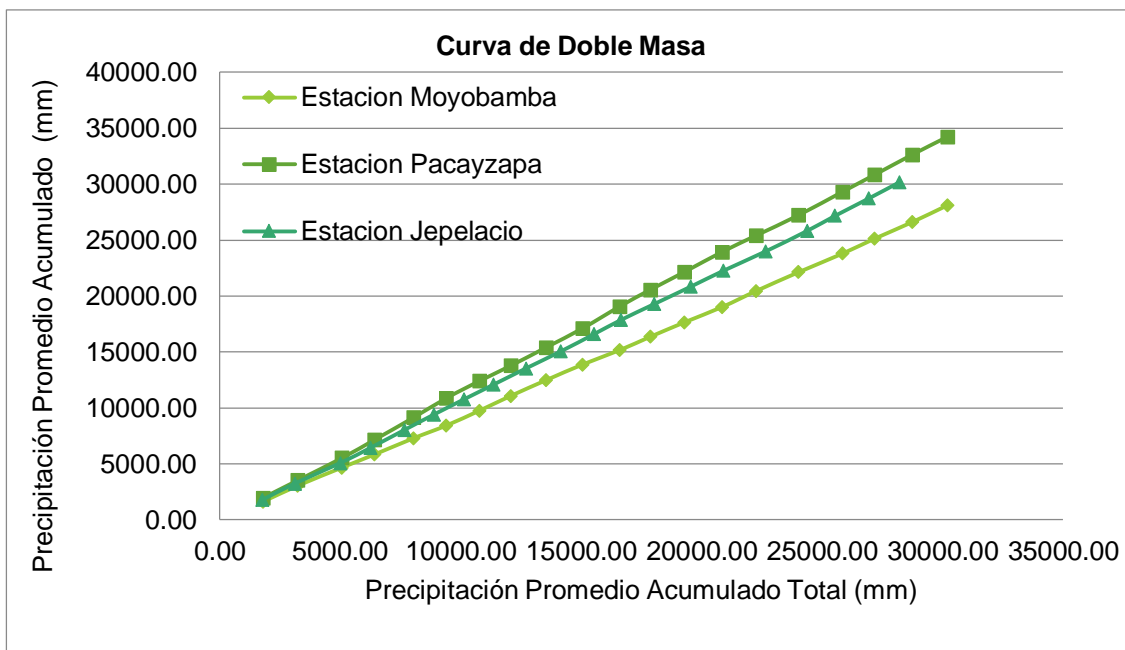


Figura 17. Curva de Doble Masa de las Estaciones consideradas en el estudio
Fuente: Elaboración propia

Del análisis visual de las Curva de Doble Masa se pudo ver una ligera variación que representaría un salto en la Estación Moyobamba, ver Figura 18. De esta manera se procedió a su respectivo análisis estadístico.

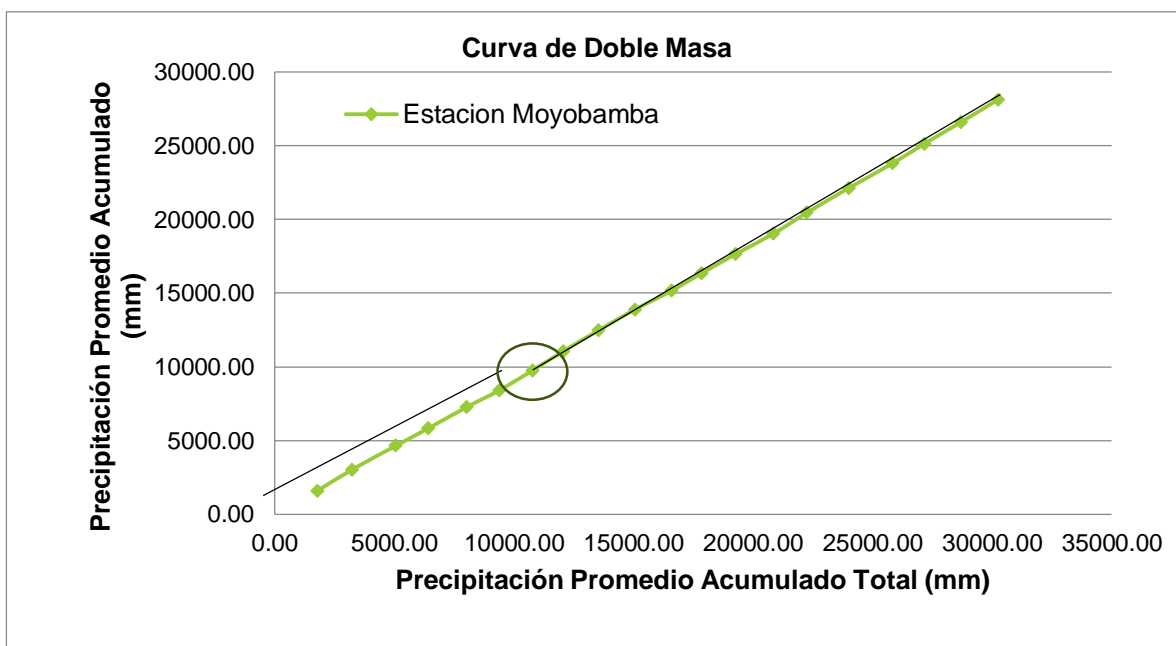


Figura 18. Curva de Doble Masa de la Estación Moyobamba
Fuente: Elaboración propia

De la misma manera, se visualiza en los gráficos de las Figuras 19 y la Figura 20 de las estaciones Jepelacio y Pacayzapa respectivamente. En los que no se visualiza ningún salto.

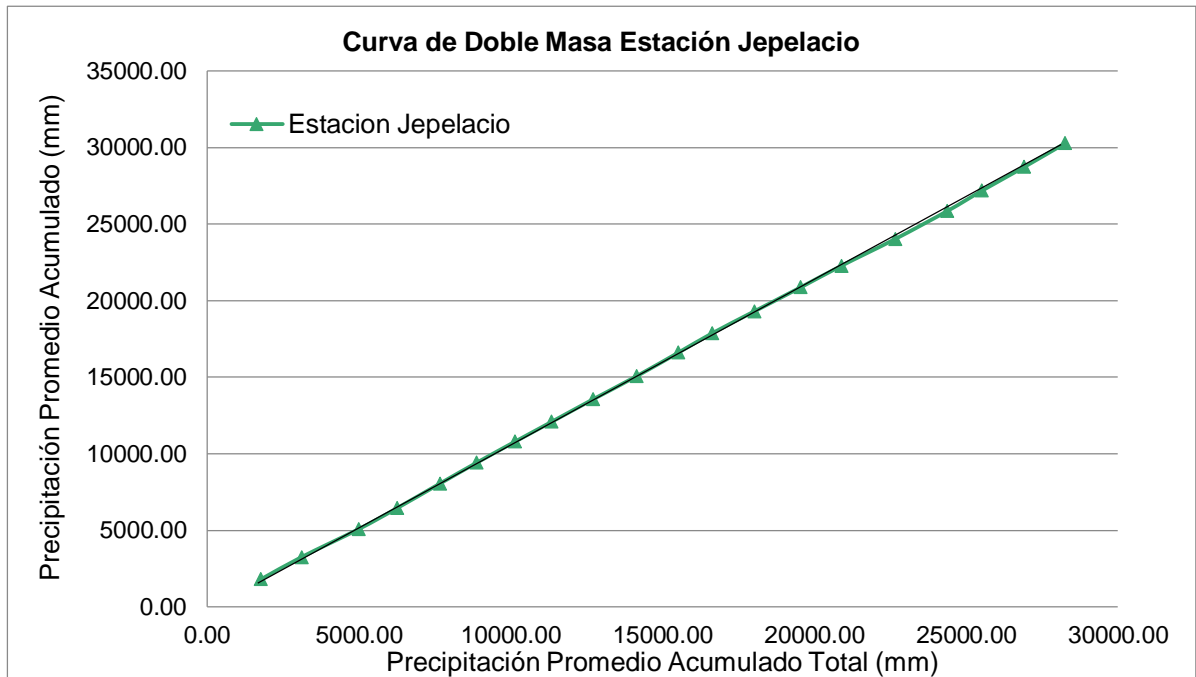


Figura 19. Curva de Doble Masa de la Estación Jepelacio
Fuente: Elaboración propia

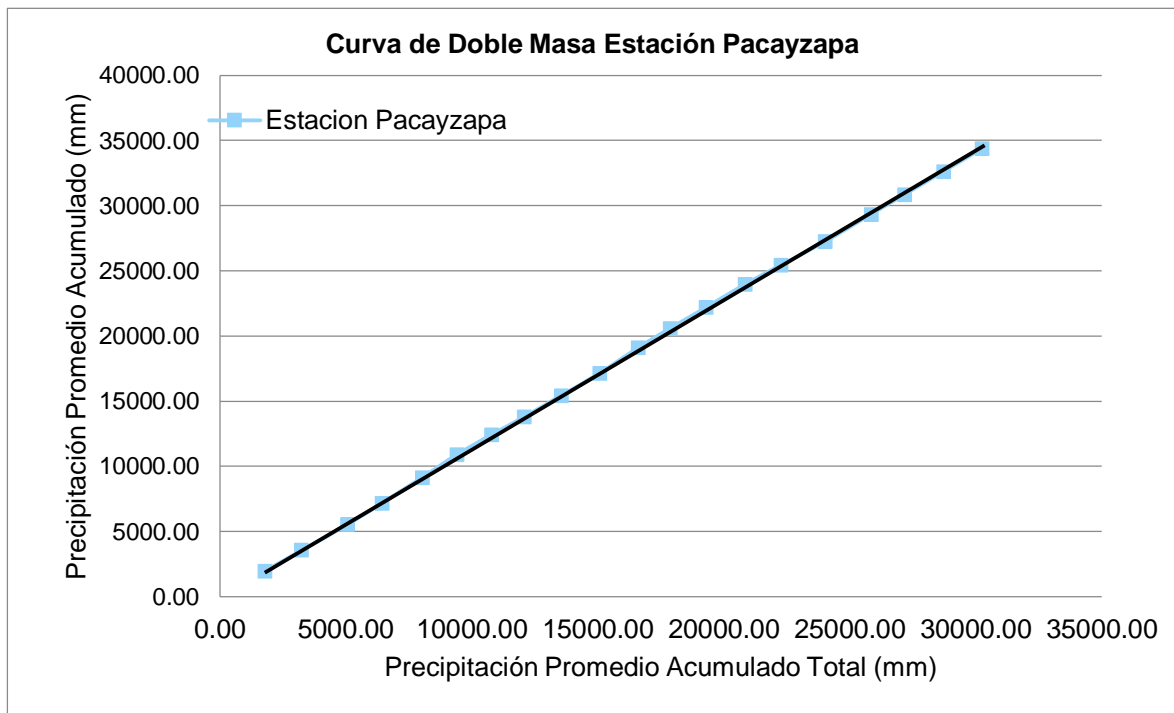


Figura 20. Curva de Doble Masa de las Estaciones Pacayzapa
Fuente: Elaboración propia

Actividad 4: Análisis Estadístico de consistencia de datos

El momento de la corrección de los datos comenzó tras la elaboración de los primeros gráficos o hidrogramas y de los gráficos de doble masa. Tanto la media como la desviación estándar se analizaron estadísticamente para comprobar si se encontraban dentro del intervalo admisible para un nivel significativo basado en la hipótesis. Tanto el tiempo durante el cual se conservarían los datos originales como el periodo durante el cual se actualizarían se establecieron en función de la elección técnica.

Consistencia en la media: La igualdad o diferencia estadística entre las medias se analizó mediante la prueba de significación "T".

Cálculo de la media y desviación estándar para cada periodo según las siguientes ecuaciones:

$$\bar{x}_1 = \frac{1}{n_1} \sum_{i=1}^{n_1} x_i ; s_1(x) = \left[\frac{1}{n_1-1} \sum_{i=1}^{n_1} (x_i - \bar{x}_1)^2 \right]^{1/2} \quad \dots(3.5)$$

$$\bar{x}_2 = \frac{1}{n_2} \sum_{j=n_1}^n x_j ; s_2(x) = \left[\frac{1}{n_2-1} \sum_{j=n_1}^n (x_j - \bar{x}_2)^2 \right]^{1/2} \quad \dots(3.6)$$

Donde:

x_i = información de análisis del periodo 1

x_j = información de análisis del periodo 2

\bar{x}_1 = media del periodo 1

\bar{x}_2 = media del periodo 2

$s_1(x)$ = desviación estándar del periodo 1

$s_2(x)$ = desviación estándar del periodo 2

n = tamaño de la muestra

n_1 = tamaño de la submuestra, del periodo 1

n_2 = tamaño de la submuestra, del periodo 2

$n = n_1 + n_2$

Estadística T: se compararon los valores de t calculados o t_c y los valores de t tabulados o t_t . El procedimiento para realizar esta prueba es:

Calcular t_c , según:

$$t_c = \frac{(\bar{x}_1 - \bar{x}_2) - (u_1 - u_2)}{s_{\bar{d}}} \quad \dots(3.7)$$

Donde: $u_1 - u_2 = 0$ (por hipótesis es que las medias son iguales); y $s_{\bar{d}}$ es la desviación estándar de la diferencia de promedios.

De esta manera la ecuación de t_c queda de la siguiente manera:

$$t_c = \frac{(\bar{x}_1 - \bar{x}_2)}{s_{\bar{d}}} \quad \dots(3.8)$$

Asimismo:

$$s_{\bar{d}} = s_p \left[\frac{-1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right]^{1/2} \quad \dots(3.9)$$

Siendo s_p la desviación estándar ponderada, con el cálculo descrito en la siguiente ecuación:

$$s_p = \left[\frac{(n_1 - 1)s_1^2 + (n_2 - 1)s_2^2}{n_1 + n_2 - 2} \right]^{1/2} \quad \dots(3.10)$$

Hallar el t tabulado, t_t .

Con el valor de α igual a 0.05 o 5%, que representa el nivel de confiabilidad del 95%, el valor crítico de t se obtiene de la tabla "t - student"

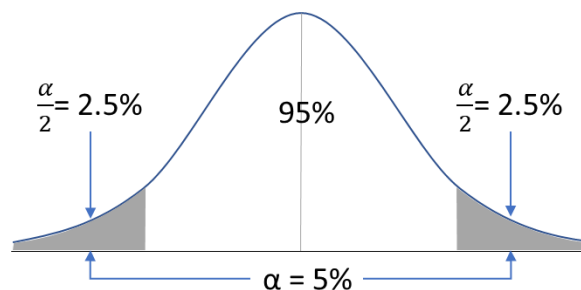


Figura 21. Curva de distribución t-student

Fuente: adaptado de Aliaga y Piérola (1979)

El siguiente paso fue la comparación del t calculado con el t tabulado:

$$Si |t_c| \leq t_t (95\%) \rightarrow \bar{x}_1 = \bar{x}_2 \quad \dots(3.11)$$

Para el caso descrito, cuando las medias son iguales estadísticamente $\bar{x}_1 = \bar{x}_2$, no fue necesaria la corrección. Caso contrario:

$$Si |t_c| > t_t (95\%) \rightarrow \bar{x}_1 \neq \bar{x}_2 \quad \dots(3.14)$$

Se debió proceder a corregir la información.

Consistencia en la desviación estándar: el análisis de consistencia en la desviación estándar se realizó con la prueba estadística “F”, el procedimiento se describe como:

Cálculo de las varianzas de ambos periodos:

$$s_1^2(x) = \left[\frac{1}{n_1 - 1} \right] \sum_{i=1}^{n_1} (x_i - \bar{x}_1)^2 \quad \dots(3.13)$$

$$s_2^2(x) = \left[\frac{1}{n_2 - 1} \right] \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}_2)^2 \quad \dots(3.14)$$

Donde:

$s_1^2(x)$: varianza en el periodo 1

$s_2^2(x)$: varianza en el periodo 2

Estadística F: se establece el nivel de significación, así como las hipótesis alternantes y la hipótesis planteada. Con el nivel de significación α igual a 0.05, y las siguientes hipótesis:

$H_p: \sigma_1^2 = \sigma_2^2$ (hipótesis planteada)

$H_a: \sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$ (hipótesis alternante)

Cálculo de F calculado o F_c :

$$F_c = \frac{S_1^2(x)}{S_2^2(x)}, \text{ si } S_1^2(x) > S_2^2(x) \quad \text{ó} \quad F_c = \frac{S_2^2(x)}{S_1^2(x)}, \text{ si } S_2^2(x) > S_1^2(x) \quad \dots(3.15)$$

Hallar el valor de F tabulado o F_t con una probabilidad de 95% y con un nivel de significación de 0.05 obtenido de las tablas F, donde:

$$G.L.N = n_1 - 1, \text{ si } S_1^2(x) > S_2^2(x)$$

$$G.L.D = n_2 - 1$$

$$G.L.N = n_2 - 1, \text{ si } S_2^2(x) > S_1^2(x)$$

$$G.L.D = n_1 - 1$$

Donde:

$G.L.N$ = grados de libertad del numerador

$G.L.D$ = grados de libertad del denominador

Además, se comparó el F_c con el F_t :

$$\text{Si } F_c \leq F_t (95\%) \rightarrow S_1(x) = S_2(x) \quad \text{ó} \quad \text{Si } F_c > F_t (95\%) \rightarrow S_1(x) \neq S_2(x) \quad \dots(3.16)$$

Para el último caso, en el que el F_c es mayor que el F_t con un nivel de significación del 0.05, se corrigió ya que $S_1(x) \neq S_2(x)$.

ANÁLISIS DEL SALTO EN ESTACION MOYOBAMBA					
ANÁLISIS DE SALTO					
1er. Periodo:	N1 = 72	P1 = 117.08	S1 = 60.71		
2do. Periodo:	N2 = 204	P2 = 118.88	S2 = 62.02		
PRUEBA DE MEDIAS:					
Alfa =	0.05	G.L. =	274	Sp =	61.68
		Sd =	8.46	Tc =	-0.21
				Tt =	1.97
Como $ T_c < T_t \implies P1$ es igual a $P2$, se concluye que no existe salto en la media					
PRUEBA DE VARIANCIAS:					
Alfa =	0.05	GLN =	71	GLD =	203
		Fc =	1.04		
		Ft =	1.36		
Como $F_c < F_t \implies S1$ es igual a $S2$, se concluye que no existe salto en la variancia					

Figura 22. Análisis de Salto en Estación Moyobamba

Fuente: Elaboración Propia (2022)

De la Figura 22 se concluyó que no existen saltos en los datos de la Estación Moyobamba y por lo tanto no fue necesaria la corrección de los mismos.

