

UNIVERSIDAD CATÓLICA SEDES SAPIENTIAE
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS Y AMBIENTALES



Aplicación del modelo determinístico – estocástico Lutz Scholz para
determinar la disponibilidad hídrica de la subcuenca del
río Gera, San Martín

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO AMBIENTAL

AUTORES

Lily Jannet Gonzales Tarrillo

Luz Nelía Campos Pérez

ASESOR

Jose Esau Medina Corrales

Rioja, Perú

2023

METADATOS COMPLEMENTARIOS**Datos de los Autores****Autor 1**

Nombres	
Apellidos	
Tipo de documento de identidad	
Número del documento de identidad	
Número de Orcid (opcional)	

Autor 2

Nombres	
Apellidos	
Tipo de documento de identidad	
Número del documento de identidad	
Número de Orcid (opcional)	

Autor 3

Nombres	
Apellidos	
Tipo de documento de identidad	
Número del documento de identidad	
Número de Orcid (opcional)	

Autor 4

Nombres	
Apellidos	
Tipo de documento de identidad	
Número del documento de identidad	
Número de Orcid (opcional)	

Datos de los Asesores**Asesor 1**

Nombres	
Apellidos	
Tipo de documento de identidad	
Número del documento de identidad	
Número de Orcid (Obligatorio)	

Asesor 2

Nombres	
Apellidos	
Tipo de documento de identidad	
Número del documento de identidad	
Número de Orcid (Obligatorio)	

Datos del Jurado

Presidente del jurado

Nombres	
Apellidos	
Tipo de documento de identidad	
Número del documento de identidad	

Segundo miembro

Nombres	
Apellidos	
Tipo de documento de identidad	
Número del documento de identidad	

Tercer miembro

Nombres	
Apellidos	
Tipo de documento de identidad	
Número del documento de identidad	

Datos de la Obra

Materia*	
Campo del conocimiento OCDE Consultar el listado:	
Idioma	
Tipo de trabajo de investigación	
País de publicación	
Recurso del cual forma parte (opcional)	
Nombre del grado	
Grado académico o título profesional	
Nombre del programa	
Código del programa Consultar el listado:	

***Ingresar las palabras clave o términos del lenguaje natural (no controladas por un vocabulario o tesauro).**



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

ACTA N° 013 - 2024/UCSS/FIA/DI

Siendo las 10:00 a.m. del viernes 15 de marzo de 2024 a través de la plataforma virtual zoom de la Universidad Católica Sedes Sapientiae, el Jurado de Tesis integrado por:

- | | |
|------------------------------------|-----------------|
| 1. Claudia Daniela Ramos Delgado | presidente |
| 2. Maximiliana Irene Castro Medina | primer miembro |
| 3. Héctor Andrés Agosto Otero | segundo miembro |
| 4. Jose Esau Medina Corrales | asesor(a) |

Se reunieron para la sustentación virtual de la tesis titulada **Aplicación del modelo determinístico – estocástico Lutz Scholz para determinar la disponibilidad hídrica de la subcuenca del río Gera, San Martín** que presentan las bachilleres en Ingeniería Ambiental, **Lily Jannet Gonzales Tarrillo y Luz Nelía Campos Pérez** cumpliendo así con los requerimientos exigidos por el reglamento para la modalidad de titulación; la presentación y sustentación de un trabajo de investigación original, para obtener el Título Profesional de **Ingeniero Ambiental**.

Terminada la sustentación y luego de deliberar, el jurado acuerda:

APROBAR **X**
DESAPROBAR ...

La tesis, con el calificativo de **BUENA** y eleva la presente acta al decanato de la Facultad de Ingeniería Agraria, a fin de que se declare **EXPEDITA** para conferirle el **TÍTULO** de **INGENIERO AMBIENTAL**.

Lima, 15 de marzo de 2024.

Claudia Daniela Ramos Delgado
Presidente

Maximiliana Irene Castro Medina
1º miembro

Héctor Andrés Agosto Otero
2º miembro

Jose Esau Medina Corrales
Asesor(a)

Anexo 2

CARTA DE CONFORMIDAD DEL ASESOR(A) DE **TESIS** / INFORME ACADÉMICO/ TRABAJO DE INVESTIGACIÓN/ TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL CON INFORME DE EVALUACIÓN DEL SOFTWARE ANTIPLAGIO

Rioja, 25 de junio de 2024

Señor(a),
Wilfredo Mendoza Caballero
Jefe del Departamento de Investigación
Facultad de Ciencias Agrarias y Ambientales

Reciba un cordial saludo.

Sirva el presente para informar que **la tesis**, / informe académico/ trabajo de investigación/ trabajo de suficiencia profesional, bajo mi asesoría, con **título: Aplicación del modelo determinístico - estocástico Lutz Scholz para determinar la disponibilidad hídrica de la subcuenca del río Gera, San Martín**, presentado por Lily Jannet Gonzales Tarrillo (con código de estudiante 2014101838 y DNI 77277784) y Luz Nelia Campos Pérez (con código de estudiante 2014101813 y DNI 76238200), para optar el **título profesional**/grado académico de **Ingeniero Ambiental** ha sido revisado en su totalidad por mi persona y **CONSIDERO** que el mismo se encuentra **APTO** para ser sustentado ante el Jurado Evaluador.