Se determinó el % de influencia de las estaciones hidrometeorológicas y se escogieron 3, mostradas en la Tabla 6; la información recabada por cada una de las estaciones escogidas se complementó y se sometió al análisis de consistencia de datos (actividades 2,3 y 4 del objetivo N°2). Posteriormente se ponderaron los valores de precipitación total mensual, mostradas en la Tabla 19.

3.3.3. Actividades del objetivo específico 3: Calcular la eficiencia del modelo hidrológico resultante de la aplicación del método de Lutz Scholz para el cálculo de caudales medios mensuales en la subcuenca del río Gera.

Actividad 1: Definir los parámetros de para el cálculo de caudales medios mensuales aplicando el método de Lutz Scholtz.

Para calcular los caudales mediante un método alternativo; en este caso el Método de Lutz Scholz, se necesitaron primero las características morfométricas y las variables hidrológicas. Obtenidas en el acápite 3.3.1 y 3.3.2. Además del coeficiente de agotamiento, la relación entre descargas y retención y la retención de la cuenca "R".

La ecuación 3.10 permitió calcular el coeficiente de agotamiento "a" a partir de datos hidrometeorológicos. Puede deducirse que el coeficiente de agotamiento fluctúa durante el transcurso de la estación seca, disminuyendo a un ritmo más lento con el tiempo. Los valores del coeficiente "a" eran tan próximos a cero durante la estación seca que pudieron despreciarse a lo largo del cómputo. El coeficiente de agotamiento es una función logarítmica de la superficie de la cuenca, en base a la siguiente ecuación:

$$a = f(\ln AR) \quad \dots(3.17)$$

El coeficiente de agotamiento real se puede calcular mediante aforos sucesivos en el río durante la época de estiaje. Cuando no se pueda aforar en la estación seca se puede recurrir a las ecuaciones dispuestas en la Tabla 8. Como lo fue en el caso de esta investigación. Se realizó una investigación exhaustiva en el área de estudio, la cual evidenció las limitaciones en cuanto al procedimiento en la recolección de datos. En primer lugar, la accesibilidad en el terreno, al no contar con infraestructura adecuada para el aproximamiento físico en la toma de datos.

Tabla 8

Ecuaciones para el cálculo del coeficiente de agotamiento "a"

Característica de la cuenca	Ecuación
Agotamiento rápido debido a temperatura elevada mayor a 10°C	$a = -0.00252 \times \ln(AR) + 0.034$
Reducción reducida (50 mm/año) hasta retención mediana	
Agotamiento muy rápido	$a = -0.00252 \times \ln(AR) + 0.03$
Retención: 50 a 80 mm/año	
Agotamiento mediano	$a = -0.00252 \times \ln(AR) + 0.026$
Retención reducida alrededor de 80 mm/año	
Vegetación mezclada: bosques, terrenos cultivados y pastos	
Agotamiento reducido	$a = -0.00252 \times \ln(AR) + 0.023$
Retención alta, mayor a 100 mm/año	
Vegetación mezclada	

Fuente: Plan Meriss II (1980)

Para el caso de la subcuenca del río Gera (según sus condiciones actuales de suelo, ocupación del territorio y cubierta vegetal) se ha considerado la expresión de la última ecuación de la Tabla 8.

$$a = -0.00252 \times \ln(AR) + 0.023 = -0.00252 \times \ln(206.98) + 0.023 = 0.0096$$

Relación entre descargas y retención: según el Plan Meriss II (1980) el gasto de la retención alimenta los ríos durante la estación seca o de estiaje y mantiene la descarga básica. Al final de la estación seca la reserva de la cuenca se agota, durante este periodo se puede indicar la descarga como:

$$Q_t = Q_0 \times e^{-a \times t} \quad \dots(3.18)$$

Donde:

Q_t = descarga en el tiempo "t"

Q_0 = descarga inicial

a = coeficiente de agotamiento

t = tiempo

Se asumió el tiempo igual a 30 días y la relación entre la descarga mensual y descarga inicial como b_0 , la ecuación 3.18 resultó de la siguiente manera:

$$b_0 = \frac{Q_1}{Q_0} = e^{-a \times t}$$

$$b_0 = e^{-a \times t} = e^{-0.0096 \times 30} = 0.751$$

Los acuíferos dejan de agotarse cuando empieza la temporada de lluvias y parte de la abundante precipitación se utiliza para rellenarlos. A lo largo de la cadena de abastecimiento puede observarse un desfase entre el caudal real y la precipitación efectiva. Los hidrogramas de la contribución a la retención del caudal muestran que el suministro es mayor al inicio de la estación de lluvias y que disminuye gradualmente a medida que se recargan parcialmente los depósitos naturales de agua como pantanos, lagunas, nevados y otros acuíferos.

Retención de la cuenca "R": se pudo calcular la contribución de la reserva hídrica al caudal suponiendo que para el año promedio exista un equilibrio entre el abastecimiento y el gasto de la reserva, acuífero o retención, considerando también que el caudal total sea igual a la precipitación anual. Se calcula según las siguientes fórmulas:

$$R_i = CM_i - PE_i \quad \dots(3.19)$$

$$CM_i = PE_i + G_i - A_i \quad \dots(3.20)$$

Donde:

R_i = retención de la cuenca (mm/mes)

CM_i = caudal mensual (mm/mes)

PE_i = precipitación efectiva mensual (mm/mes)

G_i = gasto de la retención (mm/mes)

A_i = abastecimiento de la retención (mm/mes)

$R_i = G_i$; para valores mayores de cero (mm/mes)

$R_i = A_i$; para valores menores de cero (mm/mes)

Actividad 2: Modelamiento hidrológico Lutz Scholz para la subcuenca del río Gera

Se procedió a obtener los datos de aforo de caudales mensuales de la hidroeléctrica del Gera administrada por Electro Oriente S.A. debido a que como se mencionó, no fue posible aforar los caudales con vertederos. Cabe mencionar que cuenta con una estación hidrométrica, se encuentra ubicado aguas arriba del Sector Bocatoma, distrito de Jepelacio, provincia de Moyobamba , departamento de San Martín, como referencia: Puente de los baños sulfurosos. La ubicación en coordenadas geográficas corresponde a Latitud: 06° 06´ 56.82" S, Longitud: 76° 53´ 10.75" O, Altitud: 1 025.80 msnm.

La recolección se basa en instrumentos estandarizados. Los datos se obtienen por medición y documentación, es un método de la sección y control de la regla graduada. La regla graduada o regleta tiene 3 desniveles con una altura total de 10 metros y su unidad de medida es el milímetro, por lo que se denomina también limnómetro. La calibración de un punto de medición permanente en donde se ubica el limnómetro se realiza con una curva de calibrado la cual relaciona el caudal con el nivel del agua. Para generar dicha curva es necesario proceder con el método del correntómetro, de esta manera se efectúan mediciones a diferentes profundidades del río con el equipo denominado correntómetro, el cual mide los caudales a diferentes niveles de agua, como se detalla en la Figura 23. Si la sección transversal de la corriente se modifica debido a la erosión o de la acumulación de depósitos, se tendrá que generar una nueva curva de calibrado. Por ejemplo, el modelamiento matemático realizado en el aforamiento año 2012 en la Estación Hidrométrica quedó con la siguiente fórmula:

$$\begin{aligned} \text{Si } Hl \leq 1.75 \text{ m} \rightarrow f(Hl) &= Hl^{5.663 \times 0.149}; \text{ Si } Hl > 1.75 \text{ m} \rightarrow f(Hl) \\ &= 140.252 + (-164.04 \times Hl) + 49.092 \times Hl^2 \end{aligned} \quad \dots(3.21)$$

Donde: H_I es la altura del limnómetro y $f(H_I)$ es la función que describe el caudal.

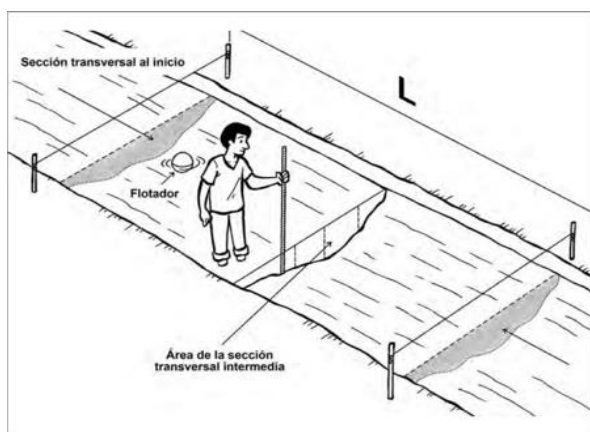


Figura 23. Medición con el método del correntómetro

Fuente: Electro Oriente S.A. (2022)

Las precipitaciones totales mensuales constituyen la parte determinística del Modelo de Lutz Scholz para el cálculo de caudales medios mensuales. Asimismo, los datos de los caudales mensuales aforados que son utilizados para la validación del modelo.

En la Tabla 9 se muestran las características generales de la subcuenca del río Gera, las cuales se usarán como parámetros para el cálculo de caudales medios mensuales aplicando el método de Lutz Scholtz.

Tabla 9

Características generales de la subcuenca del río Gera

Área de la Subcuenca: A	206.98	Km ²
Altitud Media de la Subcuenca: H	1376.57	m.s.n.m.
Pendiente Media de la Subcuenca	0.043	m/m
Temperatura Media Anual: T	22.1	°C
Precipitación Media Anual: P	1511.4	mm
Coeficiente de Agotamiento: a	0.0096	
Relación de Caudales (30 días): b _o	0.751	
Área de lagunas, nevados y acuíferos	4.1	Km ²
Gasto Mensual de Retención: R	40.0	mm/año

Fuente: Obtenido de ArcGIS, elaboración propia (2022)

Para cada lugar, el enfoque más universal y flexible para determinar la precipitación efectiva en función de la cubierta terrestre, la precipitación acumulada, las condiciones de humedad y la textura del suelo es el método del número de curva o número de curva. El uso más típico de esta técnica es convertir la precipitación total en precipitación efectiva. Los registros edafológicos y pluviográficos de la subcuenca estudiada deben entenderse en términos de su naturaleza y función.

Según Portuguéz (2016, p. 96) este método surgió de la observación del fenómeno hidrológico para distintas condiciones de humedad, en distintos tipos de suelo que a su vez se encontraban en varios estados. Se representaron mediante gráficos la profundidad de la precipitación (P) y escorrentía directa (Pe); luego se procedió a la observación y análisis para la estandarización de estas curvas, así se definió el Número de Curva (CN) adimensionalmente. De modo que:

$0 \leq CN \leq 100$: *Superficies Impermeables*

$CN = 100$: *Superficies de Agua*

$CN < 100$: *Superficies Naturales*

$CN = 0$: *Superficies sin escurrimiento*

Los números de CN se aplican para condiciones secas (Condición I), condiciones anteriores a la humedad (Condición II) y en condiciones humedad (Condición III)

El procedimiento para la generación de ráster CN inicia con la corrección de las celdas nulas o erradas del Modelo Digital de Elevación. Luego se debe acondicionar la información de acuerdo a la clasificación de la cobertura y el uso, así como del Grupo Hidrológico según la descripción del suelo. Después se genera la CN en condiciones normales (CN (II)) uniendo lo anterior. Además, para condiciones húmedas y las condiciones secas se utilizan las siguientes fórmulas:

$$CN(I) = \frac{4.2 CN (II)}{10 - 0.058 CN(II)} \quad \dots(3.22)$$

$$CN(III) = \frac{23 CN (II)}{10 + 0.13 CN(II)} \quad \dots(3.23)$$

En la presente investigación la CN se definió entre los valores de 66 a 74, siendo 70 el número a iniciar y posteriormente se cambió en la validación. El mapa de los rangos de la Curva Número se encuentra en los anexos, Mapa 04.

Los resultados de las precipitaciones efectivas de un año promedio las cuales han sido calculadas con las ecuaciones de la Curva Número se visualizan en la Tabla 10.

Tabla 10*Precipitaciones efectivas de un año promedio*

	N°	P	
MES	días del mes	Total	PE
		mm/mes	mm/mes
1	2	3	4
Enero	31	136.1	75.7
Febrero	28	150.3	88.0
Marzo	31	191.4	124.9
Abril	30	145.0	83.4
Mayo	31	124.0	65.4
Junio	30	85.7	35.0
Julio	31	71.6	24.9
Agosto	31	67.4	22.1
Setiem.	30	118.7	61.0
Octubre	31	145.6	84.0
Noviem.	30	137.1	76.6
Diciem.	31	138.5	77.8
AÑO		1511.4	818.8

Fuente: Elaboración propia (2022).

Cálculo del Gasto y Abastecimiento de la Retención: en este paso se calculó el gasto la de retención para los meses que se consideran en época de estiaje, de Abril a Setiembre.

Para elaborar el gasto de la retención en la subcuenca mostrado en la Tabla 11, se calculó la relación que hay entre la descarga del mes actual y del mes, teniendo como resultado a b_0 igual a 0.751.

Luego se realiza el cálculo sumando los valores obtenidos por cada mes:

$$b_1 = \sum_{i=1}^6 b_0^t \quad \dots(3.24)$$

Donde:

$i=1$ es el primer mes de estiaje, en el caso de la subcuenca del río Gera es Julio, y así sucesivamente hasta diciembre.

Se consideró que: los datos históricos de la cuenca permiten establecer la contribución mensual de la retención durante la estación seca. (Plan Meriss II, 1980, p.28)

Finalmente se tiene todas las variables para calcular el gasto de retención para cada mes indicado:

$$G_i = R \frac{b_0^i}{\sum_{i=1}^6 b_0^i} \quad \dots(3.25)$$

Siendo:

G_i = Gasto de la retención para el mes i

R = Retención de la subcuenca

El aporte de la retención se calculó empíricamente a partir de los datos históricos de la cuenca y de los datos de las cuencas cercanas. Visto como déficit mensual de precipitación efectiva PE_i , se puede entender la lámina de agua A_i que entra en la retención de la cuenca. Además, se utilizaron las siguientes fórmulas para determinar el abastecimiento o alimentación de la retención de la microcuenca:

$$A_i = a_i R \quad \dots(3.26)$$

Siendo:

A_i = Abastecimiento del mes i

R = Retención de la subcuenca

a_i = coeficiente de abastecimiento

$$a_i = \frac{PE_i}{PE_T} \quad \dots(3.27)$$

i = Mes del año, de Enero ($i= 1$) hasta Diciembre ($i= 12$)

PE_i = Precipitación efectiva del mes i

PE_T = Precipitación efectiva total de la subcuenca

Tabla 11*Contribución de la retención*

MES	PRECIPITACION MENSUAL			CONTRIBUCION DE LA RETENCION			
	N°	P		Gasto		Abastecimiento	
	días del mes	Total	PE	bi	Gi	ai	Ai
	mes	mm/mes	mm/mes	mm/mes			
1	2	3	4	5	6	7	8
Enero	31	136.1	75.7	0.000	0.0	0.200	8.0
Febrero	28	150.3	88.0	0.000	0.0	0.250	10.0
Marzo	31	191.4	124.9	0.000	0.0	0.350	14.0
Abril	30	145.0	83.4	0.010	39.6		0.0
Mayo	31	124.0	65.4	0.000	0.4		0.0
Junio	30	85.7	35.0	0.000	0.0		0.0
Julio	31	71.6	24.9	0.000	0.0		0.0
Agosto	31	67.4	22.1	0.000	0.0		0.0
Setiem.	30	118.7	61.0	0.000	0.0		0.0
Octubre	31	145.6	84.0	0.000	0.0	0.250	10.0
Noviem.	30	137.1	76.6	0.000	0.0	-0.050	-2.0
Diciem.	31	138.5	77.8	0.000	0.0	0.000	0.0
AÑO		1511.4	818.8	0.010	40.0	1.000	40.0

Fuente: Elaboración propia (2022)

Generación del caudal mensual para el año promedio: el cálculo se realizó con la ecuación 3.12 explicada anteriormente.

Los caudales mensuales obtenidos se compararon con los caudales aforados en la altitud media de la microcuenca antes de la captación en el río Gera, por lo tanto, los caudales que se generaron son para esta parte de la subcuenca. Todos los cálculos se muestran en la Tabla 12.

Tabla 12*Generación de caudales en el año promedio*

MES	PRECIPITACION MENSUAL			CONTRIBUCION DE LA RETENCION				CAUDALES	
	N°	P		Gasto		Abastecimiento		GENERADOS	
	días del mes	Total	PE	bi	Gi	ai	Ai	mm/mes	m3/s
	mes	mm/mes	mm/mes	mm/mes				mm/mes	mm/mes
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Enero	31	136.1	75.7	0.000	0.0	0.200	8.0	67.7	5.23
Febrero	28	150.3	88.0	0.000	0.0	0.250	10.0	78.0	6.67
Marzo	31	191.4	124.9	0.000	0.0	0.350	14.0	110.9	8.57
Abril	30	145.0	83.4	0.010	39.6		0.0	123.0	9.82
Mayo	31	124.0	65.4	0.000	0.4		0.0	65.8	5.08
Junio	30	85.7	35.0	0.000	0.0		0.0	35.0	2.80
Julio	31	71.6	24.9	0.000	0.0		0.0	24.9	1.92

Agosto	31	67.4	22.1	0.000	0.0		0.0	22.1	1.71
Setiem.	30	118.7	61.0	0.000	0.0		0.0	61.0	4.87
Octubre	31	145.6	84.0	0.000	0.0	0.250	10.0	74.0	5.72
Noviem.	30	137.1	76.6	0.000	0.0	-0.050	-2.0	78.6	6.28
Diciem.	31	138.5	77.8	0.000	0.0	0.000	0.0	77.8	6.01
AÑO		1511.4	818.8	0.010	40.0	1.000	40.0	818.8	5.39

Fuente: Elaboración propia (2022)

Actividad 3: Generación de caudales mensuales para periodos extendidos.

El modelo hidrológico de Lutz Scholz, permitió estimar los caudales del año promedio para la microcuenca. Es necesario generar datos durante un largo período de tiempo para calcular características estadísticas adicionales, además de los promedios, en particular la desviación típica que se requiere para calcular los caudales por encima de un determinado nivel de probabilidad.

Un proceso markoviano de primer orden combinado con una variable de impulso -en este caso, la precipitación efectiva- es una estrategia ideal para la creación de caudales.

Ecuación general del modelo Markoviano:

$$Q_i = f(Q_{i-1}) \quad \dots(3.28)$$

Variable de impulso considerada la precipitación efectiva:

$$Q = g(PE_i) \quad \dots(3.29)$$

También se utiliza una variable aleatoria para ampliar la gama de valores producidos y ofrecer una buena representación de la realidad:

$$Z = z \times S \times \sqrt{(1 - r^2)} \quad \dots(3.30)$$

Los tres ingredientes se combinan finalmente en una ecuación integral para obtener los caudales mensuales, se describe en la ecuación 2.1.

Estas variables se obtienen haciendo una regresión lineal múltiple entre el caudal del mes y el caudal del mes anterior (se empieza con el promedio de caudales del mes). La distribución normal de los números aleatorios se ven en el Tabla 14. En las Tablas 15 y 16 se muestran los valores de las descargas generadas en mm/mes y m³/s respectivamente (1999 – 2021). Los coeficientes del modelo matemático: b₁, b₂, b₃, S, R² se muestran en la Tabla 13.

Tabla 13

Resultados del cálculo de los coeficientes de la regresión del modelo matemático

<i>Estadísticas de la regresión</i>					
Coefficiente de correlación múltiple		0.923030235			
Coefficiente de determinación R ²		0.851984815			
R ² ajustado		0.819092551			
Error típico		13.0267378			
Observaciones		12			

ANÁLISIS DE VARIANZA					
	<i>Grados de libertad</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Valor crítico de F</i>
Regresión	2	8791.023346	4395.51167	25.902286	0.0001847
Residuos	9	1527.263079	169.695898		
Total	11	10318.28642			

	<i>Coefficientes</i>	<i>Error típico</i>	<i>Estadístico t</i>	<i>Probabilidad</i>
Intercepción	-3.703670373	10.97925363	0.33733353	0.743599448
Variable X 1	0.247157891	0.148604248	1.66319532	0.130634526
Variable X 2	0.807121597	0.155128801	5.20291262	0.000561866

Tabla 14

Distribución normal de los números aleatorios

Año	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Oct.	Nov.	Dic.
1999	0.9945428	-1.634985	-0.881122	1.312988	-0.71568	-0.632586	0.6108997	0.8544848	1.1756545	-1.688761	0.716823	0.0139806
2000	-1.254176	-0.4215	-1.157145	0.3458365	0.1977841	-1.385942	-0.569476	-0.840489	1.2735243	1.2388062	0.6056589	1.0069151
2001	-0.648266	-1.468485	0.6575911	0.294782	0.5348809	-0.491108	1.5261869	1.0757069	-1.229223	0.5760267	-0.465284	0.8075971
2002	0.8165775	-0.405894	-0.224348	-0.388196	1.5686348	0.4747201	0.3329124	-0.427587	-0.932061	-1.50917	-0.624068	-0.304257
2003	0.1015892	0.6540471	1.4837213	-0.690621	-1.16233	1.5681431	0.825069	1.332087	0.3243821	1.4615128	0.735572	0.0745192
2004	0.873851	1.357087	-1.574864	-0.598791	0.2639886	1.450207	0.5766828	0.5755821	-1.450212	-0.547688	-1.09971	-0.751175
2005	-0.700361	0.1558836	-0.927986	-0.704245	1.2765473	-0.008559	1.0790339	0.0952069	-1.020116	-1.385736	1.4565249	1.4264037
2006	-1.545069	-0.112295	-0.535363	0.8990015	1.4607173	-1.160959	-1.677168	-0.087901	-1.466758	0.6373951	-0.112669	-1.094498
2007	0.3721967	0.7710823	-1.61348	0.8520695	-0.087217	-0.039211	1.3533942	0.1610944	0.5443005	-1.571284	-0.327148	0.0356526
2008	0.0066171	-0.795474	0.1964933	-1.626188	0.7632478	-0.435943	-1.421564	0.6792572	-1.279136	-1.496944	0.7967282	1.345486
2009	-1.58807	0.7289349	1.0349533	1.067072	0.7023931	1.1703826	-0.236941	-0.861869	1.5382838	-1.602453	0.1295859	-0.340523
2010	-1.151786	-0.36222	0.9935437	-1.338697	-1.355642	-0.674165	0.643271	-1.669183	-0.903541	-0.684396	0.010736	1.2419052
2011	1.584978	-0.719394	1.3706529	-0.987862	-0.53126	1.2034268	-0.814873	-0.378348	1.2339014	-0.531789	0.8494674	1.0959036
2012	-1.624065	0.0636735	-0.3514	0.5492242	-1.178797	-1.647865	0.9930899	-1.486794	-0.390498	-1.058831	0.605086	1.474585
2013	1.4232393	-0.753912	1.2854384	0.3912055	-0.83517	1.4070757	0.4178063	-0.085279	0.9731003	0.5610663	1.0184303	1.2422493
2014	-1.059556	1.4534457	-1.107568	-0.832567	-0.387475	1.5488255	-0.439075	-1.332475	0.3797174	0.374509	-0.514521	-1.498425
2015	-1.391324	0.9050666	-1.429617	0.9831023	0.5259728	0.7359744	1.4554262	1.105855	-0.895398	-1.001582	1.5636684	0.908989
2016	-0.816127	0.1802757	-1.32887	0.01813	-1.70488	-1.642692	0.7491372	0.4296531	1.3383853	-0.280011	1.468154	1.3475466
2017	-1.378386	1.2982874	-1.256241	1.2056385	-0.029957	1.5408216	-0.196427	1.0437478	-0.708282	0.4221317	0.6368094	1.0759993
2018	-0.45112	1.4598948	0.2205935	-0.448578	0.4464914	-0.711531	-1.328673	1.2791522	0.037027	0.1219723	-1.59687	-1.474633
2019	-1.010723	1.164947	1.5189615	1.0129979	-0.362367	1.0698196	-0.347209	1.1115299	-1.275886	1.1325563	0.9503872	-0.975392
2020	-1.148674	-1.196437	-0.603065	0.286977	0.1643842	1.041357	-0.39194	-0.81225	0.3611522	-0.350306	-0.919625	1.1466542
2021	1.5872935	0.5483662	-0.383443	-1.030302	0.7057085	-0.287099	-1.119177	-0.045074	-1.498998	1.0611429	-1.256967	-1.353296
MAX.	1.59	1.46	1.52	1.31	1.57	1.57	1.53	1.33	1.54	1.46	1.56	1.47
MED.	-0.35	0.12	-0.20	0.02	0.01	0.18	0.09	0.07	-0.17	-0.27	0.20	0.28
MIN.	-1.62	-1.63	-1.61	-1.63	-1.70	-1.65	-1.68	-1.67	-1.50	-1.69	-1.60	-1.50
D. EST	1.09	0.95	1.07	0.89	0.90	1.11	0.96	0.93	1.07	1.03	0.92	1.05
MEDIA		0.0	D. EST	1.0								

Fuente: Elaboración propia (2022)

Tabla 15

Descargas medias mensuales generadas (mm) subcuenca del río Gera- Periodo 1999-2021

Coefficientes de Regresión Múltiple:

b1	-3.7036703	b2	0.247157891	b3	0.807121597
S	13.026737	R^2	0.92303023		

Modelo Matemático:

$$Qt = b1 + b2*Qt-1 + b3*PEt + Z*S*(1 - R^2)^{0.5}$$

Año	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Oct.	Nov.	Dic.	Tot.
Prom.	67.7	78.0	110.9	123.0	65.8	35.0	24.9	22.1	61.0	74.0	78.6	77.8	818.8
1999	145.8	130.2	86.9	68.4	79.2	58.9	23.8	29.5	39.5	54.8	103.0	82.8	902.9
2000	79.2	93.7	83.8	72.4	30.4	30.7	18.4	31.3	66.8	30.2	28.6	74.8	640.2
2001	38.3	65.8	148.7	96.7	63.1	36.3	32.4	22.1	68.1	90.3	84.3	171.5	917.7
2002	100.2	76.9	76.4	78.7	77.6	28.8	36.0	23.0	29.1	47.5	57.9	42.2	674.4
2003	60.1	77.3	113.8	26.1	58.8	55.7	9.7	26.4	62.4	100.6	58.2	112.4	761.7
2004	41.7	52.1	86.6	85.4	57.5	44.4	24.8	21.2	40.0	70.8	62.5	59.4	646.2
2005	38.8	76.2	78.7	64.9	48.2	26.6	15.9	9.7	14.8	67.2	125.3	90.6	657.0
2006	76.0	77.3	102.8	43.5	22.9	20.5	7.6	13.3	49.5	49.9	58.3	60.1	581.7
2007	64.2	28.9	105.9	64.0	41.3	11.8	19.5	23.2	76.5	92.2	107.2	64.3	699.2
2008	62.4	105.0	156.0	67.6	35.2	45.0	6.0	11.7	57.4	31.2	60.9	64.1	702.6
2009	89.6	82.6	118.4	102.7	42.5	66.8	18.6	21.7	54.9	37.3	46.2	28.7	709.9
2010	18.6	78.5	65.7	48.8	42.3	17.5	23.7	5.9	32.9	68.6	80.9	65.1	548.5
2011	53.7	46.5	180.5	34.8	34.4	33.2	13.6	13.7	40.9	57.9	76.8	110.2	696.3
2012	88.5	87.4	160.1	86.1	51.1	29.5	9.7	0.6	57.0	76.0	54.9	76.9	777.7
2013	76.3	46.5	186.8	36.0	41.6	30.8	15.8	26.2	50.1	51.0	73.8	53.5	688.3
2014	67.1	84.1	145.2	76.6	27.6	36.9	11.6	14.1	33.6	94.2	144.7	120.9	856.5
2015	123.0	125.9	129.1	93.5	64.9	38.3	24.4	20.9	33.1	67.0	102.6	111.8	934.5
2016	42.6	95.1	110.3	55.5	33.4	18.5	4.2	9.6	55.0	70.8	46.0	71.1	612.0
2017	90.7	123.5	109.2	34.5	64.5	61.7	4.1	25.7	60.7	45.6	62.0	53.6	735.9
2018	89.7	73.7	89.4	54.7	59.7	21.6	6.8	22.7	50.4	64.4	57.7	62.7	653.6
2019	115.0	142.2	134.5	75.6	64.6	45.8	32.4	31.7	57.5	75.2	52.4	86.7	913.7
2020	86.9	94.8	65.5	62.7	49.2	33.6	15.4	7.8	61.9	51.2	89.5	71.1	689.5
2021	90.7	124.5	173.9	36.0	39.9	65.7	9.8	14.3	46.5	57.9	78.7	71.1	808.8
MAX.	145.8	142.2	186.8	102.7	79.2	66.8	36.0	31.7	76.5	100.6	144.7	171.5	934.5
MED.	75.6	86.5	117.8	63.7	49.1	37.3	16.7	18.5	49.5	63.1	74.5	78.5	730.8
MIN.	18.6	28.9	65.5	26.1	22.9	11.8	4.1	0.6	14.8	30.2	28.6	28.7	548.5
D.EST	30.0	29.1	37.1	21.9	15.6	15.9	9.3	8.6	14.7	19.5	27.6	30.7	111.0

Fuente: Elaboración propia (2022)

Tabla 16

Descargas medias mensuales generadas (m3/s) subcuenca del río Gera- Periodo 1999-2021

Año	Area	206.98		Km2									
	Ene. 30	Feb. 28	Mar. 31	Abr. 30	May. 31	Jun. 30	Jul. 31	Ago. 31	Set. 30	Oct. 31	Nov. 30	Dic. 31	Prom. (m3/s)
1999	11.644	11.140	6.714	5.461	6.119	4.706	1.840	2.283	3.152	4.238	8.227	6.399	5.994
2000	6.325	8.015	6.478	5.783	2.347	2.448	1.419	2.416	5.337	2.336	2.281	5.778	4.247
2001	3.061	5.627	11.495	7.718	4.874	2.902	2.507	1.707	5.438	6.978	6.733	13.256	6.025
2002	8.001	6.575	5.908	6.283	5.999	2.300	2.781	1.780	2.327	3.673	4.620	3.262	4.459
2003	4.798	6.613	8.793	2.087	4.540	4.448	0.752	2.044	4.986	7.776	4.651	8.688	5.015
2004	3.330	4.455	6.690	6.816	4.444	3.547	1.915	1.635	3.192	5.475	4.988	4.587	4.256
2005	3.100	6.521	6.084	5.185	3.725	2.120	1.227	0.749	1.178	5.194	10.009	7.004	4.341
2006	6.066	6.617	7.942	3.475	1.770	1.634	0.589	1.029	3.953	3.858	4.653	4.646	3.853
2007	5.124	2.472	8.186	5.111	3.191	0.942	1.510	1.794	6.112	7.129	8.563	4.970	4.592
2008	4.985	8.986	12.056	5.401	2.721	3.593	0.464	0.908	4.581	2.411	4.862	4.952	4.660
2009	7.151	7.068	9.148	8.204	3.284	5.336	1.436	1.675	4.384	2.882	3.686	2.217	4.706
2010	1.482	6.718	5.074	3.895	3.272	1.401	1.831	0.456	2.624	5.305	6.460	5.029	3.629
2011	4.291	3.979	13.948	2.780	2.660	2.649	1.049	1.062	3.265	4.474	6.137	8.517	4.568
2012	7.065	7.475	12.371	6.873	3.947	2.360	0.752	0.044	4.555	5.871	4.380	5.942	5.136
2013	6.094	3.975	14.437	2.874	3.213	2.461	1.219	2.026	4.003	3.937	5.892	4.133	4.522
2014	5.357	7.197	11.219	6.113	2.131	2.943	0.899	1.086	2.680	7.282	11.557	9.346	5.651
2015	9.819	10.771	9.980	7.464	5.014	3.062	1.882	1.614	2.644	5.177	8.196	8.641	6.189
2016	3.401	8.134	8.522	4.433	2.583	1.474	0.328	0.742	4.389	5.472	3.669	5.495	4.054
2017	7.246	10.564	8.435	2.755	4.987	4.927	0.319	1.986	4.846	3.522	4.954	4.145	4.890
2018	7.161	6.304	6.907	4.372	4.610	1.722	0.529	1.753	4.028	4.980	4.610	4.845	4.318
2019	9.184	12.169	10.396	6.034	4.993	3.659	2.500	2.447	4.593	5.813	4.186	6.699	6.056
2020	6.942	8.114	5.064	5.003	3.799	2.679	1.194	0.603	4.939	3.955	7.145	5.491	4.577
2021	7.243	10.649	13.436	2.871	3.085	5.248	0.760	1.103	3.710	4.472	6.280	5.492	5.362
MAX.	11.644	12.169	14.437	8.204	6.119	5.336	2.781	2.447	6.112	7.776	11.557	13.256	6.189
MED.	6.038	7.397	9.099	5.087	3.796	2.981	1.291	1.432	3.953	4.879	5.945	6.067	4.830
MIN.	1.482	2.472	5.064	2.087	1.770	0.942	0.319	0.044	1.178	2.336	2.281	2.217	3.629
D. EST	2.397	2.492	2.868	1.747	1.207	1.269	0.717	0.662	1.175	1.507	2.203	2.372	0.734
Q 25%	7.202	8.560	11.357	6.198	4.742	3.626	1.836	1.890	4.719	5.644	6.939	6.851	5.249
Q 50%	6.094	7.068	8.522	5.185	3.725	2.679	1.219	1.635	4.028	4.980	4.988	5.492	4.592
Q 75%	4.544	6.412	6.702	3.685	2.903	2.210	0.752	0.968	3.172	3.898	4.615	4.745	4.330

Fuente: Elaboración propia (2022)

Actividad 4: Validación del modelo Lutz Scholtz mediante la eficiencia de Nash – Sutcliffe

El nivel de confiabilidad resultó de contrastar los valores de los caudales medios mensuales aforados con los caudales medios mensuales calculados mediante el método de Lutz Scholz. Para cuantificar se utiliza el coeficiente de eficiencia de Nash Sutcliffe.

Después del modelamiento hidrológico aplicando el Método de Lutz Scholz en la subcuenca del río Gera, se procedió a la validación del modelo tomando como medida de ajuste la eficiencia de Nash – Sutcliffe (E). El uso de modelos hidrológicos tiene como propósito simular los fenómenos reales. Sin embargo, no se pueden considerar perfectos a pesar de los avances y técnicas de la ciencia, debido a que se presentan errores de diversas fuentes de error, los cuales se pueden minimizar mediante el proceso de la validación.

La eficiencia de Nash-Sutcliffe es un criterio usado en hidrología, calcula la similitud y la variabilidad de las observaciones y se define como:

$$E = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Q_{sim,i} - Q_i)^2}{\sum_{i=1}^n (Q_i - \bar{Q})^2} \quad \dots(3.31)$$

Si E=1 significa que la similitud es perfecta. El valor de E=0 cuando se ajustarían las observaciones al valor promedio. Se utilizó el rango de valores de la Tabla 17 para la toma de decisiones. Cuando los valores de la variable simulada son muy altos, se puede modificar la ecuación de E a la expresión siguiente de Elog o eficiencia logarítmica de Nash- Sutcliffe:

$$E_{log} = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (\log(Q_{sim,i}) - \log(Q_i))^2}{\sum_{i=1}^n (\log(Q_i) - \overline{\log(Q_1)})^2} \quad \dots(3.32)$$

Tabla 17

Rangos de valores para el criterio de Nash-Sutcliffe

E	Ajuste
<0.2	Insuficiente
0.2 – 0.4	Satisfactorio
0.4 – 0.6	Bueno
0.6 – 0.8	Muy bueno
>0.8	Excelente

Fuente: adaptado de Cabrera (2011, p. 5)

Para la aplicación del método de Lutz Scholz se necesitan datos de ingreso (calculadas en las actividades 1 y 2 del objetivo N° 3) presentados en la Tabla 9. Ya que el método en mención consta de dos procedimientos principales: cálculo de caudales (parte determinística) y la generación de caudales de manera estocástica, en la Tabla 20 se presentan los caudales generados en la actividad 3 y en la Tabla 21 se muestran los caudales medidos para el periodo en el que se generaron los caudales. Para la actividad 4 del objetivo N° 3 se ha usado tanto la Tabla 22 (la diferencia entre lo generado y lo medido) como la Tabla 23 (diferencia entre caudales medidos y los caudales promedios), para el cálculo de la eficiencia de Nash Sutcliffe.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Resultados del objetivo específico 1

Descripción:

Según lo calculado y determinado en el Capítulo III: Materiales y Métodos, se presenta a modo de resumen las características morfométricas de la subcuenca del río Gera en la Tabla 18.

Tabla 18

Parámetros morfológicos de la subcuenca del río Gera.

Subcuenca Gera		
Parámetros	Valor	Unidad
Área de la cuenca: A	206.98	Km ²
Perímetro: P	84.92	Km
Longitud del Río principal: Lp	25.71	Km
Longitud total de ríos: Lt	45.16	Km
Coefficiente de Compacidad: Kc	1.65	
Forma de la cuenca: Ff	0.31	
Altitud media	1376.57	m.s.n.m
Pendiente media: J	0.04	m/m
Grado de ramificación	3.00	
Densidad de drenaje: Dd	0.2182	Km/Km ²
Tiempo de concentración: TC	6.43	Hrs.