Asimismo, para garantizar la originalidad del documento en mención, se le ha sometido a los mecanismos de control y procedimientos antiplagio previstos en la normativa interna de la Universidad, **cuyo resultado alcanzó un porcentaje de similitud de 0 %**. Por tanto, en mi condición de asesor(a), firmo la presente carta en señal de conformidad y adjunto el informe de similitud del Sistema Antiplagio Turnitin, como evidencia de lo informado.

Sin otro particular, me despido de usted. Atentamente,



Firma

Jose Esau Medina Corrales

DNI N°: 48268294

ORCID: 0009-0005-0460-7824

Facultad de Ciencias Agrarias y Ambientales - UCSS

* De conformidad con el artículo 8°, del Capítulo 3 del Reglamento de Control Antiplagio e Integridad Académica para trabajos para optar grados y títulos, aplicación del software antiplagio en la UCSS, se establece lo siguiente:

Artículo 8°. Criterios de evaluación de originalidad de los trabajos y aplicación de filtros

El porcentaje de similitud aceptado en el informe del software antiplagio para trabajos para optar grados académicos y títulos profesionales, será máximo de veinte por ciento (20%) de su contenido, siempre y cuando no implique copia o indicio de copia.

DEDICATORIA

La presente investigación está dedicada a Dios, por prosperarme en fuerzas y conocimiento, ya que gracias a Él logré culminar mi carrera. A mis padres porque siempre estuvieron a mi lado brindándome su apoyo y sus consejos para hacer de mí una mejor persona. A mi hija Alessa, que aunque no esté presente físicamente, sé que desde el cielo me cuida y me guía para que todo me salga bien. A mis amigos, compañeros y todas aquellas personas que de una u otra manera han contribuido al logro de mis objetivos y metas.

Lily Jannet Gonzales Tarrillo

Esta investigación está dedicada a Dios, padre celestial, por brindarme la sabiduría, la fuerza y, permitirme culminar un capítulo importante en mi vida, un capítulo universitario que, pese a las adversidades, ha sido muy fructífero. A mis padres, quienes son mi motor de vida que en conjunto con mis hermanos me han brindado la fuerza suficiente para alcanzar mis objetivos. También a mis amigas, amigos y colegas que, en su momento me han motivado a seguir adelante, pese a las dificultades presentadas durante y después de culminar mis estudios universitarios.

Luz Nelía Campos Pérez

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios, a mi familia por darme un gran ejemplo de superación, humildad y sacrificio; enseñándome a valorar todo lo que tengo, también a mis profesores y colegas que participaron y me guiaron para realizar esta investigación. No ha sido sencillo el camino hasta ahora, les agradezco no solo por estar presentes aportando buenas cosas a mi vida, sino por los grandes lazos de felicidad.

Lily Jannet Gonzales Tarrillo

Expresar mi agradecimiento eterno con Dios, nuestro padre celestial, quién siempre me ha protegido y fortalecido en todo momento haciendo posible esta meta tan importante para mí y mis padres. Agradecer a mi madre, a mi padre y hermanos por impulsarme a ser mejor persona, por los valores y la calidad humana que han inculcado en mí para alcanzar mis metas a base de trabajo, humildad y dedicación, de manera honrada y transparente. Asimismo, a mis amigos que de algún modo me han motivado en momentos difíciles.

Luz Nelia Campos Pérez

Asimismo, agradecemos:

Al Ing. Carlos Egoavil por aceptar inicialmente a asesorarnos y acompañarnos en este gran reto.

Al Ing. Jose Esau Medina Corrales, quién nos ha acompañado como asesor en la siguiente fase de esta investigación tan importante para nuestra vida profesional.

A todas nuestras amistades y colegas quienes nos han motivado a ser realidad esta investigación.

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
ÍNDICE GENERAL.....	viii
ÍNDICE DE TABLAS.....	x
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiii
ÍNDICE DE APÉNDICES.....	xiv
RESUMEN.....	xvi
ABSTRACT.....	xvii
INTRODUCCIÓN.....	1
OBJETIVOS.....	3
Objetivo general.....	3
Objetivos específicos.....	3
CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO.....	4
1.1. Antecedentes.....	4
1.1.1. Internacional.....	4
1.1.2. Nacional.....	5
1.1.3. Nivel regional.....	12
1.2. Bases teóricas especializadas.....	13
1.2.1. Marco conceptual de hidrología.....	13
1.2.2. Parámetros geomorfológicos.....	14
1.2.3. Elementos meteorológicos.....	23
1.2.4. El ciclo hidrológico y sus componentes.....	23
1.2.5. Tratamiento de información hidrometeorológica.....	25
1.2.6. Suelos.....	29
1.2.7. Coberturas y usos de suelo.....	30
1.2.8. Zonas de vida.....	31
1.2.9. Modelo determinístico – estocástico de Lutz Scholz.....	32
1.2.10. Calibración de modelos hidrológicos.....	46
1.2.11. Validación de modelos hidrológicos.....	46
CAPÍTULO II: MATERIALES Y MÉTODOS.....	47
2.1. Diseño de la investigación.....	47
2.2. Lugar y fecha.....	47
2.3. Caracterización de la zona de estudio.....	49
2.3. Materiales y equipos.....	50