Fuente: Adaptado de ArcGIS, Elaboración Propia 2022

Discusión:

El uso de los parámetros de la Tabla 18 para determinar las características morfométricas de la subcuenca del río Gera se ajustan a la realidad según los parámetros de forma, relieve y drenaje, en ello radica su relevancia. Tal como lo señala Alvarez (2015, p. 112), los parámetros característicos como el área de la cuenca, la longitud de los ríos, son importantes y sí intervienen en la generación de caudales en los modelos hidrológicos. A diferencia de este autor, no se ha utilizado modelos de redes neuronales artificiales.

4.2. Resultados del objetivo específico 2

Descripción:

Se muestra el resumen de las precipitaciones mensuales de la subcuenca del río Gera. Los valores mensuales de precipitación resultan de la ponderación del valor de las precipitaciones total mensuales de las tres estaciones hidrometeorológicas escogidas y sus respectivo coeficiente según su influencia en el área de estudio, como lo detalla la Tabla 5 “Área de influencia de las Estaciones Hidrometeorológicas en subcuenca del río Gera”. De esta manera se calcula el valor de la precipitación media anual (P): 1511.4 mm. Por otro lado, el valor de la Temperatura media anual es de 22.1 °C, considerando esta variable de mínima influencia, pero necesaria para efectuar el método.

Tabla 19

Precipitación Total Mensual para el cálculo de la precipitación media anual en la subcuenca del río Gera.

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	SUMA
1999	282.2	219.6	116.9	145.0	200.7	137.7	90.2	91.8	76.2	138.8	200.9	134.5	1834.6
2000	149.2	167.8	130.2	161.2	78.3	96.7	86.0	126.5	140.3	63.3	50.1	149.5	1399.2
2001	57.7	138.2	254.1	213.8	152.3	79.6	109.2	52.5	170.6	197.4	149.4	334.1	1908.9
2002	130.4	121.1	117.7	180.5	177.7	35.2	137.1	73.3	73.6	121.7	115.4	72.2	1356.0
2003	118.0	134.9	176.6	69.6	156.5	119.0	37.2	86.7	140.8	212.7	76.3	223.8	1552.4
2004	32.2	85.8	157.8	196.5	141.5	87.0	94.1	63.0	105.3	164.3	116.7	111.0	1355.2
2005	67.7	147.6	127.1	153.3	111.1	55.8	55.9	34.5	47.6	163.0	237.6	128.4	1329.6
2006	140.0	132.6	169.5	94.7	50.1	68.9	62.0	58.4	133.1	110.2	111.0	117.7	1248.2
2007	115.1	29.5	205.7	139.2	106.4	16.5	65.4	81.3	174.8	218.2	198.0	91.3	1441.5
2008	111.8	203.5	252.6	166.3	84.9	126.2	52.9	43.5	151.4	86.6	119.7	105.6	1505.0
2009	185.2	130.2	185.9	220.9	102.5	169.4	82.5	90.4	115.0	100.5	89.1	49.0	1520.6
2010	43.1	167.0	88.0	123.4	119.6	40.1	89.4	37.0	92.5	160.7	149.9	97.7	1208.5
2011	79.4	83.6	318.5	90.6	94.0	72.9	72.1	58.5	88.5	136.4	140.1	200.7	1435.3
2012	157.7	145.9	272.4	189.1	138.7	80.7	35.1	27.4	149.5	179.3	83.4	136.1	1595.2
2013	124.5	72.0	331.1	82.5	113.4	58.1	64.0	99.5	105.7	113.0	135.7	76.0	1375.6
2014	136.8	139.6	250.8	179.3	76.7	85.4	60.3	74.5	78.1	207.4	281.6	208.0	1778.6
2015	226.8	203.0	203.0	201.6	156.6	70.9	81.2	55.1	84.1	159.6	186.5	191.6	1820.0
2016	48.1	185.3	180.9	127.4	101.7	60.2	18.7	40.5	124.0	162.2	59.5	129.2	1237.8
2017	182.3	211.7	165.0	72.9	160.5	133.2	30.4	93.1	146.0	102.6	115.7	84.1	1497.5
2018	182.1	105.7	140.6	129.4	145.0	39.7	54.7	75.9	116.7	145.4	113.7	126.7	1375.7
2019	238.1	239.7	185.3	162.8	163.5	90.1	133.0	88.3	139.8	160.7	75.6	178.6	1855.5
2020	163.4	172.2	91.1	140.7	122.7	64.8	73.3	40.2	150.2	120.6	185.9	107.0	1432.1
2021	158.4	219.5	281.4	93.4	96.4	183.9	62.7	59.4	125.5	124.0	161.0	132.8	1698.4
MAX	282.2	239.7	331.1	220.9	200.7	183.9	137.1	126.5	174.8	218.2	281.6	334.1	1908.9
MED	136.1	150.3	191.4	145.0	124.0	85.7	71.6	67.4	118.7	145.6	137.1	138.5	1511.4
MIN	32.2	29.5	88.0	69.6	50.1	16.5	18.7	27.4	47.6	63.3	50.1	49.0	1208.5
D ES	64.4	53.4	69.7	45.7	37.0	42.4	29.7	25.0	33.7	41.2	57.8	62.4	210.6

Fuente: SENAMHI,
Elaboración Propia(2022)

Discusión:

Se identificaron las variables hidrológicas en la subcuenca del río Gera: los datos de precipitación media recabados por las estaciones hidrometeorológicas no presentan saltos ni tendencias en sus registros, así como lo muestran los hidrogramas, análisis de doble masa y el análisis estadístico. De la misma forma, estos resultados son congruentes a los de la investigación de Tito, D. (2018, p. 135) ya que en su análisis exploratorio de la información recabada de precipitación de las estaciones hidrométricas dentro de la cuenca, y así como también de las estaciones de apoyo no presentan saltos ni quiebres que signifique el uso de información dudosa.

4.3. Resultado del objetivo específico 3**Descripción:**

La validación se desarrolló en el periodo de los años 2015 al 2020 debido a la cercanía en tiempo y en la disponibilidad de información hidrométrica y su relevancia en futuros estudios. En la Figura 24 se muestran los caudales aforados a nivel de bocatoma Gera por Electro oriente y los calculados o generados mediante el método de Lutz Scholtz. En la Tabla 20 y 21 se visualizan los caudales. Asimismo, en la Tabla 22 se muestra el resumen de los caudales medidos menos los generados, como parte del numerador para calcular la eficiencia de Nash Sutcliffe; así como en la Tabla 23 se muestra la diferencia cuadrática de los caudales medidos y los promedios. Con ambas tablas se calculó la eficiencia de Nash Sutcliffe. Resultando como valor de $E = 0.72$, es decir 72% que corresponde al ajuste de “Muy Bueno”

Tabla 20

Caudales generados mediante el método de Lutz Scholz

CAUDALES GENERADOS

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
2015	9.8	10.8	10.0	7.5	5.0	3.1	1.9	1.6	2.6	5.2	8.2	8.6
2016	3.4	8.1	8.5	4.4	2.6	1.5	0.3	0.7	4.4	5.5	3.7	5.5
2017	7.2	10.6	8.4	2.8	5.0	4.9	0.3	2.0	4.8	3.5	5.0	4.1
2018	7.2	6.3	6.9	4.4	4.6	1.7	0.5	1.8	4.0	5.0	4.6	4.8
2019	9.2	12.2	10.4	6.0	5.0	3.7	2.5	2.4	4.6	5.8	4.2	6.7
2020	6.9	8.1	5.1	5.0	3.8	2.7	1.2	0.6	4.9	4.0	7.1	5.5

Fuente: Elaboración propia (2022)

Tabla 21*Caudales medidos por Electro Oriente*

CAUDALES MEDIDOS													
Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
2015	10.7	12.9	10.8	10.3	7.1	4.2	1.9	1.6	1.3	2.4	3.1	9.5	
2016	2.3	4.9	11.0	5.9	4.3	2.9	1.6	1.3	1.8	3.1	2.2	4.0	
2017	9.8	14.5	7.1	2.7	4.0	5.9	3.2	1.7	2.8	5.1	9.1	4.9	
2018	6.9	5.0	4.6	9.7	6.3	2.0	1.3	2.3	1.8	6.7	4.5	5.7	
2019	7.6	18.4	9.0	6.2	4.6	2.2	2.4	1.2	1.4	2.8	7.8	8.7	
2020	6.1	7.8	10.0	4.8	3.8	1.7	1.9	1.2	3.7	2.5	2.6	2.2	
Prom	7.2	10.6	8.7	6.6	5.0	3.2	2.0	1.6	2.1	3.8	4.9	5.8	5.1

Fuente: Adaptado de Electro Oriente S.A., Elaboración propia (2022).

Tabla 22*Tabla de diferencia de Caudales generados y caudales aforados*

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
2015	0.7	4.4	0.7	8.2	4.2	1.3	0.0	0.0	1.8	8.0	25.6	0.7	
2016	1.2	10.5	5.9	2.2	2.8	2.1	1.5	0.3	6.7	5.8	2.3	2.4	
2017	6.5	15.2	1.9	0.0	1.0	0.9	8.3	0.1	4.1	2.5	16.8	0.5	
2018	0.1	1.6	5.5	28.1	2.9	0.1	0.6	0.3	5.1	3.0	0.0	0.8	
2019	2.4	38.7	2.0	0.0	0.1	2.2	0.0	1.5	10.3	8.9	13.0	4.2	
2020	0.7	0.1	24.7	0.1	0.0	1.0	0.5	0.4	1.5	2.2	20.4	10.7	
2021	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
SUBTOTAL	12	71	41	39	11	8	11	3	30	30	78	19	350

Fuente: Elaboración propia (2022)

Tabla 23*Tabla de diferencia de Caudales medidos y caudal promedio*

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
2015	30.8	60.2	32.3	27.0	3.8	0.9	10.7	12.2	14.5	7.7	3.9	18.9	
2016	7.9	0.1	33.9	0.6	0.8	4.8	12.7	15.0	11.1	4.2	8.8	1.4	
2017	21.8	87.2	3.8	6.0	1.3	0.6	3.7	12.0	5.4	0.0	15.4	0.1	
2018	3.3	0.0	0.3	20.7	1.4	9.6	14.8	7.8	11.3	2.5	0.4	0.4	
2019	6.3	176.0	15.0	1.2	0.2	8.7	7.6	15.3	14.0	5.2	7.1	13.1	
2020	1.0	7.0	24.1	0.1	1.6	11.7	10.6	15.0	2.0	7.0	6.2	8.4	
2021	26.3	26.3	26.3	26.3	26.3	26.3	26.3	26.3	26.3	26.3	26.3	26.3	
SUBTOTAL	97	357	136	82	35	62	86	104	85	53	68	68	1233

Fuente: Elaboración propia (2022)

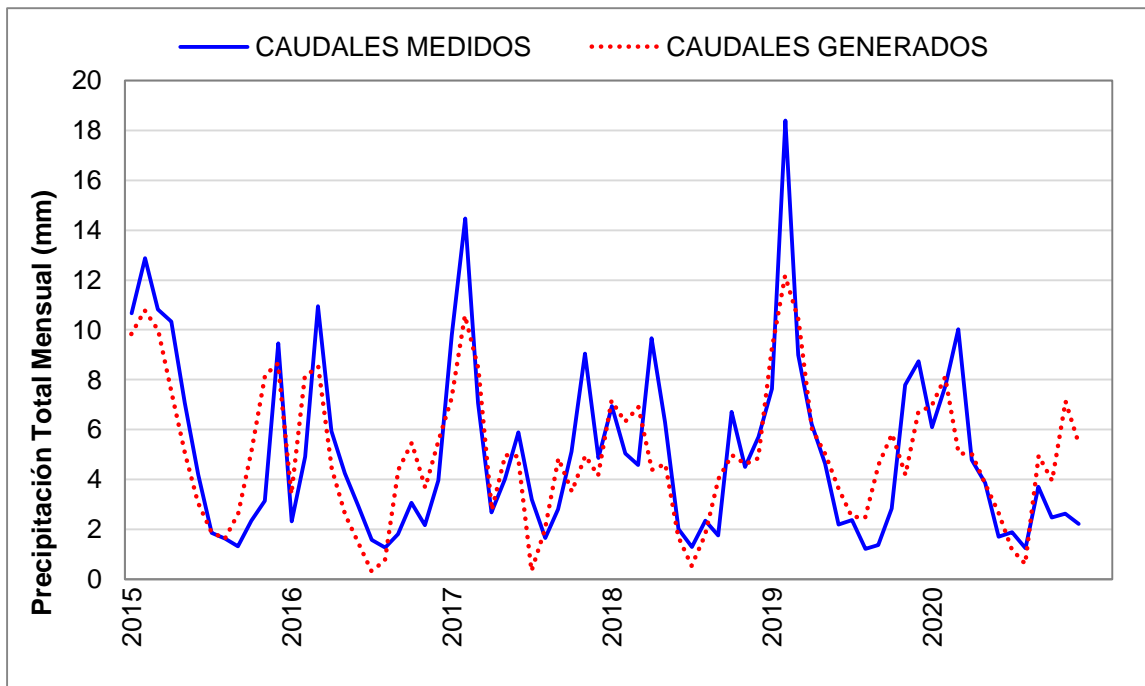


Figura 24. Caudales generados vs caudales medidos en la subcuenca del río Gera en el periodo de calibración del 2015 al 2020.
Fuente: Elaboración Propia (2022).

Discusión:

En la investigación desarrollada vemos que los resultados obtenidos en la validación del modelo hidrológico para el cálculo de caudales medios mensuales sobre la eficiencia de Nash Sutcliffe se obtiene el valor de: $E = 0.72$, es decir 72% (Cabrera, 2011, p.5) que corresponde al ajuste de “Muy Bueno” en la aplicación del Método de Lutz Scholz en esta investigación, es acorde a lo que señala Zárate (2019, p.135); quien obtuvo: “... en el caso del periodo de validación de 1975 a 1979 el coeficiente de Nash es de 0.77 que indica que la simulación es muy buena”.

Contrastación de hipótesis:

Como los resultados obtenidos en la investigación guardan relación con lo concluido por Zárate (2019), que señala que: “...los caudales medios mensuales obtenidos son representativos; ambos modelos hidrológicos (método Lutz Scholz y el que incluye a las redes neuronales artificiales), han dado resultados cercanos a los caudales medios mensuales medidos en la cuenca con información hidrométrica (cuenca La Angostura)”. Sin embargo, Zárate (2019, p.134), hace una comparación entre la aplicación del método de Lutz Scholz propiamente y el método de Lutz Scholz incluyendo redes neuronales artificiales. Puesto que señala que: “...el más cercano a valores reales en la cuenca sin

información hidrométrica (cuenca Huajuiri) ha sido el método incluyendo a las redes neuronales artificiales, pues se contrastó con los aforos realizados en los meses de febrero y mayo del año 2016 y éstos fueron más cercanos que el obtenido sólo por el método Lutz Scholz.” Esta apreciación no puede ser contrastada con la presente investigación ya que no se aplican redes neuronales artificiales. Asimismo, considerando que Tito (2018), concluyó que el método de Lutz Scholz puede ser usado para generar caudales medios mensuales en la cuenca del río Coata, en el desarrollo de su tesis la información de las variables hidrometeorológicas es consistente al igual que en la presente investigación, confirmando la hipótesis de esta investigación. En consecuencia, se puede afirmar que la hipótesis planteada inicialmente se está validando parcialmente.

CONCLUSIONES

1. Las características morfométricas de la subcuenca del río Gera son consistentes entre ellas así también con las variables hidrológicas. Tal que, la forma de la cuenca es oval-oblonga con tendencia a forma rectangular, tiende a ser de forma alargada y presenta baja susceptibilidad de las avenidas. Además, el río Gera se considera como un río viejo y el tipo de relieve de la subcuenca es suave. Asimismo, la subcuenca en estudio tiene un drenaje pobre.
2. Las variables hidrológicas en la subcuenca del río Gera: Precipitación Total Mensual y Temperatura Media Mensual tienen valores coherentes con los caudales aforados. Es así las estaciones meteorológicas no presentan saltos en el análisis de consistencia de datos. Además, la estación meteorológica de mayor relevancia es la Estación Jepelacio.
3. La aplicación del Método de Lutz Scholz al determinar el cálculo de caudales medios mensuales en la subcuenca del río Gera, tiene validación de eficiencia “muy buena”.

RECOMENDACIONES

1. Aplicar el método hidrológico de Lutz Scholtz para el cálculo de caudales medios mensuales en cuencas sin aforar ubicadas en la región San Martín, ya que presenta un alto grado de validación (73%) en relación a cuencas cuyos cursos de agua cuentan con aforos.
2. Emplear la metodología de la Curva Número en los estudios hidrológicos en los que no sea posible obtener datos de manera directa. Ya que una ventaja que presentan los mapas de Curva Número es la actualización rápida y económica para generar un nuevo mapa CN que se ajuste a las condiciones de uso de suelo actuales para las cuencas en estudio.
3. Usar información hidrometeorológica de fuentes confiables, como SENAMHI, PROYECTOS ESPECIALES, ONGs, entre otros; para la aplicación de modelos hidrológicos como el de Lutz Scholz.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aliaga Araujo, V y Piérola J. Nicolás (1979). *Hidrología Estadística*. McGrawill. Lima – Perú.
- Alvarez, A (2015). *Generación de caudales con modelos de redes neuronales artificiales a partir de las características de una cuenca* [Tesis para obtener el título profesional de Ingeniero Civil] Universidad Nacional del Centro – Perú.
<https://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/427>
- Bugña, N. (2019). *Aplicación de modelos hidrológicos para la estimación de caudales mensuales en la sub cuenca del río Bigote* [Tesis de Máster en Ingeniería Civil con Mención en Recursos Hídricos]. Universidad de Piura. Facultad de Ingeniería. Piura, Perú.
https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/4016/MAS_ICIH_1901.pdf?sequence=4&isAllowed=y
- Burgan HI, Aksoy H.(2020) *Monthly Flow Duration Curve Model for Ungauged River Basins*. Water. 2020; 12(2):338. <https://doi.org/10.3390/w12020338>
- Chow Ven Te, Maidment D. y Mays L. (1994). *Hidrología Aplicada*. [Trad. Saldarriaga, J]. Santa Fé de Bogotá: Mc. Graw Hill Interamericana.
- Dolling, Oscar R.; Varas, Eduardo A. (2002). *Artificial neural networks for streamflow prediction*. Journal of Hydraulic Research, 40(5), 547–554. doi:10.1080/00221680209499899
- Electro Oriente S.A.(2022) *Información proporcionada de la Hidroeléctrica del Gera*. Comunicación interna San Martín – Perú.
- Gamarra, H.(2018) *Aplicación del modelo hidrológico Lutz Scholz para determinar caudales medios mensuales en la sub cuenca del río Quiroz*. [Tesis de pregrado] UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA. Perú.
<https://repositorio.unp.edu.pe/bitstream/handle/UNP/1278/AGR-GAM-CHU-18.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Garaya, L. V., Goyeneche, O. D. T., & Carrillo, G. A. (2019). *Evaluación del modelo de hidrograma unitario SCS en la determinación de caudales máximos en cuencas de Norte de Santander*. Respuestas, 24 (1), pp. 6-13, 2019, ISSN 0122-820X - E ISSN: 2422-5053 doi:10.22463/0122820X.1323
- Guevara Pérez, E (2015) *Métodos para el análisis de variables*. Autoridad Nacional del Agua. Perú.
<https://repositorio.ana.gob.pe/bitstream/handle/20.500.12543/3940/ANA0002522.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2014). *Metodología de la investigación* (6a. ed. --.). México D.F.: McGraw-Hill. Pág 10-15
- Hirsh Adler, Ana (2003) *Ética profesional como proyecto de investigación*. Ediciones Universidad de Salamanca Teor. educ. 15, 2003, pág 235-358. <https://revistas.usal.es//index.php/1130-3743/article/view/3048/3081>
- Khatri, K.B.(2022) *Current State and Future Direction for Building Resilient Water Resources and Infrastructure Systems*. Eng 2022, 3,175–195. <https://doi.org/10.3390/eng3010014>
- Lemenkova P.A. (2016) *Flow direction and length determined by ArcGIS spatial analyst and terrain elevation data sets*. Proc. of the Conference 'Priority directions of the development of young research farmers in modern science', 25th anniv. of Caspian Research Institute of Arid Agriculture RAAS. Ed. N. A. Shherbakova and A. N. Bondarenko. Russia, Solenoe Zaymishche, PNIIAZ, 2016, pp. 579–583. <https://ssrn.com/abstract=3316561>
- Martín Majarrés, Soraya (2013) *Aplicación de los principios éticos a la metodología de la investigación*. Enfermería en Cardiología N.º 58-59 / 1.er y 2.o cuatrim 2013, pág 27. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6288907>
- Mitchell T M. (1997) *Machine Learning. Cap.4 Artificial Neural Networks*. Carnegie Mellon University Mc Graw Hill, pág 81-127,551. <http://www.mhcollege.com>
- Moriasi, D. N., Gitau, M. W., Pai, N., & Daggupati, P. (2015). *Hydrologic and water quality models: Performance measures and evaluation criteria*. Transactions of the ASABE, 58(6), 1763-1785. doi: 10.13031/trans.58.10715
- Pezo Ruiz, J. (2021). *Estudio hidrológico con fines de aprovechamiento hídrico en la microcuenca de la quebrada Shupishiña, ubicado en el distrito de Cacatachi, provincia de San Martín, región San Martín*. [Tesis para optar el grado de Ingeniero Civil. Facultad de Ingeniería Civil y Arquitectura] Universidad Nacional de San Martín, Tarapoto, Perú. <http://hdl.handle.net/11458/4231>
- Portuguez, M; Verano, C. (2016) *Generación de mapa número de curva con sistema de información geográfica*. Universidad Nacional Agraria La Molina, Perú, Autoridad Nacional del Agua, Perú. <http://dx.doi.org/10.18259/acs.2016029>
- Plan Meris II (1980). Generación de Caudales Mensuales en la Sierra del Perú. Lutz Scholz. Cuzco–Perú.
- Theobald, David M.et al (2005) *Functional Linkage of Watersheds and Streams (FLoWS): Network-based ArGIS tools to analyze freshwater ecosystems*. ESRI UC'05 Page 1-5. <https://proceedings.esri.com/library/userconf/proc05/papers/pap2549.pdf>

- Tito, D (2018) *Generación de caudales medios mensuales de la cuenca del río Coata utilizando el modelo hidrológico de Lutz Scholz*. [Tesis para obtener el título profesional de Ingeniero Civil] UNIVERSIDAD PERUANA UNION https://repositorio.upeu.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12840/1566/Dennis_Tesis_Licenciatura_2018.pdf?sequence=5&isAllowed=y
- Traverso, K. A., Mamani, J. A., & Alfaro, R. (2019). *Generation of monthly average flow rates from the hydrological characteristics in the Huancane river basin*. E-proceedings of the 38th IAHR World Congress. Panamá. doi:10.3850/38WC092019-1617
- Villón, M (2002). Hidrología. Instituto Tecnológico de Costa Rica, Escuela de Ingeniería Agrícola. Cartago, Costa Rica.
- Zárate Torres C.(2020) *Modelamiento hidrológico de caudales medios mensuales en cuencas sin información hidrométrica aplicando el método Lutz Scholz y las redes neuronales artificiales, en la microcuenca Huajuri - Oropesa - Antabamba - Apurímac*. Tesis de pregrado. Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas. Perú. <https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=edsndl&AN=edsndl.PERUUPC.oai.repositorioacademico.upc.edu.pe.10757.656781&site=eds-live>
- Webgrafía
- ArcGis (2022) *Map and interact with your location data*. <https://www.esri.com/en-us/arcgis/products/arcgis-online/overview>.
- Cabrera, J (2011). *Calibración de modelos hidrológicos*. Instituto para la Mitigación de los Efectos del Fenómeno del Niño – IMEFEN. Facultad de Ingeniería Civil – Universidad Nacional de Ingeniería. Perú. http://www.imefen.uni.edu.pe/Temas_interes/modhidro_2.pdf
- Cabrera, J (2012). *Modelos hidrológicos*. Instituto para la Mitigación de los Efectos del Fenómeno del Niño – IMEFEN. Facultad de Ingeniería Civil – Universidad Nacional de Ingeniería. Perú. http://www.imefen.uni.edu.pe/Temas_interes/modhidro_1.pdf
- Rodriguez, Ivan (2020) *Implementación de Estaciones Hidrometeorológicas Automáticas*. Gerencia de Desarrollo e Investigación – SEDAPAL.[Diapositiva Power Point] Chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/<https://dgadt.vivienda.gob.pe/Uploads/Simposio/Estaciones-Hidrometeorologicas.pdf>
- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú - SENAMHI (2022). *Datos Hidrometeorológicos a nivel nacional*. <https://www.senamhi.gob.pe/?p=estaciones>

ANEXOS

Anexo 01: Matriz de Consistencia

PROBLEMA	HIPÓTESIS	OBJETIVOS	OPERACIONALIZACIÓN		METODOLOGÍA
			VARIABLES Y SUBVARIABLES	INDICADORES	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS
<p>Planteamiento del Problema</p> <p>¿En qué forma se podrá llevar a cabo la aplicación del método de Lutz Scholz para determinar el cálculo de caudales medios mensuales en la subcuenca del río Gera?</p>	<p>Hipótesis</p> <p>La aplicación del método hidrológico de Lutz Scholz permitirá determinar el cálculo de caudales medios mensuales en la subcuenca del río Gera.</p>	<p>Objetivo General</p> <p>Calcular los caudales medios mensuales en el río Gera mediante la aplicación del método de Lutz Scholz cuando no se dispone de registros hidrométricos.</p> <p>Objetivos Específicos</p> <p>01. Determinar las características morfométricas de la subcuenca del río Gera.</p> <p>02. Identificar las variables hidrológicas en la subcuenca del río Gera.</p> <p>03. Realizar la validación del modelo hidrológico de Lutz Scholz para el cálculo de caudales medios mensuales en la subcuenca del río Gera mediante el análisis comparativo con aforos realizados en la bocatoma de la hidroeléctrica Gera, registrados por Electro Oriente.</p>	<p>Sistema de Variables</p> <p>Variable Dependiente:</p> <p>La eficiencia del modelo hidrológico resultante de la aplicación del Método de Lutz Scholz para el cálculo de caudales medios mensuales.</p> <p>Variables Independientes:</p> <p>VI1. Características Morfométricas de la subcuenca del río Gera.</p> <p>VI2. Variables hidrológicas en la subcuenca del río Gera.</p>	<p>Para la Variable Dependiente:</p> <p>Coefficiente de Eficiencia de Nash Sutcliffe</p> <p>Para la Variable Independiente VI1:</p> <p>Área de la cuenca, Perímetro, Longitud total del río principal, Coeficiente de Compacidad Kc, Forma de la cuenca Ff, Altitud media, Pendiente media, Grado de Ramificación, Densidad de drenaje Dd, Tiempo de concentración</p> <p>Para la Variable Independiente VI2:</p> <p>Precipitación Total Mensual, Temperatura Media Mensual</p>	<p>Tipo y nivel de investigación</p> <p>Aplicada: se evalúa la aplicación del método de Lutz Scholz</p> <p>Correlacional: se pretende determinar si es posible la Aplicación del Método de Lutz Scholz en el área de estudio.</p> <p>Diseño de la investigación</p> <p>La investigación tiene un enfoque cuantitativo no experimental porque usa como base la medición y el análisis estadístico.</p> <p>Población y Muestra</p> <p>Población: Precipitación Total Mensual en la subcuenca del río Gera.</p> <p>Muestra: Precipitación Total Mensual en la subcuenca del río Gera en el intervalo de tiempo de los años 1999-2021</p>

Anexo 02: Declaratoria de autenticidad**Declaratoria de autenticidad**

Carlos Enrique López Bendezú, con DNI N° 71870470, bachiller egresado de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería Civil y Arquitectura de la Universidad Nacional de San Martín, autor de la tesis titulada: **Aplicación del modelo hidrológico Lutz Scholz para el cálculo de caudales medios mensuales en la subcuenca del río Gera**. Declaro Bajo juramento que:

1. La tesis presentada es de mi autoría.
2. La redacción fue efectuada respetando las citas y referencias de las fuentes bibliográficas consultadas.
3. Toda la información que contiene la tesis no ha sido auto plagiada
4. Los datos presentados en los resultados son reales, no han sido alterados ni copiados, por tanto, la información de esta investigación debe considerarse como aporte a la realidad investigada.

Por lo antes mencionado, asumo bajo responsabilidad las consecuencias que deriven de mi accionar, sometiéndome a las leyes de nuestro país y normas vigentes de la Universidad Nacional de San Martín.

Tarapoto, 11 de julio del 2023



Carlos Enrique López Bendezú

DNI N° 71870470

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD DEL ASESOR

Yo, José del Carmen Pizarro Baldera, Docente de la Facultad de Ingeniería Civil y Arquitectura de la Universidad Nacional de San Martín, identificado con DNI N° 00868981, Asesor del Proyecto de tesis titulado: “ Aplicación del modelo hidrológico Lutz Scholz para el cálculo de caudales medios mensuales en la subcuenca del río Gera”, del autor **Carlos Enrique López Bendezú**.

Declaro bajo juramento que:

1. El proyecto de tesis presentado por los estudiantes es de su propia autoría.
2. La redacción fue realizada respetando las citas y referencias de las fuentes bibliográficas consultadas.
3. Toda información que contiene el proyecto de tesis no ha sido plagiada.

Por lo antes mencionado, asumo bajo responsabilidad ante cualquier posible falsedad, omisión u ocultamiento de información aportada en los documentos, sometiéndome a las leyes de nuestro país y normas vigentes de la Universidad Nacional de San Martín.


Tarapoto, 11 de julio del 2023



Ing. Dr. José del Carmen Pizarro Baldera

DNI N° 00868981


Anexo 3: Comunicación FICA – SENAMHI



**UNIVERSIDAD NACIONAL
DE SAN MARTÍN**

FACULTAD
INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA

“Año del Bicentenario del Perú: 200 años de Independencia”



Tarapoto, 04 de mayo del 2021

Oficio N° 090-2021-UNSM/FICA-D-NLU

Señores
SENAMHI
Presente.-

Asunto: Solicita Datos Meteorológicos
Ref. : Solicitud; Exp. N° (986-2021/FICA)

*Tengo a bien dirigirme a usted, para saludarlo cordialmente y al mismo tiempo manifestarle que, el señor **Carlos Enrique López Bendezu**, estudiante de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de San Martín, viene realizando la tesis titulada: **“APLICACIÓN DEL MODELO HIDROLÓGICO LUTZ SCHOLZ PARA EL CÁLCULO DE CAUDALES MEDIOS MENSUALES EN LA SUB CUENCA DEL RIO GERA A NIVEL DE BOCATOMA EN LA PROVINCIA DE MOYOBAMBA”**, por lo que requiere información en lo siguiente:*


Datos Meteorológicos en los últimos 20 años de las estaciones: Naranjillo, Soritor, Moyobamba, Japelacio y Pacayzapa.

- ✓ Precipitación total mensual
- ✓ Humedad relativa mensual
- ✓ Velocidad del viento mensual
- ✓ Horas del sol mensual
- ✓ Precipitación Máxima en 24 horas
- ✓ Temperatura Media Mensual.

Cuya información servirá al interesado para seguir desarrollando la tesis.

Seguro de contar con su valiosa información que redundará en beneficio de los estudiantes sanmartinenses, me suscribo de usted.

Atentamente,



Universidad Nacional de San Martín -T
Facultad de Ingeniería Civil y Arquitectura

Ramiro Vásquez Vásquez

Ing. Dr. RAMIRO VÁSQUEZ VÁSQUEZ
Decano(e) de la FICA

Anexo 4: Comunicación – SOLICITUD A SENAMHI

“AÑO DEL BICENTENARIO DEL PERÚ: 200 AÑOS DE INDEPENDENCIA”

Tarapoto, 05 de Mayo del 2021

Señor:

DANIEL ENRIQUE SÁNCHEZ LAUREL
DIRECTOR DE LA DIRECCIÓN ZONAL 9
SENAMHI

Presente.-

Yo, **Carlos Enrique López Bendezú**, identificado con DNI. N° **71878470**, con domicilio en **Av. Perú #351 distrito de Morales**. Bachiller de la carrera profesional de **Ingeniería Civil** de la **Universidad Nacional de San Martín**.

Ante usted me presento y expongo:

Que, requiriendo datos para la elaboración de mi tesis titulada: **“APLICACIÓN DEL MODELO HIDROLÓGICO LUTZ SCHOLZ PARA EL CALCULO DE CAUDALES MEDIOS MENSUALES EN LA SUB CUENCA DEL RIO GERA A NIVEL DE BOCATOMA”** los cuales se obtienen de la institución que usted dirige; recorro a su despacho para que designe a quien corresponda, se me expida los datos.

Solicito la información siguiente:

ESTACION	PARAMETROS	PERIODO
Naranjillo	<ul style="list-style-type: none"> • Precipitación total mensual. • Precipitación máxima en 24 horas. • Humedad relativa mensual. • Velocidad del viento mensual. • Horas de sol mensual. • Temperatura media mensual. 	20 Años
Soritor	<ul style="list-style-type: none"> • Precipitación total mensual. • Precipitación máxima en 24 horas. • Humedad relativa mensual. • Velocidad del viento mensual. • Horas de sol mensual. • Temperatura media mensual. 	20 Años
Moyobamba	<ul style="list-style-type: none"> • Precipitación total mensual. • Precipitación máxima en 24 horas. • Humedad relativa mensual. • Velocidad del viento mensual. • Horas de sol mensual. • Temperatura media mensual. 	20 Años

Anexo 5: Comunicación – Solicitud a Electro Oriente S.A.

SOLICITA PERMISO PARA INGRESO A HIDROELECTRICA
DEL GERA PARA TOMA DE FOTOS, INFORMACION DE
AFORO DE CAUDALES Y CALIDAD DE AGUA DEL MISMO

SR. ING. BOBNET GARCIA MANRIQUE

JEFE DE UNIDAD DE NEGOCIO ELECTRO ORIENTE MOYOBAMBA



CARLOS ENRIQUE LOPEZ BENDEZU, IDENTIFICADO CON DNI 71878470. BACHILLER EN INGENIERIA CIVIL DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTIN. RECURRO A USTED CON LA FINALIDAD DE SOLICITARLE EL PERMISO CORRESPONDIENTE PARA ACCEDER A LA HIDROELECTRICA DEL GERA PARA TOMA DE FOTOS, ASIMISMO ME PROPORCIONE LA INFORMACION DE AFORO DE CAUDALES Y CALIDAD DE AGUA DEL MISMO; LO CUAL ES IMPRESCINDIBLE PARA LA CULMINACION DE MI TESIS PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL.

SIN OTRO PARTICULAR ME DESPIDO DE USTED, ESPERANDO CONTAR CON SU APOYO Y ASI CULMINAR SATISFACTORIAMENTE MI TRABAJO DE TESIS.

*ADJUNTO LA RESOLUCIÓN DEL PERFIL DE TESIS

ATENTAMENTE

CARLOS ENRIQUE LOPEZ BENDEZU

ASESOR



Carlos López <carlosenrique11796@gmail.com>

INFORMACION METEOROLOGICA

2 mensajes

Geiter Pinchi Arias (DZ9) <gpinchi@senamhi.gob.pe>
Para: carlosenrique11796 <carlosenrique11796@gmail.com>

13 de junio de 2019, 17:26

Buenas tardes Sr. Carlos E. López Bendezú, se remite la información meteorológica solicitada.

FAVOR CONFIRMAR RECEPCION.


Atte.



Geiter Pinchi Arias
ASISTENTE HIDROMETEOROLOGICO
DIRECCION ZONAL 9
SENAMHI - PERÚ

D: Jr. Sofia Delgado 231 Segundo
Piso - Tarapoto
T:042-521892 Anexo -
C: -
E: gpinchi@senamhi.gob.pe
W: www.senamhi.gob.pe

SENAMHI es una institución responsable con el medio ambiente. Le pedimos no imprimir este correo a menos que sea absolutamente necesario. Reduzca - Reuse - Recicle

 **INFORMAC-CARLOS E. LOPEZ-Dato Met-1999-2018.xls**
213K

Carlos López <carlosenrique11796@gmail.com>
Para: "Geiter Pinchi Arias (DZ9)" <gpinchi@senamhi.gob.pe>

13 de junio de 2019, 17:52

RECIBIDO CONFORME, GRACIAS
[El texto citado está oculto]



Carlos López <carlosenrique11796@gmail.com>

INFORMACION METEOROLOGICA

1 mensaje

Geiter Pinchi Arias (DZ9) <gpinchi@senamhi.gob.pe>
Para: Carlos López <carlosenrique11796@gmail.com>
Cc: "Daniel Enrique Sanchez Laurel (DZ9)" <dsanchez@senamhi.gob.pe>

25 de noviembre de 2022, 14:41

Buenas tardes, se remite la información meteorológica para desarrollo de tesis, a nombre de: CARLOS ENRIQUE LOPEZ BENDEZU

FAVOR CONFIRMAR RECEPCION.

Atte.