2.4. Población y muestra.....	50
2.5. Técnicas e instrumentos.....	51
2.6. Descripción de la investigación	51
2.6.1. Recopilación de datos e información	51
2.6.2. Procesamiento y análisis de datos de la información cartográfica.....	52
2.6.3. Tratamiento de información hidrometeorológica.....	55
2.6.4. Suelos	57
2.6.5. Aplicación del modelo determinístico y estocástico Lutz Scholz.....	59
2.7. Identificación de variables y su mensuración.....	97
2.8. Análisis estadístico de los datos	98
CAPÍTULO III: RESULTADOS	117
3.1. Características morfométricas de la subcuenca del río Gera.....	117
3.2. Estimación de caudales para el año promedio por el modelo determinístico estocástico de Lutz Scholz.....	120
3.3. Generación de caudales para un periodo extendido	122
3.4. Calibración y validación de la efectividad del modelo propuesto con información hidrométrica observada	126
CAPÍTULO IV: DISCUSIONES	131
4.1. Características morfométricas de la subcuenca del río Gera.....	131
4.1.1. Parámetros de forma.....	131
4.1.2. Parámetros de relieve	133
4.1.3. Parámetros de drenaje	133
4.2. Estimación de caudales medios mensuales para el año promedio, mediante el método de Lutz Scholz	134
4.3. Generación de caudales medios mensuales para un periodo extendido	137
4.4. Calibración y validación del modelo propuesto por Lutz Scholz con información hidrométrica observada	138
CAPÍTULO V: CONCLUSIONES	140
CAPÍTULO IV: RECOMENDACIONES	142
REFERENCIAS	144
TERMINOLOGÍA	153
APÉNDICES	155

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág
<i>Tabla 1. Clasificación de sistemas hidrológicos de acuerdo a su tamaño</i>	14
<i>Tabla 2. Valores interpretativos del factor de forma</i>	15
<i>Tabla 3. Morfología de las cuencas hidrográficas según el coeficiente de Gravelius</i>	16
<i>Tabla 4. Clasificación de pendientes para las unidades hidrográficas</i>	17
<i>Tabla 5. Criterios de la densidad de drenaje</i>	21
<i>Tabla 6. Valores para la clasificación de la pendiente media</i>	22
<i>Tabla 7. Características de los tipos de suelo.....</i>	29
<i>Tabla 8. Coeficientes de escorrentía relacionado al uso de suelo, pendiente y textura</i>	37
<i>Tabla 9. Porción de la precipitación aprovechable por las plantas, déficit o escurrimiento.....</i>	38
<i>Tabla 10. Coeficientes para el cálculo de la precipitación efectiva</i>	40
<i>Tabla 11. Almacenamiento hídrico durante la época de lluvias (%)......</i>	44
<i>Tabla 12. Ubicación geográfica del área de estudio</i>	47
<i>Tabla 13. Áreas parciales para la obtención de la curva hipsométrica y frecuencia de altitudes.....</i>	54
<i>Tabla 14. Cobertura vegetal de suelo en la subcuenca del río Gera.....</i>	58
<i>Tabla 15. Usos de suelo en la subcuenca del río Gera</i>	58
<i>Tabla 16. Textura de suelo en la subcuenca del río Gera.....</i>	59
<i>Tabla 17. Zonas de vida para la determinación del coeficiente de escorrentía en la zona de estudio.....</i>	59
<i>Tabla 18. Caudales observados en m³/s para la subcuenca del río Gera (1994-2020)</i>	61
<i>Tabla 19. Precipitación mensual (mm) para la subcuenca del río Gera</i>	62
<i>Tabla 20. Temperatura promedio mensual máxima y mínima para la subcuenca Gera, 2010-2020.</i>	64
<i>Tabla 21. Humedad relativa para cálculo de la evapotranspiración potencial en la subcuenca Gera</i>	65
<i>Tabla 22. Evapotranspiración potencial (mm/mes) para la subcuenca del río Gera.....</i>	66
<i>Tabla 23. Coeficiente de escorrentía por el método de L. Turc.....</i>	67
<i>Tabla 24. Coeficiente de escurrimiento por método de la Misión Alemana</i>	67
<i>Tabla 25. Coeficiente de escurrimiento por el método de la ONERN</i>	68
<i>Tabla 26. Coeficiente de escorrentía por el método de Prevert.....</i>	68

Tabla 27. Coeficientes de escurrimiento calculado por diferentes métodos.....	69
Tabla 28. Precipitación efectiva para la subcuenca del río Gera	70
Tabla 29. Cálculo de parámetros para la retención hídrica de la subcuenca río Gera.....	71
Tabla 30. Retención de la subcuenca del río Gera	71
Tabla 31. Almacenamiento hídrico de la subcuenca del río Gera.....	72
Tabla 32. Caudales mensuales para el año promedio generado con el método de Lutz Scholz.....	74
Tabla 33. Precipitación efectiva mensual en mm para la subcuenca del río Gera	76
Tabla 34. Números aleatorios para la generación de caudales sintéticos en el área de estudio.....	78
Tabla 35. Parámetros de entrada para la regresión lineal múltiple	80
Tabla 36. Estadística de regresión lineal múltiple.....	80
Tabla 37. Análisis estadístico de varianza.....	80
Tabla 38. Análisis estadístico de regresión lineal múltiple.....	81
Tabla 39. Coeficientes estadísticos de la regresión lineal múltiple.....	81
Tabla 40. Caudales sintéticos para un periodo extendido en la subcuenca del río Gera (mm/mes).....	82
Tabla 41. Caudales sintéticos para un periodo extendido en la subcuenca del río Gera (m ³ /mes)	84
Tabla 42. Factor A - índice del índice de Nash Sutcliffe para la subcuenca del río Gera .	86
Tabla 43. Factor B-Índice de Nash Sutcliffe para la subcuenca media y alta del río Gera	87
Tabla 44. Valores a considerar para el criterio de Nash Sutcliffe.....	88
Tabla 45. Resultados del Índice de Eficiencia de Nash Sutcliffe para el caudal sintético sin calibrar.....	88
Tabla 46. Determinación del caudal aceptado y error entre Q _{obs} y Q _{sim}	89
Tabla 47. Caudales sintéticos para la subcuenca del río Gera (m ³ /s).....	91
Tabla 48. Caudales aceptados para la subcuenca del río Gera en m ³ /s	93
Tabla 49. Caudales aceptados en m ³ /s para el periodo 2012-2020.....	95
Tabla 50. Factor A-Índice de Nash Sutcliffe corregidos para el periodo 2012-2020.....	95
Tabla 51. Factor B-Índice de Nash Sutcliffe corregidos para el periodo 2012-2020.....	96
Tabla 52. Resultados del índice de eficiencia de Nash Sutcliffe para los caudales aceptados 2012-2020.....	96
Tabla 53. Identificación de variables y su mensuración.....	98