Geiter Pinchi Arias
ASISTENTE HIDROMETEOROLOGICO
DIRECCION ZONAL 9
SENAMHI - PERÚ

D: Jr. Sofia Delgado 231 Segundo
Piso - Tarapoto
T: 042-521892 Anexo -
C: 996 053 759
E: gpinchi@senamhi.gob.pe
W: www.senamhi.gob.pe

De: Carlos López <carlosenrique11796@gmail.com>

Enviado: miércoles, 23 de noviembre de 2022 15:55

Para: Geiter Pinchi Arias (DZ9) <gpinchi@senamhi.gob.pe>

Asunto: Re: SOLICITUD DE DATOS COMPLEMENTARIOS PARA TRABAJO DE INVESTIGACIÓN (TESIS)

BUENAS TARDES

SEGÚN LO SOLICITADO ADJUNTO DOCUMENTOS

GRACIAS

SALUDOS

Carlos Enrique López Bendezú
Tel. 942416217

El mié, 23 nov 2022 a las 8:52, Carlos López (<carlosenrique11796@gmail.com>) escribió:
BUENOS DÍAS

MEDIANTE LA PRESENTE SOLICITO DATOS COMPLEMENTARIOS PARA CULMINACION DE TESIS. ADJUNTO DOCUMENTACIÓN DE SOLICITUD DE DATOS, POSTERIORMENTE DOCUMENTOS INICIALES PARA EL INICIO DE LA INVESTIGACIÓN RESPALDADO POR LA UNSM.

AGRADEZCO DE ANTEMANO SU ATENCIÓN Y RESPUESTA.

SALUDOS

Carlos Enrique López Bendezú
Tel. 942416217

 **Prec-Total mens-2019-2021.xls**
112K



PERÚ

Ministerio
del AmbienteServicio Nacional de
Meteorología e Hidrología
del Perú - SENAMHIDirección
Zonal 9

ESTACION CO "JEPELACIO"

Latitud : 06° 04'
 Longitud : 76° 55'
 Altura : 1000 m.s.n.m.

Departamento : San Martín
 Provincia : Moyobamba
 Distrito : Moyobamba


PRECIPITACIÓN MÁXIMA EN 24 HORAS (m.m.)

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	MAXIMA
1999	53.1	50.0	35.8	25.5	42.9	19.3	18.5	39.2	24.3	35.2	60.8	57.7	60.8
2000	40.8	49.6	48.2	44.3	23.7	15.2	22.1	54.1	39.5	30.3	12.1	48.8	54.1
2001	10.5	34.1	39.9	37.5	41.1	27.6	20.8	24.5	66.4	32.3	44.3	52.7	66.4
2002	29.5	15.7	38.6	26.3	45.7	8.2	20.0	16.4	10.9	22.4	35.0	10.2	45.7
2003	31.3	33.9	51.3	8.8	67.9	32.7	16.7	47.4	43.2	46.4	15.3	34.8	67.9
2004	10.6	49.4	19.1	35.5	37.4	9.8	41.4	18.1	30.3	33.6	30.1	25.3	49.4
2005	15.8	32.0	31.2	20.2	47.1	18.6	23.5	11.8	17.9	31.8	73.9	50.6	73.9
2006	37.1	20.8	36.4	21.5	19.8	16.6	29.4	21.7	20.5	47.3	17.0	26.5	47.3
2007	29.1	8.2	27.7	26.0	18.2	11.9	42.8	28.8	40.7	50.5	39.2	31.9	50.5
2008	23.9	37.1	31.2	25.9	17.2	33.3	13.5	27.9	28.6	22.1	39.4	47.5	47.5
2009	48.5	28.9	27.4	26.2	36.3	33.8	20.8	18.8	22.5	30.6	15.6	13.2	48.5
2010	12.9	60.9	25.3	43.2	25.7	19.3	42.1	6.3	35.2	37.6	25.8	18.4	60.9
2011	25.7	20.9	120.9	21.9	38.6	13.7	19.4	18.6	13.2	48.2	22.2	28.4	120.9
2012	29.0	34.1	56.7	31.2	19.6	26.5	6.2	6.0	62.6	55.3	36.5	29.2	62.6
2013	36.6	37.7	83.6	20.0	36.7	12.5	18.4	29.6	30.8	24.4	36.6	23.2	83.6
2014	33.2	37.7	29.7	32.7	17.2	29.2	23.1	17.7	11.5	45.6	84.5	100.5	100.5
2015	28.2	32.2	41.1	45.9	32.6	15.5	17.7	17.8	40.0	30.2	85.5	35.5	85.5
2016	21.7	38.6	33.8	56.3	21.8	15.2	4.0	18.5	26.2	50.1	9.5	44.9	56.3
2017	31.2	51.0	60.0	13.0	30.9	42.9	6.9	68.2	58.4	10.8	20.8	12.2	68.2
2018	20.2	20.5	64.2	20.4	24.4	11.4	7.3	15.2	25.4	16.8	26.4	26.6	64.2

PRECIPITACIÓN TOTAL MENSUAL (m.m.)

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	TOTAL
1999	312.3	231.9	114.9	120.5	185.5	115.7	79.8	101.5	67.0	122.5	201.5	129.7	1782.8
2000	160.8	155.8	142.5	158.8	72.2	79.8	79.0	122.7	132.0	53.6	50.8	129.6	1337.6
2001	52.1	147.9	244.0	184.8	138.9	75.5	92.4	50.7	195.1	190.0	172.8	338.7	1882.9
2002	137.2	128.8	131.6	152.6	181.0	20.0	96.5	75.8	48.9	103.7	104.7	76.3	1257.1
2003	120.5	127.7	153.6	58.4	144.9	119.8	26.5	87.6	116.0	182.2	75.7	196.8	1409.7
2004	24.0	88.6	135.3	170.3	109.3	58.7	104.2	43.0	87.5	158.2	116.2	123.7	1219.0
2005	62.0	152.6	131.4	113.2	111.0	38.5	50.1	35.8	33.5	159.7	229.3	143.7	1260.8
2006	139.2	126.6	169.8	91.6	46.5	59.4	54.2	63.9	124.6	120.3	76.6	135.0	1207.7
2007	117.3	21.1	207.8	126.7	84.9	13.5	63.2	63.6	159.5	214.8	189.7	108.3	1370.4
2008	103.0	203.0	236.9	136.8	78.3	121.0	45.0	49.9	134.0	85.4	122.6	120.6	1436.5
2009	155.5	119.9	156.1	164.8	105.5	171.7	78.8	81.9	96.7	102.0	89.4	49.0	1371.3
2010	49.4	162.0	70.0	114.6	96.4	34.1	93.4	24.0	72.6	184.2	130.6	81.7	1113.0
2011	85.0	80.6	350.2	79.4	87.0	50.8	64.6	53.8	91.5	145.9	122.4	168.3	1379.5
2012	154.9	161.9	232.9	165.0	103.4	75.5	25.6	22.3	161.1	188.6	84.1	150.0	1525.3
2013	117.2	63.9	368.5	70.7	111.7	45.9	51.0	96.2	100.6	99.4	144.9	75.5	1345.5
2014	138.9	151.8	239.9	168.7	54.4	74.9	52.0	63.9	72.8	211.9	301.6	240.4	1771.2
2015	181.1	186.8	215.1	183.1	152.9	52.5	65.6	43.7	102.2	161.4	173.6	203.5	1721.5
2016	55.8	176.9	150.5	123.0	89.7	44.9	15.2	26.9	121.5	149.8	48.8	138.7	1141.7
2017	164.4	225.7	174.8	66.3	150.4	132.2	19.8	100.2	127.0	84.4	70.6	81.5	1397.3
2018	193.2	106.6	163.6	99.3	122.8	24.6	39.0	71.5	111.5	113.2	111.4	136.7	1293.4

NOTA: LA PRESENTE INFORMACION METEOROLÓGICA SOLO SERA EMPLEADA PARA EL PROPÓSITO DE LA SOLICITUD
 QUEDANDO PROHIBIDA SU REPRODUCCION TOTAL O PARCIAL.

	PERÚ	Ministerio del Ambiente	Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú - SENAMHI	Dirección Zonal 9
-----------------------------------------------------------------------------------	-------------	-------------------------	-------------------------------------------------------------------	-------------------

ESTACION CO "JEPELACIO"

Latitud : 06° 04'
 Longitud : 76° 55'
 Altura : 1000 m.s.n.m.

Departamento : San Martín
 Provincia : Moyobamba
 Distrito : Moyobamba


TEMPERATURA MEDIA MENSUAL (°C)

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	MEDIA
2010	21.8	22.7	22.4	22.3	22.1	21.3	21.2	22.0	22.4	23.3	22.7	23.3	22.3
2011	22.3	22.2	22.0	22.2	22.2	21.8	21.5	21.7	22.0	22.8	22.9	22.8	22.2
2012	22.4	21.6	22.3	22.5	22.5	21.7	21.3	22.4	21.8	22.5	23.2	22.6	22.2
2013	22.3	22.1	22.7	22.6	22.4	21.6	21.0	21.5	22.2	22.8	23.2	22.8	22.3
2014	22.1	21.5	21.5	21.2	21.1	20.6	20.7	20.9	20.6	21.3	22.6	21.5	21.3
2015	21.5	22.4	21.9	21.6	21.6	21.2	22.2	22.0	22.4	22.9	23.2	21.9	22.1
2016	23.6	22.2	22.4	22.6	22.0	20.9	21.3	22.8	22.3	22.8	23.3	22.5	22.4
2017	21.7	22.0	22.0	22.2	22.4	21.9	21.4	22.2	22.3	21.8	22.1	22.0	22.0
2018	22.2	22.3	21.8	22.1	22.5	22.3	22.3	22.2	22.3	21.6	21.4	21.7	22.1

HUMEDAD RELATIVA PROMEDIO MENSUAL (%)

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	MEDIA
2010	81	81	84	87	90	85	82	78	81	78	78	74	82
2011	80	80	81	80	80	80	77	75	75	78	79	76	78
2012	82	78	75	82	78	79	78	79	83	84	83	86	81
2013	86	86	85	82	86	87	83	83	83	85	85	85	85
2014	85	88	91	89	90	89	88	85	88	85	84	85	87
2015	84	86	87	88	87	87	86	84	86	85	82	86	86
2016	84	88	87	86	86	86	85	84	92	92	90	90	88
2017	88	86	87	86	89	87	89	88	90	91	91	92	89
2018	91	92	91	91	90	90	90	89	88	87	88	87	90

NOTA: LA PRESENTE INFORMACION METEOROLÓGICA SOLO SERA EMPLEADA PARA EL PROPÓSITO DE LA SOLICITUD QUEDANDO PROHIBIDA SU REPRODUCCION TOTAL O PARCIAL.

	PERÚ	Ministerio del Ambiente	Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú - SENAMHI	Dirección Zonal 9
-------------------------------------------------------------------------------------	-------------	-------------------------	-------------------------------------------------------------------	-------------------

ESTACION CO "JEPELACIO"

Latitud : 06° 04'
 Longitud : 76° 55'
 Altura : 1000 m.s.n.m.

Departamento : San Martín
 Provincia : Moyobamba
 Distrito : Moyobamba

PRECIPITACIÓN TOTAL MENSUAL (m.m.)

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	TOTAL
2019	214.7	229.8	196.7	163.1	164.3	87.5	138.5	86.7	146.1	186.5	38.2	148.8	1800.9
2020	174.7	201.9	80.7	S/D	S/D	S/D	S/D	41.8	130.0	96.4	167.2	128.7	1021.4

NOTA: LA PRESENTE INFORMACION METEOROLÓGICA SOLO SERA EMPLEADA PARA EL PROPÓSITO DE LA SOLICITUD QUEDANDO PROHIBIDA SU REPRODUCCION TOTAL O PARCIAL.



PERÚ

Ministerio
del AmbienteServicio Nacional de
Meteorología e Hidrología
del Perú - SENAMHIDirección
Zonal 9

ESTACION CO "PACAYZAPA"

Latitud : 06° 14'
 Longitud : 76° 41'
 Altura : 830 m.s.n.m.

Departamento : San Martín
 Provincia : Lamas
 Distrito : Alonso de Alvarado


PRECIPITACIÓN MÁXIMA EN 24 HORAS (m.m.)

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	MAXIMA
1999	37.8	41.8	38.6	28.5	46.3	91.4	32.2	28.3	16.6	50.0	64.9	51.2	91.4
2000	28.0	47.0	27.4	40.4	30.7	31.4	48.0	62.2	64.9	31.2	23.4	56.2	64.9
2001	23.6	26.4	73.6	60.5	41.5	29.2	45.2	21.8	33.3	84.8	22.6	92.9	92.9
2002	27.9	14.4	14.7	61.4	35.0	35.1	66.5	14.8	23.5	47.0	34.6	11.6	66.5
2003	39.3	28.5	56.4	28.8	53.2	40.4	29.0	22.2	57.2	88.3	26.9	58.5	88.3
2004	28.9	55.4	94.6	80.5	88.3	32.9	20.6	35.2	46.1	37.7	25.5	19.7	94.6
2005	39.7	27.0	18.5	69.2	41.0	43.6	23.9	18.9	34.9	26.7	61.6	37.4	69.2
2006	51.1	46.1	34.3	24.1	25.9	36.6	52.9	14.9	45.6	19.2	80.5	21.2	80.5
2007	16.6	31.2	34.9	35.2	65.4	9.6	32.7	78.9	63.3	45.2	61.1	8.2	78.9
2008	60.1	50.4	50.3	102.1	35.7	31.1	35.2	15.9	39.4	27.8	14.9	27.3	102.1
2009	66.8	35.2	75.9	119.5	36.1	70.0	25.7	34.8	50.9	23.3	27.2	13.2	119.5
2010	8.5	39.0	24.8	36.8	44.7	22.6	35.4	21.2	67.8	17.6	65.7	34.6	67.8
2011	12.3	19.0	36.3	27.7	22.7	33.5	21.2	43.3	11.7	21.8	34.1	54.1	54.1
2012	60.8	17.6	65.2	63.2	38.5	25.3	48.5	13.6	29.4	41.6	19.4	22.2	65.2
2013	38.8	17.9	47.3	34.7	41.6	26.2	26.9	25.2	46.1	20.6	22.1	36.4	47.3
2014	29.2	20.6	48.4	25.6	47.6	27.8	26.8	26.9	12.8	90.7	70.9	22.2	90.7
2015	58.2	77.2	30.0	47.8	33.8	52.4	28.2	51.3	7.5	25.5	65.2	33.5	77.2
2016	6.5	54.0	48.5	51.8	42.2	41.2	10.5	37.2	37.4	39.7	25.2	31.2	54.0
2017	37.2	53.2	47.8	21.5	45.0	50.6	40.4	23.5	54.2	38.5	98.0	28.2	98.0
2018	29.8	37.5	21.2	45.0	64.5	31.4	59.8	18.8	41.8	47.5	31.2	25.8	64.5

PRECIPITACIÓN TOTAL MENSUAL (m.m.)

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	TOTAL
1999	195.8	183.9	122.7	216.0	244.7	201.1	120.2	63.8	102.9	185.8	199.1	148.6	1984.6
2000	115.7	202.5	94.6	168.3	96.1	145.7	106.1	137.7	164.3	91.0	48.2	206.7	1576.9
2001	73.8	110.0	283.1	297.7	190.9	91.6	157.7	57.5	100.2	218.6	82.1	321.4	1984.6
2002	111.0	99.0	77.3	260.8	168.3	79.2	254.4	66.3	144.8	173.9	146.4	60.2	1641.6
2003	110.7	155.9	243.1	102.1	189.9	116.8	68.2	84.2	212.6	300.9	78.1	301.8	1964.3
2004	55.8	77.8	222.7	272.2	234.5	168.8	65.0	120.6	156.7	182.2	117.9	74.5	1748.7
2005	84.1	132.9	114.8	268.9	111.3	105.6	72.6	30.9	88.2	172.7	261.7	84.2	1527.9
2006	142.3	149.8	168.8	103.7	60.5	96.4	84.4	42.5	157.7	81.0	210.1	67.8	1365.0
2007	108.7	53.7	199.6	175.2	168.4	25.1	71.8	132.3	219.2	228.4	222.1	42.0	1646.5
2008	137.4	204.9	298.0	251.6	104.0	141.2	75.7	25.2	201.5	89.7	111.5	62.3	1703.0
2009	271.0	159.9	272.2	383.0	93.9	162.8	93.2	115.0	167.6	96.1	88.2	49.0	1951.9
2010	24.8	181.5	140.0	148.9	186.6	57.5	77.8	74.4	149.9	93.0	205.5	143.9	1483.8
2011	63.1	92.3	227.1	123.1	114.5	136.8	93.7	72.0	80.0	109.1	191.0	293.9	1596.6
2012	165.9	99.9	386.4	258.5	240.5	95.7	62.5	41.9	116.1	152.7	81.2	96.0	1797.3
2013	145.4	95.2	223.4	116.3	118.4	93.5	101.7	109.1	120.2	152.3	109.4	77.4	1462.3
2014	130.5	104.5	282.2	209.9	141.2	115.8	84.3	105.0	93.6	194.5	224.2	114.5	1800.2
2015	358.6	249.7	167.9	255.2	167.4	124.0	126.3	88.0	32.0	154.4	223.9	157.2	2104.6
2016	26.0	209.6	268.6	139.9	136.2	104.5	28.7	79.5	131.3	198.1	90.5	101.8	1514.7
2017	234.1	171.2	136.7	92.0	189.7	136.0	61.1	72.5	201.1	154.9	245.6	91.5	1786.4
2018	150.1	102.9	74.4	216.1	209.0	83.4	100.1	88.5	131.7	238.2	120.3	97.9	1612.6

NOTA: LA PRESENTE INFORMACION METEOROLÓGICA SOLO SERA EMPLEADA PARA EL PROPÓSITO DE LA SOLICITUD
 QUEDANDO PROHIBIDA SU REPRODUCCION TOTAL O PARCIAL.

	PERÚ	Ministerio del Ambiente	Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú - SENAMHI	Dirección Zonal 9
-----------------------------------------------------------------------------------	-------------	-------------------------	-------------------------------------------------------------------	-------------------


ESTACION CO "PACAYZAPA"

Latitud : 06° 14'
 Longitud : 76° 41'
 Altura : 830 m.s.n.m.

Departamento : San Martín
 Provincia : Lamas
 Distrito : Alonso de Alvarado

DIRECCION PREDOMINANTE Y VELOCIDAD MEDIA DEL VIENTO (m/s)

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
2000	N-2.7	N-3.2	SE-3.6	S-3.6	SE-3.7	S-3.2	S-2.2	S-2.3	S-2.4	S-2.6	S-2.7	S-2.8
2001	N-2.8	N-2.3	N-2.6	S-2.8	S-2.8	S-2.8	S-2.8	S-2.2	S-2.2	S-2.1	N-2.4	S-2.3
2002	N-2.7	N-2.2	N-2.1	S-2.0	S-1.9	S-2.2	S-2.0	S-2.3	S-2.4	S-2.4	N-2.7	N-2.8
2003	N-2.6	N-2.6	N-2.7	S-2.6	S-2.5	N-2.5	N-3.4	N-2.7	N-2.6	N-2.2	S-2.2	S-2.0
2004	N-1.9	N-1.9	N-1.6	N-1.7	N-1.6	N-1.8	N-2.9	N-2.8	N-2.5	S-2.5	N-2.2	N-2.3
2005	N-2.2	N-2.1	N-2.2	N-2.1	N-2.2	N-2.3	N-2.1	N-2.5	N-2.4	N-2.3	N-2.3	N-2.5
2006	N-2.2	N-2.2	N-2.4	N-2.5	N-2.2	N-2.4	N-2.3	N-2.4	N-2.8	N-2.3	N-2.1	N-2.1
2007	N-2.1	N-2.4	S-2.1	N-2.2	N-2.1	N-2.0	N-2.2	N-2.1	N-2.1	N-2.1	N-2.3	N-2.2
2008	N-2.1	N-2.1	N-2.2	S-2.2	N-2.2	S-2.3	S-2.3	N-2.2	N-2.2	N-2.2	N-2.2	N-3.4
2009	N-2.2	N-2.2	S-2.2	S-2.0	S-2.1	S-2.2	N-2.2	S-2.2	N-2.2	N-2.2	N-2.2	N-1.6
2010	S-2.2	S-2.2	S-1.1	S-2.3	N-2.3	S-2.2	N-2.3	S-2.5	S-2.4	N-2.4	S-2.5	N-1.6
2011	S-2.2	S-2.2	S-2.3	S-2.2	N-2.3	S-2.2	S-2.2	S-2.2	S-2.2	S-2.2	N-2.3	S-2.2
2012	N-2.2	S-2.2	S-2.3	S-2.3	N-2.2	S-2.3	S-2.2	S-2.2	N-2.2	S-2.2	S-2.2	N-2.2
2013	S-2.2	S-1.2	N-2.2	N-2.2	S-2.3	S-2.2	S-2.1	S-2.3	S-2.2	S-2.1	S-2.2	S-2.3
2014	S-2.2	N-2.2	S-2.2	S-2.2	S-2.2	S-2.1	S-4.4	S-2.2	S-2.1	S-2.3	S-2.1	S-2.2
2015	N-2.0	N-2.2	N-2.5	S-2.1	S-2.1	N-2.2	S-2.1	N-2.0	N-2.1	S-2.2	S-2.1	N-2.1
2016	N-2.2	N-2.2	N-2.1	N-2.4	S-2.1	S-2.2	S-2.2	S-2.1	S-2.2	S-2.3	N-2.1	S-2.2
2017	S-2.3	S-2.0	N-2.1	N-2.2	N-2.3	S-2.0	NE-0,6	NE-0,2	NE-0,3	N-0,5	NE-0,4	NE-0,3
2018	NE-0,4	NE-0,3	NE-1,2	NE-0,7	NE-1,9	NE-1,8	NE-1,4	N-1,3	NE-2,1	NE-2,3	NE-1,9	S-0,9

	PERÚ	Ministerio del Ambiente	Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú - SENAMHI	Dirección Zonal 9
-------------------------------------------------------------------------------------	-------------	-------------------------	-------------------------------------------------------------------	-------------------


ESTACION CO "PACAYZAPA"

Latitud : 06° 14'
 Longitud : 76° 41'
 Altura : 830 m.s.n.m.

Departamento : San Martín
 Provincia : Lamas
 Distrito : Alonso de Alvarado

TEMPERATURA MEDIA MENSUAL (°C)

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	MEDIA
2013	S/D	22.5	23.1	22.6	22.4	21.7	21.3	21.7	22.4	22.8	23.1	23.3	22.4
2014	23.0	22.5	22.5	22.4	22.9	22.5	22.2	22.2	22.3	22.6	23.5	23.5	22.7
2015	22.2	22.7	22.7	22.7	22.9	22.9	22.1	23.3	23.3	24.1	23.6	23.7	23.0
2016	25.0	23.5	23.4	24.0	24.0	23.5	23.5	23.5	23.2	23.1	24.3	24.5	23.8
2017	23.8	23.1	23.2	23.3	23.1	23.6	23.4	24.0	23.6	23.8	24.5	24.7	23.7
2018	23.3	24.3	24.0	23.7	23.6	23.8	23.1	23.3	23.5	23.0	24.4	24.3	23.7

	PERÚ	Ministerio del Ambiente	Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú - SENAMHI	Dirección Zonal 9
-----------------------------------------------------------------------------------	-------------	-------------------------	-------------------------------------------------------------------	-------------------

ESTACION CO "PACAYZAPA"


Latitud : 06° 14'
 Longitud : 76° 41'
 Altura : 830 m.s.n.m.

Departamento : San Martín
 Provincia : Lamas
 Distrito : Alonso de Alvarado

PRECIPITACIÓN TOTAL MENSUAL (m.m.)

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	TOTAL
2019	305.7	268.2	152.5	162.2	161.2	97.8	116.9	93.1	121.9	86.5	183.1	264.3	2013.4
2020	131.0	86.2	121.1	181.6	150.3	30.2	101.1	35.4	208.5	190.5	240.2	44.4	1520.5

NOTA: LA PRESENTE INFORMACION METEOROLÓGICA SOLO SERA EMPLEADA PARA EL PROPÓSITO DE LA SOLICITUD QUEDANDO PROHIBIDA SU REPRODUCCION TOTAL O PARCIAL.

	PERÚ	Ministerio del Ambiente	Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú - SENAMHI	Dirección Zonal 9
-----------------------------------------------------------------------------------	-------------	-------------------------	-------------------------------------------------------------------	-------------------

ESTACION CO "MOYOBAMBA"

Latitud : 05° 00'
 Longitud : 76° 58'
 Altura : 860 m.s.n.m.

Departamento : San Martín
 Provincia : Moyobamba
 Distrito : Moyobamba

PRECIPITACIÓN MAXIMA EN 24 HORAS (m.m.)

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	MAXIMA
1999	51.0	35.2	29.4	17.8	66.1	28.5	12.8	31.3	10.7	85.0	77.7	26.4	85.0
2000	38.9	49.7	27.6	47.2	10.4	9.4	22.2	23.4	35.9	30.2	12.4	46.5	49.7
2001	25.9	57.6	33.0	47.2	31.1	19.1	15.0	56.0	37.4	51.5	27.3	40.6	57.6
2002	18.2	19.3	56.1	31.8	18.5	18.4	56.4	6.1	7.5	12.5	51.7	28.5	56.4
2003	39.6	36.0	31.4	5.9	93.9	26.2	12.1	20.2	39.9	41.5	25.3	62.5	93.9
2004	13.0	47.6	15.1	16.1	57.5	9.1	13.5	14.8	39.3	23.7	75.3	19.3	75.3
2005	27.1	50.0	21.0	38.6	17.4	14.2	16.1	6.5	22.8	30.8	58.2	56.1	58.2
2006	30.4	38.4	32.8	10.8	12.0	10.0	26.1	32.2	21.7	34.6	29.0	37.5	38.4
2007	17.2	13.7	22.8	44.6	46.2	6.9	19.7	32.4	32.6	36.6	44.4	50.2	50.2
2008	18.7	32.9	31.8	21.0	17.5	26.5	18.1	7.8	28.3	37.6	18.1	43.5	43.5
2009	40.9	46.3	15.3	28.8	32.2	16.5	15.8	12.3	25.3	28.4	13.3	10.6	46.3
2010	19.2	61.6	34.4	26.7	33.9	28.0	27.6	15.9	28.9	22.8	33.2	27.4	61.6
2011	27.4	23.5	104.7	22.3	7.7	14.8	27.1	12.5	14.7	29.3	43.5	31.7	104.7
2012	48.1	20.9	80.0	32.9	17.1	17.6	16.6	27.1	19.5	25.2	38.3	35.7	80.0
2013	15.7	60.6	90.8	30.9	32.5	8.8	18.5	33.6	37.9	25.7	45.0	39.6	90.8
2014	68.8	30.3	28.1	53.8	15.1	17.7	14.1	19.0	14.3	67.2	42.8	34.0	68.8
2015	55.0	36.9	51.4	28.3	24.7	14.9	21.1	39.6	10.9	41.8	63.0	46.5	63.0
2016	20.5	44.7	34.8	57.8	31.8	15.2	11.0	22.8	38.2	32.9	12.5	47.0	57.8
2017	39.5	111.3	14.9	31.6	51.6	12.8	26.9	26.9	24.0	35.9	29.0	19.8	111.3
2018	46.5	69.4	26.2	33.3	48.8	10.4	22.8	34.1	48.4	30.2	52.5	41.6	69.4

PRECIPITACIÓN TOTAL MENSUAL (m.m.)

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	TOTAL
1999	195.4	254.8	171.9	81.9	176.9	85.2	55.9	73.9	44.3	189.8	166.1	107.7	1603.8
2000	154.3	185.4	151.8	161.9	58.0	40.8	65.7	95.6	134.2	111.3	44.1	234.4	1437.5
2001	79.5	156.3	266.5	164.2	114.3	52.3	56.0	112.6	120.4	232.6	78.3	184.1	1617.1
2002	106.0	138.9	167.5	181.4	87.3	29.7	123.6	24.3	24.8	60.4	135.7	107.1	1186.7
2003	188.6	113.8	142.9	43.8	224.3	115.4	32.5	64.9	92.1	117.9	71.1	228.0	1435.3
2004	54.2	96.2	125.0	89.7	110.9	38.8	69.9	38.6	103.0	115.6	209.9	97.9	1149.7
2005	77.6	235.7	98.2	159.7	71.4	52.4	47.3	20.5	66.6	150.0	198.6	154.3	1332.3
2006	136.5	192.9	166.6	70.9	34.2	31.1	43.4	103.6	98.7	150.9	102.8	185.8	1317.4
2007	139.6	50.8	185.1	147.6	110.5	16.1	33.9	109.6	123.5	140.1	200.8	161.2	1418.8
2008	94.2	206.8	224.6	90.4	75.4	100.5	53.1	30.9	119.0	165.4	106.7	129.9	1396.9
2009	204.9	164.0	97.3	167.4	115.1	94.3	58.4	41.9	117.4	108.3	69.4	45.8	1284.2
2010	53.9	184.2	109.4	129.0	144.1	55.5	62.9	33.2	79.0	104.9	123.5	112.6	1192.2
2011	75.2	106.2	288.5	86.2	30.7	44.8	63.2	23.2	79.2	129.5	144.9	225.0	1296.6
2012	150.2	132.4	237.3	166.2	82.5	63.7	34.4	50.9	80.0	137.0	88.2	152.9	1375.7
2013	137.9	105.4	307.8	105.2	117.7	39.7	50.1	138.5	114.5	113.0	88.8	112.8	1431.4
2014	192.4	133.3	255.4	210.6	59.5	73.4	52.1	82.1	63.0	187.6	169.8	193.9	1673.1
2015	216.5	162.5	220.3	146.3	114.5	42.7	96.9	82.3	40.7	141.2	167.4	242.7	1674.0
2016	66.6	212.4	180.8	184.9	96.1	43.0	26.6	59.5	146.9	107.7	42.4	167.9	1334.8
2017	170.7	241.1	104.7	41.5	138.9	196.9	19.4	95.6	106.1	114.0	149.4	95.1	1473.4
2018	220.3	148.0	150.5	128.9	148.1	32.9	38.2	71.5	103.5	167.4	130.9	179.0	1519.2

NOTA: LA PRESENTE INFORMACION METEOROLÓGICA SOLO SERA EMPLEADA PARA EL PROPÓSITO DE LA SOLICITUD QUEDANDO PROHIBIDA SU REPRODUCCION TOTAL O PARCIAL.



PERÚ

Ministerio
del AmbienteServicio Nacional de
Meteorología e Hidrología
del Perú - SENAMHIDirección
Zonal 9

ESTACION CO "MOYOBAMBA"

Latitud : 05° 00'
Longitud : 76° 58'
Altura : 860 m.s.n.m.

Departamento : San Martín
Provincia : Moyobamba
Distrito : Moyobamba

DIRECCION PREDOMINANTE Y VELOCIDAD MEDIA DEL VIENTO (m/s)

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
1999	W-2,7	W-1,6	W-2,2	E-3,1	E-3,2	E-1,9	E-2,0	E-2,4	E-1,8	E-2,8	W-1,7	W-2,2
2000	W-1,6	W-1,6	W-1,7	E-2,1	E-2,5	E-1,8	E-2,4	E-2,1	E-1,8	W-2,0	W-2,1	W-1,8
2001	W-1,8	W-1,7	W-1,7	E-2,1	N-1,7	E-2,0	N-1,4	E-1,9	E-1,7	W-1,6	W-2,2	W-2,2
2002	W-2,1	W-1,7	W-1,5	W-2,0	N-,13	E-2,7	E-2,0	W-2,0	E-2,0	N-1,6	W-1,6	W-1,9
2003	W-1,5	W-1,5	W-1,7	E-2,2	E-2,1	E-1,5	E-2,0	E-2,2	E-2,5	E-2,1	W-1,7	W-2,0
2004	W-2,6	W-2,2	W-1,4	W-1,7	E-2,2	E-2,3	E-2,0	E-2,3	E-2,0	N-2,0	E-2,0	SW-2,2
2005	N-2,0	W-2,0	W-1,7	E-1,8	E-2,7	E-2,2	E-2,0	E-2,6	E-2,2	E-1,8	W-1,8	W-2,2
2006	N-1,5	W-1,9	W-1,4	E-2,1	E-3,3	E-2,3	NE-1,9	E-2,0	N-2,2	N-1,8	W-1,9	W-2,1
2007	W-1,1	N-2,2	N-1,4	E-1,7	E-2,4	E-2,5	E-2,1	E-2,1	W-1,8	W-1,3	W-1,4	W-1,9
2008	W-1,5	E-1,7	W-1,5	W-1,3	E-1,9	E-1,4	E-1,4	E-1,6	E-1,8	E-1,8	E-1,7	W-2,2
2009	W-1,4	W-1,5	W-1,7	E-2,2	E-1,0	E-1,9	E-1,2	E-1,9	E-1,3	NE-1,5	NW-2,0	NW-1,8
2010	NW-1,3	NW-1,2	E-1,3	E-2,1	E-1,6	E-2,2	E-1,8	E-1,9	E-1,5	E-1,8	W-1,9	W-1,7
2011	NW-1,5	W-1,6	N-1,2	E-1,8	E-2,6	E-1,4	E-1,9	E-1,9	E-1,8	E-1,7	NW-1,6	W-1,5
2012	W-1,7	NW-1,7	E-1,8	E-1,1	E-1,2	E-1,8	E-1,8	E-1,8	E-1,4	E-1,0	NW-1,2	NW-1,2
2013	NW-0,9	W-0,8	NE-1,0	NE-2,0	E-1,4	E-1,7	E-2,1	E-1,8	E-1,6	NE-1,2	NW-1,6	W-1,7
2014	W-1,5	W-1,4	W-1,4	E-1,4	NW-1,2	E-1,9	E-1,7	E-2,2	E-1,1	NE-1,5	NW-2,3	NW-1,8
2015	NW-1,4	E-1,8	W-1,6	E-2,0	E-1,3	E-1,8	NE-1,6	N-1,4	E-1,9	E-1,6	NW-1,5	W-1,0
2016	NW-1,9	E-1,0	NE-1,6	E-2,0	E-1,7	E-2,2	E-1,2	NE-1,2	NE-1,6	E-1,7	NW-2,1	NW-1,6
2017	NW-1,2	NW-1,4	NW-1,3	E-1,7	NW-1,4	NW-1,4	E-2,7	NE-1,5	E-1,7	E-1,7	W-1,5	W-1,6
2018	W-0,9	W-1,2	NW-0,9	E-1,8	E-1,4	E-1,7	E-1,4	E-1,1	E-1,1	E-1,0	W-1,4	W-0,7

NOTA: LA PRESENTE INFORMACION METEOROLÓGICA SOLO SERA EMPLEADA PARA EL PROPÓSITO DE LA SOLICITUD QUEDANDO PROHIBIDA SU REPRODUCCION TOTAL O PARCIAL.



PERÚ

Ministerio
del AmbienteServicio Nacional de
Meteorología e Hidrología
del Perú - SENAMHIDirección
Zonal 9**ESTACION CO "MOYOBAMBA"**

Latitud : 05° 00'
 Longitud : 76° 58'
 Altura : 860 m.s.n.m.