<i>Tabla 54. Análisis de consistencia para el año 1985</i>	102
<i>Tabla 55. Análisis de consistencia para el año 1986</i>	103
<i>Tabla 56. Análisis de consistencia para el año 1987</i>	103
<i>Tabla 57. Análisis de consistencia para el año 1988</i>	104
<i>Tabla 58. Análisis de consistencia para el año 2020</i>	105
<i>Tabla 59. Proceso de corrección para el año 1985</i>	106
<i>Tabla 60. Proceso de corrección para el año 1986</i>	106
<i>Tabla 61. Proceso de corrección para el año 1987</i>	107
<i>Tabla 62. Proceso de corrección para el año 1988</i>	107
<i>Tabla 63. Proceso de corrección para el año 2020</i>	108
<i>Tabla 64. Parámetros calculados para el análisis de tendencia en la media</i>	109
<i>Tabla 65. Dispersión de datos para cada periodo anual</i>	110
<i>Tabla 66. Temperaturas mínimas corregidas para el periodo 2010-2020</i>	113
<i>Tabla 67. Temperaturas máximas corregidas para el periodo 2010-2020</i>	114
<i>Tabla 68. Promedios de temperatura máxima y mínima mensual para un año promedio (2010-2020)</i>	114
<i>Tabla 69. Data de humedad relativa para la determinación de la evapotranspiración potencial</i>	115
<i>Tabla 70. Valores de la evapotranspiración para el año promedio</i>	116
<i>Tabla 71. Parámetros geomorfológicos de la subcuenca del río Gera</i>	117
<i>Tabla 72. Caudales medios mensuales estimados para el año promedio</i>	121
<i>Tabla 73. Caudales medios estimados para el año promedio en la subcuenca del río Gera</i>	122
<i>Tabla 74. Caudales generados en m³/s para el periodo extendido - subcuenca del río Gera</i>	123
<i>Tabla 75. Caudales promedios mensuales para un periodo extendido en el área de estudio m³/s</i>	124
<i>Tabla 76. Primera simulación del índice de Nash Sutcliffe para caudales extendidos y observados</i>	125
<i>Tabla 77. Caudales mensuales aceptados en m³/s</i>	127
<i>Tabla 78. Índice de Nash Sutcliffe para la validación de los caudales simulados en el área de estudio</i>	129

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
<i>Figura 1. Clasificación de la curva hipsométrica.....</i>	19
<i>Figura 2. Coeficiente de correlación para los caudales simulados y observados.....</i>	20
<i>Figura 3. Diagrama bioclimático de zonas de vida del sistema Holdridge.....</i>	32
<i>Figura 4. Esquematización del balance hídrico del modelo Lutz Scholz.....</i>	33
<i>Figura 5. Esquematización del balance hídrico del modelo Lutz Scholz.....</i>	39
<i>Figura 6. Mapa de ubicación y localización del área de estudio</i>	48
<i>Figura 7. Precipitación promedio mensual periodo 1965-2020 para la subcuenca del río Gera.....</i>	64
<i>Figura 8. Simulación de los caudales observados y los caudales simulados</i>	75
<i>Figura 9. Simulación de los caudales observados y los caudales simulados</i>	75
<i>Figura 10. Caudales generados, simulados y aceptados mediante la calibración.....</i>	90
<i>Figura 11. Correlación de caudales observados y simulados</i>	90
<i>Figura 12. Caudales aceptados y observados para el periodo 2011-2020</i>	97
<i>Figura 13. Identificación de saltos mediante el análisis gráfico</i>	99
<i>Figura 14. Análisis de doble masa para la identificación de saltos</i>	99
<i>Figura 15. Periodo confiable de la data de precipitación existente..</i>	100
<i>Figura 16. Curva hipsométrica de la subcuenca del río Gera.....</i>	119
<i>Figura 17. Frecuencia de altitudes para la subcuenca del río Gera.....</i>	119
<i>Figura 18. Caudales estimados para el año promedio en la subcuenca del río Gera.....</i>	122
<i>Figura 19. Simulación de los caudales observados y sintéticos para el área de estudio 1965-2020..</i>	125
<i>Figura 20. Caudales generados, simulados y aceptados mediante la calibración.....</i>	126
<i>Figura 21. Caudales para un periodo extendido calibrados</i>	129
<i>Figura 22. Caudales aceptados y observados validados con un ajuste “Muy bueno”</i>	130

ÍNDICE DE APÉNDICES

	Pág.
<i>Apéndice 1. Caudales aceptados y observados validados con un ajuste “Muy bueno”...</i>	155
<i>Apéndice 2. Data inicial de precipitaciones medias anuales para la serie histórica de 1965-2020, otorgada por el SENAMHI.....</i>	155
<i>Apéndice 3. Temperaturas máximas promedio mensuales en °C periodo 2010-2020</i>	158
<i>Apéndice 4. Temperaturas mínimas medias mensuales °C periodo 2010-2020.....</i>	159
<i>Apéndice 5. Caudales mensuales observados para la subcuenca media y alta del río Gera en m³/s.....</i>	160
<i>Apéndice 6. Precipitación corregida en mm - Estación de Jepelacio.....</i>	161
<i>Apéndice 7. Complementación de datos faltantes para las temperaturas máximas mediante regresión lineal para el año 2019 y 2020.....</i>	163
<i>Apéndice 8. Complementación de datos de las temperaturas mínimas, mediante método de regresión lineal para el año 2019 y 2020.</i>	164
<i>Apéndice 9. Periodo confiable (2010-2018) para la completación de datos de temperaturas máximas para el año 2019 y 2020.</i>	165
<i>Apéndice 10. Periodo confiable (2010-2018) para la completación de datos de temperaturas mínimas para el año 2019 y 2020.</i>	166
<i>Apéndice 11. Temperaturas máximas corregidas para el periodo 2010-2020.</i>	167
<i>Apéndice 12. Temperaturas mínimas corregidas para el periodo 2010-2020.....</i>	168
<i>Apéndice 13. Precipitación utilizada para el análisis de tendencia.</i>	169
<i>Apéndice 14. Dispersión de datos mensuales para el análisis de tendencia de la media..</i>	171
<i>Apéndice 15. Análisis de tendencia de la varianza: dispersión de datos por año.</i>	173
<i>Apéndice 16. Data de evaporación generada en base a la humedad relativa.....</i>	175
<i>Apéndice 17. Precipitación mensual en mm-estación de Jepelacio para la regionalización de precipitación en la zona de estudio de la subcuenca del río Gera...</i>	176
<i>Apéndice 18. Matriz de variabilidad de la precipitación – Estación de Jepelacio para el proceso de regionalización.....</i>	178
<i>Apéndice 19. Precipitación mensual (mm) para la subcuenca del río Gera</i>	180
<i>Apéndice 20. Mapa topográfico de la subcuenca media y alta del río Gera.....</i>	182
<i>Apéndice 21. Mapa de pendientes de la subcuenca del río Gera.....</i>	183
<i>Apéndice 22. Mapa de tipos de suelo</i>	184
<i>Apéndice 23. Mapa de zonas de vida</i>	185

<i>Apéndice 24. Mapa de cobertura boscosa.....</i>	<i>186</i>
<i>Apéndice 25. Mapa de esorrentía.....</i>	<i>187</i>

RESUMEN

La presente investigación trató sobre la aplicación de un modelo hidrológico para determinar la disponibilidad hídrica de la subcuenca del río Gera, ubicado en la provincia de Moyobamba, departamento San Martín. El objetivo del estudio fue determinar la disponibilidad hídrica del río Gera a escala mensual, mediante la aplicación del modelo hidrológico determinístico – estocástico Lutz Scholz. La metodología consistió en el uso y análisis de la cartografía digital en formato ráster y vectorial; así como, el análisis y uso de la información hidrometeorológica, misma que fue corregida mediante análisis de consistencia, análisis de saltos, análisis de tendencias y completación de datos. Como resultado de la investigación, se obtuvieron a los parámetros morfométricos, estos fueron: área 204,017 km², perímetro 86,97 km, factor de forma 0,25, índice de Gravelius 1,72, pendiente media de la subcuenca 28,99 %, pendiente media del cauce principal 7,56 %, densidad de drenaje 0,71 km/km², relación de bifurcación 3,14, orden de ríos 4 y una curva hipsométrica en fase de maduración. Parte de los resultados del modelo Lutz Scholz, fueron la obtención de sus parámetros como: coeficiente de escorrentía 0,50, precipitación media anual 1839,4 mm/año, temperatura media anual 22,2 °C, evapotranspiración potencial 1006,96 mm/año, retención 73,56 mm/año y coeficiente de agotamiento 0,0166. Del mismo modo, la precipitación efectiva de enero a diciembre para el año promedio fue: 102,7; 102,8; 208,4; 85,1; 44,1; 25,2; 14,6; 21; 59,1; 96,6; 80,8 y 79,3 mm/mes; gasto de la retención para el año promedio de abril a setiembre: 31; 18,2; 11,4; 6,5; 3,9 y 2,6 mm/mes y el abastecimiento hídrico para el año promedio: 11,3, 11,3, 22,9 de enero a marzo y 10,6; 8,9 y 8,7 mm/mes de octubre a diciembre. Los caudales promedios observados de enero a diciembre fueron: 5,23; 10,46; 12,40; 8,99; 6,96; 3,04; 2,179; 2,64; 6,76; 6,80 y 6,96 m³/s. Los resultados de caudales promedios generados y aceptados de enero a diciembre, a través del modelo aplicado, fueron: 5,2; 9,9; 11,7; 8,9; 6,6; 2,6; 1,7, 1,4; 3,4; 7,0; 6,3 y 8 m³/s. En conclusión, los caudales generados fueron calibrados y validados con el criterio de Nash Sutcliffe Efficiency (NSE) con un valor de 0,66 correspondiente a un ajuste “Muy bueno”, un coeficiente de correlación (r) 98 % y coeficiente de determinación (r²) 0,9; evidenciándose una disminución de caudal de 2,026 m³/s entre el año 1994 y 2020.