Departamento : San Martín
 Provincia : Moyobamba
 Distrito : Moyobamba

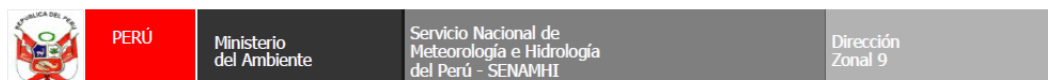
TEMPERATURA MEDIA MENSUAL (°C)

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	MEDIA
1999	22.2	22.1	22.6	21.9	21.8	21.9	21.2	21.5	22.3	22.6	23.1	22.9	22.2
2000	22.4	22.0	22.2	21.9	22.6	22.1	21.3	22.1	22.2	22.6	24.0	22.6	22.3
2001	22.0	21.5	21.9	22.5	22.6	21.3	21.6	22.1	22.3	22.8	23.2	23.2	22.3
2002	22.8	22.4	22.5	22.8	22.4	22.2	21.5	22.0	23.0	22.8	22.4	22.6	22.5
2003	22.6	22.5	22.7	22.7	22.3	22.1	21.7	22.4	22.8	23.6	23.6	22.8	22.7
2004	23.8	23.1	22.6	23.0	23.1	21.5	21.6	22.1	22.0	23.4	23.4	23.0	22.7
2005	23.8	23.0	23.2	22.8	23.0	22.8	22.2	22.7	22.7	22.4	23.4	22.8	22.9
2006	22.5	22.3	22.3	22.8	22.6	23.0	22.4	22.7	22.8	23.3	23.2	23.0	22.7
2007	22.4	23.3	22.0	22.4	22.8	23.0	22.3	22.8	22.2	22.9	22.6	23.0	22.6
2008	22.2	22.2	22.3	22.6	22.3	22.2	21.9	22.7	22.4	22.6	23.2	23.4	22.5
2009	22.3	22.3	22.2	22.4	22.4	22.2	22.4	22.9	22.7	23.4	24.0	23.2	22.7
2010	23.0	23.5	23.6	23.6	23.3	23.1	22.9	23.3	23.5	23.9	23.3	23.3	23.4
2011	23.0	22.9	22.5	22.8	23.2	22.8	22.5	23.6	22.8	23.6	23.6	22.9	23.0
2012	22.8	22.0	22.3	22.7	22.6	22.2	22.3	23.5	22.7	23.1	24.1	23.2	22.8
2013	22.9	22.6	23.2	23.4	23.1	22.2	22.2	22.4	23.2	23.2	23.9	23.4	23.0
2014	22.7	22.1	22.6	22.5	23.1	22.9	22.4	22.7	22.6	23.0	23.9	22.9	22.8
2015	22.0	23.1	22.7	22.7	22.5	22.3	22.6	23.1	23.7	23.8	24.2	22.8	23.0
2016	25.1	23.0	23.4	23.5	23.4	22.4	22.9	23.1	23.1	23.5	24.6	23.4	23.5
2017	22.5	23.0	22.5	22.9	23.0	22.8	22.3	23.4	22.8	23.2	24.1	23.3	23.0
2018	22.3	22.8	22.4	22.7	23.1	22.4	22.5	22.3	23.3	23.1	23.7	22.3	22.7

HUMEDAD RELATIVA PROMEDIO MENSUAL (%)

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	MEDIA
1999	85	86	84	85	86	85	83	79	83	81	82	84	84
2000	84	84	84	87	85	85	84	83	84	83	78	85	84
2001	84	88	86	86	85	85	85	83	83	85	83	84	85
2002	84	88	85	86	87	82	86	81	80	84	85	85	84
2003	86	87	86	85	86	87	83	81	81	81	81	85	84
2004	79	81	87	84	83	84	84	80	84	83	83	84	83
2005	80	84	84	87	84	82	79	80	81	86	82	83	83
2006	86	87	87	85	79	80	80	80	81	83	82	84	83
2007	87	82	87	87	84	80	81	81	85	85	83	85	84
2008	87	86	86	85	83	82	83	80	84	83	83	79	83
2009	85	85	87	85	86	83	82	80	82	80	80	82	83
2010	79	84	83	83	84	81	79	76	79	78	82	81	81
2011	80	81	86	85	82	83	81	74	80	81	82	84	82
2012	84	86	86	86	83	82	79	74	79	83	79	83	82
2013	85	85	85	81	84	84	79	80	78	83	79	81	82
2014	84	88	86	86	84	82	82	79	82	82	81	85	83
2015	87	84	86	86	86	84	82	80	79	81	81	85	83
2016	77	88	86	85	83	81	79	79	81	81	77	81	82
2017	85	84	87	85	86	85	79	78	83	82	80	82	83
2018	85	84	87	84	83	81	84	83	81	84	82	85	84

NOTA: LA PRESENTE INFORMACION METEOROLÓGICA SOLO SERA EMPLEADA PARA EL PROPÓSITO DE LA SOLICITUD QUEDANDO PROHIBIDA SU REPRODUCCION TOTAL O PARCIAL.



ESTACION CO "MOYOBAMBA"

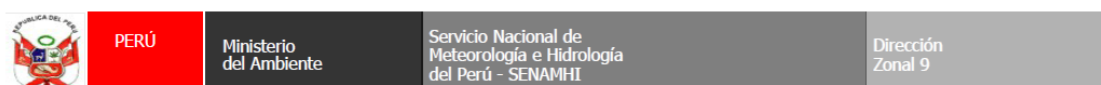
Latitud : 05° 00'
 Longitud : 76° 58'
 Altura : 860 m.s.n.m.

Departamento : San Martín
 Provincia : Moyobamba
 Distrito : Moyobamba

HORAS DE SOL TOTAL MENSUAL (horas y decimas)

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	TOTAL
1999	67.0	60.8	103.7	94.7	109.5	130.9	166.3	180.5	127.4	173.0	132.2	114.4	1460.4
2016	141.3	48.5	78.6	107.6	148.0	156.7	129.3	161.2	125.9	127.1	121.8	92.2	1438.2
2017	57.7	57.3	78.2	108.2	122.3	146.9	178.2	162.9	121.4	142.0	119.0	88.0	1382.1
2018	56.3	42.0	68.3	77.5	145.5	144.8	139.9	156.3	172.0	170.6	86.5	51.0	1310.7

NOTA: LA PRESENTE INFORMACION METEOROLÓGICA SOLO SERA EMPLEADA PARA EL PROPÓSITO DE LA SOLICITUD
 QUEDANDO PROHIBIDA SU REPRODUCCION TOTAL O PARCIAL.



ESTACION CO "MOYOBAMBA"

Latitud : 05° 00'
 Longitud : 76° 58'
 Altura : 860 m.s.n.m.

Departamento : San Martín
 Provincia : Moyobamba
 Distrito : Moyobamba

PRECIPITACIÓN TOTAL MENSUAL (m.m.)

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	TOTAL
2019	176.3	271.7	123.5	92.7	176.5	57.0	161.9	47.1	67.4	83.3	229.4	235.5	1722.3
2020	155.0	268.7	69.5	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	156.2	71.6	86.5	107.7	915.2

NOTA: LA PRESENTE INFORMACION METEOROLÓGICA SOLO SERA EMPLEADA PARA EL PROPÓSITO DE LA SOLICITUD
 QUEDANDO PROHIBIDA SU REPRODUCCION TOTAL O PARCIAL.

Anexo 7: Panel Fotográfico

Foto 1: Área de Estudio cerca de la infraestructura de la Hidroeléctrica del Gera.



Foto 2: Vegetación mezclada en el área de estudio



Foto 3: Bocatoma de la Hidroeléctrica del Gera



Foto 4: Visita de las instalaciones de la Hidroeléctrica del Gera

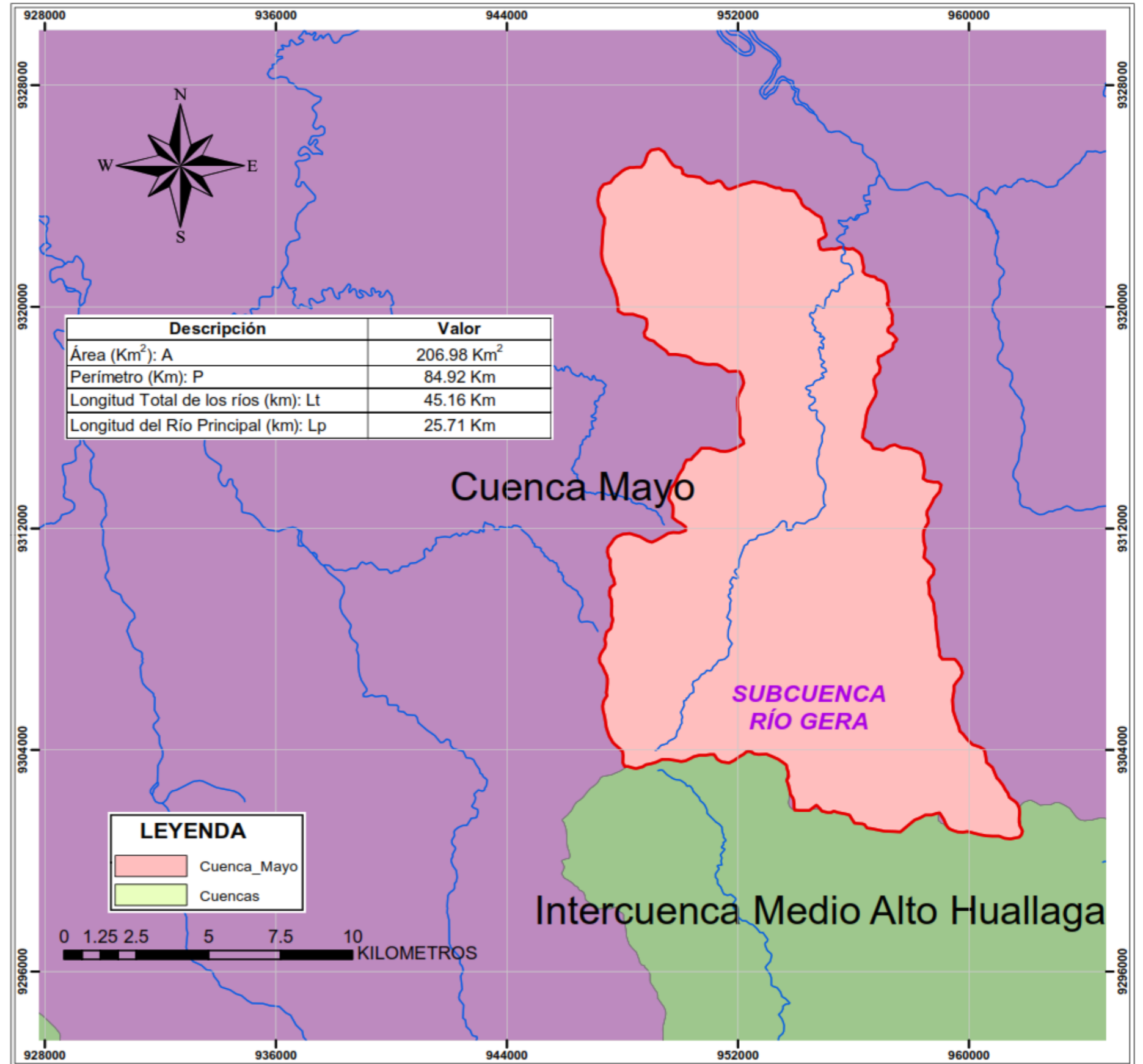
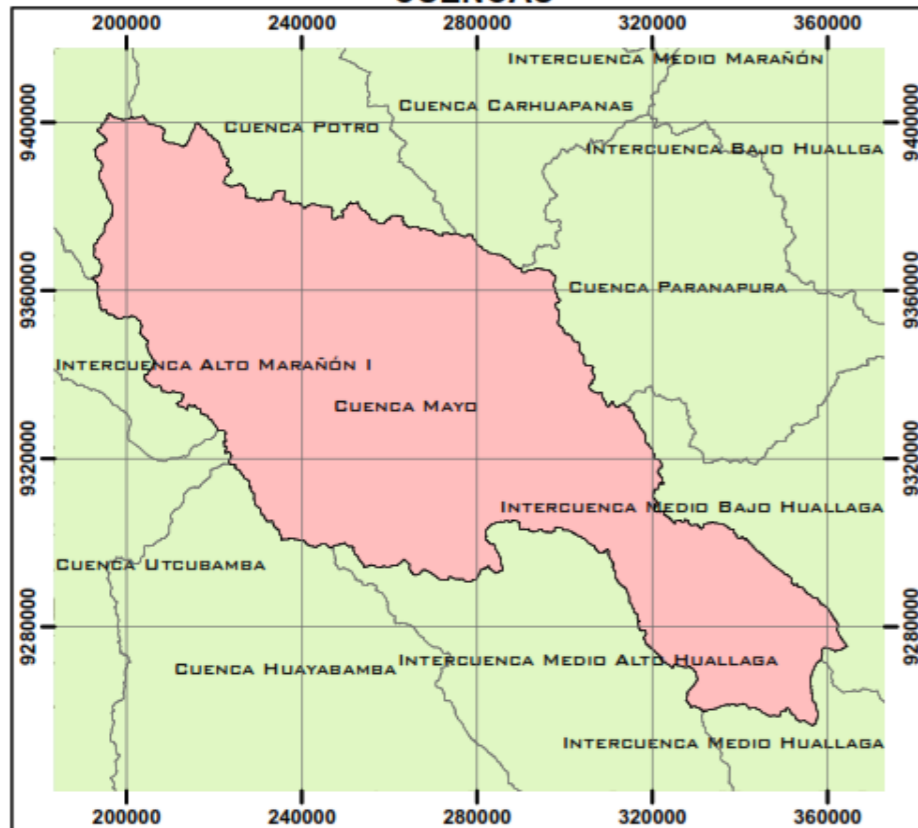
Anexo 8: Mapas

- **Mapa 01: Mapa de cuencas hidrográficas**
- **Mapa 02: Mapa de número de curva**

MAPA DE UBICACION



CUENCAS



TESIS: "APLICACIÓN DEL MODELO HIDROLÓGICO LUTZ SCHOLZ PARA EL CALCULO DE CAUDALES MEDIOS MENSUALES EN LA SUB CUENCA DEL RIO GERA A NIVEL DE BOCATOMA DEL SUB SISTEMA HIDROELÉCTRICO GERA EN LA PROVINCIA DE MOYOBAMBA-SAN MARTÍN"



Universidad: Nacional de San Martín

Facultad: Ingeniería Civil y Arquitectura

Tesista: Carlos Enrique López Bendezú

Escala: 1/130,000

Fecha: Setiembre 2022

Asesor: José del C. Pizarro Baldera

Datum: WGS 1984

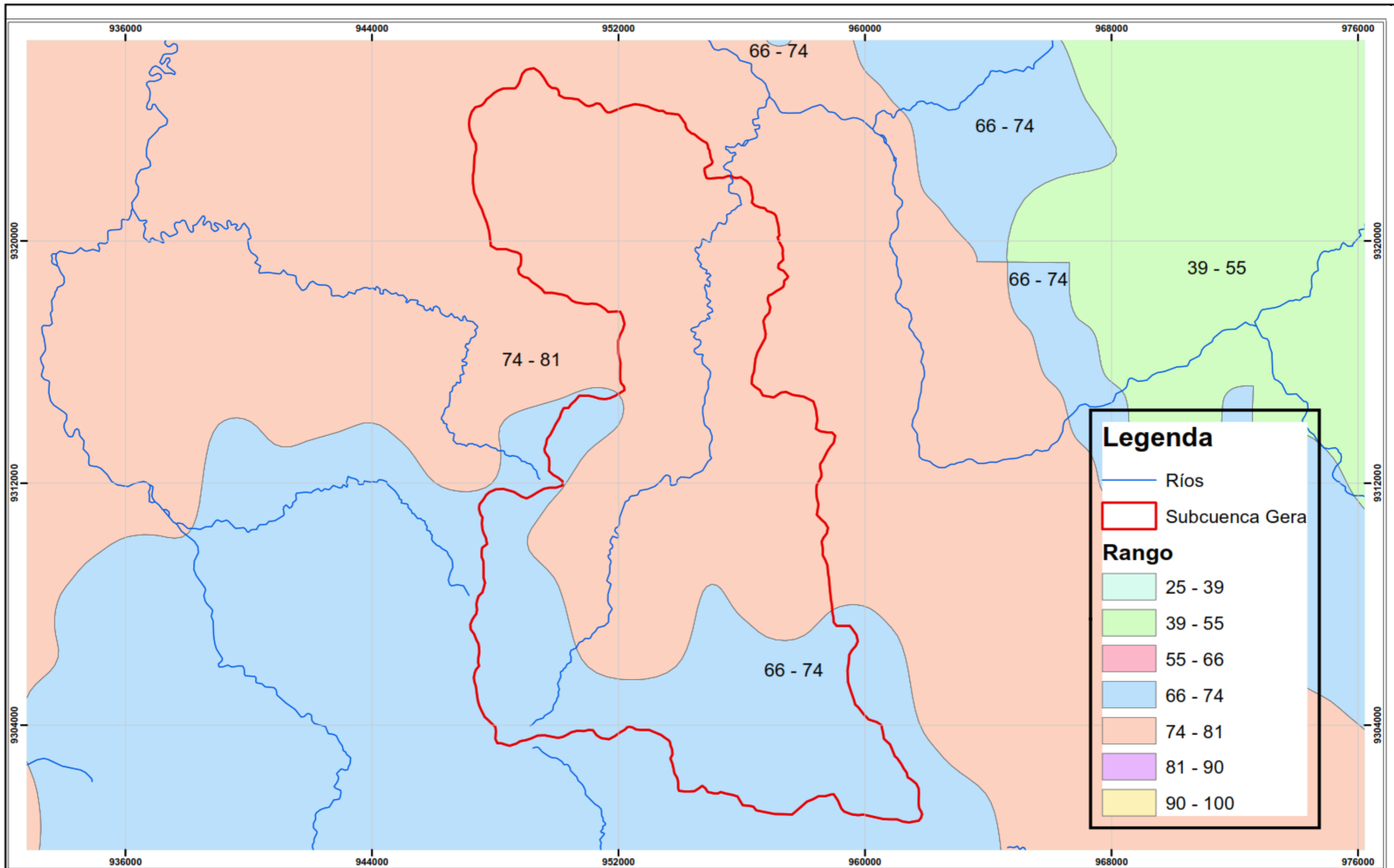
Proyección Geográfica: UTM

Zona: 18 hemisferio sur

MAPA DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS

MAPA N°

01



TESIS: "APLICACIÓN DEL MODELO HIDROLÓGICO LUTZ SCHOLZ PARA EL CALCULO DE CAUDALES MEDIOS MENSUALES EN LA SUB CUENCA DEL RIO GERA A NIVEL DE BOCATOMA DEL SUB SISTEMA HIDROELÉCTRICO GERA EN LA PROVINCIA DE MOYOBAMBA-SAN MARTÍN"



Universidad: Nacional de San Martín
 Facultad: Ingeniería Civil y Arquitectura
 Tesista: Carlos Enrique López Bendezú

Escala: 1/110,000
 Fecha: Setiembre 2022
 Asesor: José del C. Pizarro Baldera

Datum: WGS 1984
 Proyección Geográfica: UTM
 Zona: 18 hemisferio sur

MAPA DE
 NÚMERO DE CURVA

MAPA N°
 02

Aplicación del modelo hidrológico Lutz Scholz para el cálculo de caudales medios mensuales en la subcuenca del río Gera

por Carlos Enrique López - Bendezú

Fecha de entrega: 14-ago-2023 10:46a.m. (UTC-0500)

Identificador de la entrega: 2145795503

Nombre del archivo: ING._CIVIL_-_Carlos_Enrique_L_pez_Bendez.docx (9.79M)

Total de palabras: 19988

Total de caracteres: 108531

Aplicación del modelo hidrológico Lutz Scholz para el cálculo de caudales medios mensuales en la subcuenca del río Gera

INFORME DE ORIGINALIDAD

23%

INDICE DE SIMILITUD

22%

FUENTES DE INTERNET

8%

PUBLICACIONES

9%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	hdl.handle.net Fuente de Internet	4%
2	repositorioacademico.upc.edu.pe Fuente de Internet	3%
3	repositorio.unsm.edu.pe Fuente de Internet	2%
4	tesis.unsm.edu.pe Fuente de Internet	2%
5	repositorio.unap.edu.pe Fuente de Internet	1%
6	repositorio.unfv.edu.pe Fuente de Internet	1%
7	repositorio.unp.edu.pe Fuente de Internet	1%
8	repositorio.ana.gob.pe Fuente de Internet	1%