Palabras claves: *caudales sintéticos, coeficiente de escorrentía, determinístico, estocástico, precipitación efectiva.*

ABSTRACT

The present investigation dealt with the application of a hydrological model to determine the water availability of the Gera River sub-basin, located in the province of Moyobamba, department of San Martín. The objective of the study was to determine the water availability of the Gera River on a monthly scale, through the application of the deterministic - stochastic Lutz Scholz hydrological model. The methodology consisted of the use and analysis of digital cartography in raster and vector format; as well as the analysis and use of hydrometeorological information, which was corrected through consistency analysis, jump analysis, trend analysis and data completion. As a result of the investigation, the morphometric parameters were obtained, these were: area 204,017 km², perimeter 86,97 km, shape factor 0,25, Gravelius index 1,72, average slope of the subbasin 28,99%, average slope of the main channel 7,56%, drainage density 0,71 km/km², bifurcation ratio 3,14, river order 4 and a hypsometric curve in the maturation phase. Part of the results of the Lutz Scholz model were the obtaining of its parameters such as: runoff coefficient 0,50, average annual precipitation 1839,4 mm/year, average annual temperature 22,2 °C, potential evapotranspiration 1006,96 mm/year, retention 73,56 mm/year and exhaustion coefficient 0,0166. Similarly, the effective precipitation from January to December for the average year was: 102,7; 102,8; 208,4; 85,1; 44,1; 25,2; 14,6; twenty-one; 59,1; 96,6; 80,8 and 79,3 mm/month; withholding expense for the average year from April to September: 31; 18,2; 11,4; 6,5; 3,9 and 2,6 mm/month and the water supply for the average year: 11,3, 11,3, 22,9 from January to March and 10,6; 8,9 and 8,7 mm/month from October to December. The average flows observed from January to December were: 5,23; 10,46; 12,40; 8,99; 6,96; 3,04; 2; 1,79; 2,64; 6,76; 6,80 and 6,96 m³/s. The results of average flows generated and accepted from January to December, through the applied model, were: 5,2; 9,9; 11,7; 8,9; 6,6; 2,6; 1,7, 1,4; 3,4; 7,0; 6,3 and 8 m³/s. In conclusion, the generated flows were calibrated and validated with the Nash Sutcliffe Efficiency (NSE) criterion with a value of 0,66 corresponding to a “Very good” fit, a correlation coefficient (r) 98% and coefficient of determination (r²) 0,9; showing a decrease of 2,026 m³/s was evident between 1994 and 2020.

Keywords: *synthetic flows, runoff coefficient, deterministic, stochastic, effective precipitation.*

INTRODUCCIÓN

Según la Organización de las Naciones Unidas [ONU] (2014), el recurso hídrico es un elemento fundamental para mantener el desarrollo sostenible. Por esta razón, el manejo integrado de las unidades hidrográficas es sumamente importante. Además, Perú al igual que otros países del mundo, adolece de la crisis de agua debido a su inadecuada distribución y manejo integrado del recurso hídrico. Del mismo modo, la Amazonía peruana pese a ser la región con mayor disponibilidad de este recurso ha evidenciado escasez de este líquido elemento, dado que, aún no es aprovechado adecuadamente (Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico a través de su plataforma informativa [OECDilibrary] (2023).

Anteriormente, la Amazonía peruana estaba cubierta por grandes extensiones de bosque. No obstante, el departamento de San Martín, denominado “Región Verde”, ha sufrido la pérdida de inmensas extensiones de cobertura boscosa. Debido a ello, en la actualidad presenta zonas áridas por la deforestación, causa principal de la escasez de agua. Todo esto aumenta los impactos negativos del cambio climático; de modo que, la situación no augura un buen panorama. Por consiguiente, es importante la unión y articulación entre el gobierno local, entidades públicas y privadas y, la sociedad organizada, incentivando la participación activa de las comunidades asentadas en las áreas naturales protegidas y zonas de amortiguamiento (Lubertkin, 2023).

En el Perú, se desarrolló un modelo basado en expresiones empíricas que logra estimar el caudal promedio de una unidad hidrográfica a escala mensual. Dicha metodología, presenta expresiones propias para la calibración de los parámetros hidrológicos. Este modelo matemático “precipitación – descarga”, se desarrolló en los años 80, cuando se llevó a cabo el Proyecto Nacional de Pequeñas y Medianas Irrigaciones (PN – PMI) del Ministerio de Agricultura (Burguña, 2019). Sobre la base de esta información, y considerando que la Amazonía peruana carece de disponibilidad de datos hidrométricos, la cual, ocasiona una inadecuada administración y manejo de las unidades hidrográficas. Por esta razón, se aplicó este modelo en una de las unidades hidrográficas de la selva peruana ubicada en el Alto

Mayo, la subcuenca del río Gera, con el fin de brindar información para un buen manejo, gestión y conservación del recurso hídrico (Quevedo, 2016).

En ese contexto, se requiere la generación de un registro de caudales en base a un modelo de precipitación- escorrentía, debido a que, en la subcuenca del río Gera, se cuenta con data de precipitaciones y temperatura. Por esta razón y teniendo en cuenta los datos meteorológicos de la zona, se optó por aplicar el modelo desarrollado por el experto Lutz Scholz, mediante el cual, es posible generar caudales a partir de parámetros meteorológicos como, la precipitación. Los caudales generados fueron validados con la data de caudales observados otorgados por la hidroeléctrica Gera.

El objetivo de la presente investigación fue determinar la disponibilidad hídrica del río Gera a escala mensual, mediante la aplicación del modelo hidrológico determinístico – estocástico Lutz Scholz y para su cumplimiento, el estudio estuvo constituido por seis (6) capítulos. El capítulo I, está compuesto básicamente por los antecedentes tanto en ámbito internacional, nacional y regional y las bases teóricas especializadas donde se describe conceptos teóricos de los procedimientos. El capítulo II se describen los materiales utilizados la metodología para el cálculo de los parámetros geomorfológicos y el procedimiento del Modelo determinístico-estocástico Lutz Scholz en correlación a las bases teóricas descritas y los antecedentes citados. En el capítulo III, se muestran los resultados obtenidos de los parámetros geomorfológicos y el modelo aplicado, con la estimación de caudales promedio anuales y para un periodo extendido, la cual se calibró y validó con la prueba de bondad del índice de Nash Sutcliffe Efficiency (NSE). En el capítulo IV, se realizaron las discusiones de la investigación. El capítulo V, se concluye la investigación con los resultados obtenidos y el último capítulo se compone básicamente de algunas recomendaciones realizadas por las tesisistas.

OBJETIVOS

Objetivo general

Determinar la disponibilidad hídrica del río Gera a escala mensual, mediante la aplicación del modelo hidrológico determinístico – estocástico Lutz Scholz.

Objetivos específicos

- Determinar las principales características morfométricas de la subcuenca del río Gera, San Martín.
- Estimar el valor del caudal promedio mensual mediante el modelo determinístico – estocástico de Lutz Scholz.
- Generar los caudales medios mensuales para la subcuenca del río Gera, para un periodo extendido.
- Calibrar y validar la efectividad del modelo propuesto con información hidrométrica observada.

CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO

1.1. Antecedentes

1.1.1. Internacionales

Zhicay (2020) realizó un trabajo de investigación denominado “Caracterización Morfométrica y Estudio Hidrológico de la Microcuenca San Francisco, Cantón Gualaceo” provincia de Azuay-Ecuador. El objetivo fue determinar las características morfométricas y evaluar los caudales de la microcuenca en mención. La muestra considerada fue la unidad hidrográfica del río San Francisco. La metodología consistió en la recopilación de datos meteorológicos de 3 estaciones (Gualaceo, Sevilla de Oro y Sigsig) del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI) para una serie histórica de 1983 a 2015. Las técnicas y materiales utilizados fueron: cartografía básica, sensores dataloggers Hobo U-20L y herramientas del Sistema de Información Geográfica (SIG) como el software ArcGIS. El análisis de la data meteorológica consistió en la completación de datos faltantes (precipitación) con el método estadístico de regresión lineal, posterior a ello, fue validado con la prueba de rachas y análisis de doble masa. Los resultados evidenciaron que los parámetros geomorfológicos representativos fueron: área 80,98 km², perímetro 55,83 km, ancho promedio de la cuenca 4,32 km, factor de forma de 0,23, índice de Gravelius 1,75 y razón de elongación 0,42. La pendiente media del cauce fue 4,83 %, pendiente media de la cuenca 37,85 %, curva hipsométrica en fase de maduración, longitud del cauce principal 24,22 km y la densidad de drenaje 1,43 km/km². La precipitación media anual fue 866,03 mm mediante el método de isoyetas. Para los meses de setiembre y octubre del 2019, el caudal aforado obtuvo valores máximos de 0,71 m³/s para el punto 1 (cabecera de cuenca) y 7,26 m³/s para el punto 2 (aforo) y mediante el método dataloggers Hobos U-20L, obtuvo un caudal promedio de 0,34 m³/s para el punto 1 y 3,98 m³/s para el punto 2 en los meses de setiembre y octubre del mismo año. Mientras que, la precipitación fue mínima en los meses de agosto y setiembre y máxima en abril y marzo. El estudio concluyó que los parámetros

morfométricos de la microcuenca presentaron una pendiente empinada, en fase de maduración, de red hídrica moderada y con un gran potencial erosivo.

1.1.2. Nacionales

Solano (2019) desarrolló una investigación “Disponibilidad hídrica de la cuenca del río Amojú aplicando el modelo determinístico estocástico de Lutz Scholz” en la provincia de Jaén - Cajamarca. El estudio tuvo por objetivo estimar la disponibilidad hídrica de la cuenca Amojú en Jaén. El enfoque de la investigación fue de tipo cuantitativo de diseño descriptivo. La metodología consistió en la completación de datos meteorológicos (precipitación, temperatura y humedad relativa) y la aplicación del modelo Lutz Scholz. Los materiales, técnicas e instrumentos utilizados fueron la información climatológica de 3 estaciones: Chontalí, Jaén y la Cascarilla, el programa Excel y herramientas del SIG como el software ArcGIS. El análisis de la data determinó que el área de la cuenca era de 114 km², longitud 16,46 km, perímetro 52,30 km, factor de forma 0,42, coeficiente de Gravelius 1,38, longitud del río principal 13,98 km, pendiente media de la cuenca de 8 %, pendiente media del cauce principal 6,69 %, densidad de drenaje 2,04 km/km² con un número de orden de tipo 5 y la curva hipsométrica situada en fase de equilibrio. Luego, aplicó el método de Lutz Scholz cuyos parámetros representativos propios del modelo fueron los siguientes: coeficiente de escorrentía 0,39, precipitación media anual 3765,75 mm, evapotranspiración media mensual 929,6 mm/mes, humedad relativa 89,58 %, temperatura promedio 17,39 °C y la retención de la cuenca 59,98 mm/año. El almacenamiento de la retención para el mes de enero, febrero, marzo, octubre, noviembre y diciembre fue de: 12; 14,99; 20,99; 14,99; -3; y 0 mm/mes respectivamente; gasto de la retención para los meses de abril hasta setiembre fueron 0,73; 0,30; 4,36; 1,78; 1,73 y 0,30 mm/mes. Asimismo, la precipitación mensual para el año promedio de enero a diciembre fue: 83,34; 84,76; 43,27; 77,80; 77,40; 39,73; 37,35; 24,01; 28,67; 70,78; 71,10 y 78,84 mm/mes. La precipitación efectiva de enero a diciembre fue: 79,36; 80,72; 41,21; 74,09; 73,71; 37,84; 35,57; 22,87; 27,30; 67,40; 67,71 y 75,08 mm/mes. Los resultados mostraron que, los caudales mensuales para el año promedio de enero a diciembre fueron: 2,87; 3,1; 0,86; 3,29; 3,15; 1,86; 1,59; 1; 1,21; 2,23, 3,11 y 3,20 m³/s; mientras que, los caudales medios mensuales para un periodo extendido (1993 - 2018) de enero a diciembre fueron: 3,29; 3,69, 1,74; 3,17; 3,05; 1,64; 1,52; 1; 1,21, 2,81, 2,90 y 3,11 m³/s. La investigación concluyó que el modelo aplicado fue viable y aplicable para la cuenca del río Amojú con un buen grado de aceptabilidad.

Tito (2018) realizó un estudio denominado “Generación de caudales medios mensuales de la cuenca del río Coata – Puno, utilizando el modelo hidrológico de Lutz Scholz”. El objetivo fue generar caudales para el año promedio, en la cuenca del río Coata, departamento de Puno, Perú. La muestra considerada fue la cuenca del río Coata. La metodología consistió en la aplicación del modelo de Lutz Scholz. Los materiales e instrumentos utilizados fueron: información cartográfica digital, programas y softwares: AutoCAD, Civil y ArcGIS. Para el análisis consideró 6 estaciones meteorológicas de: Llalli, Ayaviri, Pucara, Pampahuata, Lampa y Quillisani. El análisis de la data cartográfica mostró los siguientes parámetros: área 4448,48 km² y perímetro 464,65 km, coeficiente de compacidad 1,86, factor de forma 0,14, pendiente de la cuenca 6,32 %, densidad de drenaje 0,61 km/km² y orden de río tipo 6. Posterior a ello, la data pluviométrica e hidrométrica de las estaciones fueron procesadas mediante método estadístico de regresión lineal, análisis de saltos y análisis de doble masa. Luego, aplicó el modelo de Lutz Scholz cuyos parámetros fueron: coeficiente de escorrentía con el método de L. Turc 0,43 y la Misión Alemana 0,38 validada para la sierra sur del Perú en el Plan MERISS II (1980), precipitación media anual 747,91 mm/año, temperatura media anual 7,26 °C, evapotranspiración anual fue de 1147,31 mm/año, retención de la cuenca 42,68 mm/año, coeficiente de agotamiento 0,01983 y gasto de la retención 42,68 mm/mes. La precipitación efectiva desde julio a junio del siguiente año fue: 0,87; 2,31; 3,92; 7,46; 14,12; 50,64; 85,79; 74,89; 51,33; 8,88; 1,80 y 1,03 mm/mes. Los resultados evidenciaron que los caudales para el año promedio en una serie histórica desde 1967 al año 2017 fueron: 6,736; 6,704; 8,364; 9,735; 24,559; 92,090; 143,207; 126,300; 60,849; 20,716; 11,881 y 43,344 m³/s y los caudales aforados para el año promedio fueron: 7,44; 4,95; 5; 7,78; 10,44; 23,91; 90,05; 144,15; 125,52; 61,98; 21,22; 11,72 y 42,846 m³/s. El estudio concluyó que, el análisis estadístico de consistencia de los caudales generados fue igual a los caudales aforados ya que t-Student (T) calculado (1,49) fue menor que T tabular (2,09), indicando que los datos estaban libres de tendencia; además el análisis de correlación fue 0,99; por tanto, el modelo fue adecuado y válido para la generación de caudales medios mensuales del río Coata.

Gamarra (2018) elaboró un estudio denominado “Aplicación del modelo hidrológico Lutz Scholz para determinar caudales promedios mensuales en la subcuenca del río Quiroz”, provincia de Ayabaca, Piura. El objetivo fue determinar los caudales medios mensuales en la subcuenca del río Quiroz. La muestra considerada fue toda la subcuenca del río Quiroz.

La metodología consistió en el procesamiento de la data hidrometeorológica de 11 estaciones en un periodo de 1973-1992 y la aplicación del modelo Lutz Scholz. Los materiales e instrumentos utilizados fueron la cartografía digital, Digital Elevation Model (DEM), cartas nacionales del IGN y herramientas del Sistema de Información Geográfica como el software ArcGIS y AutoCAD. El análisis y procesamiento de la data permitió el cálculo de los siguientes parámetros morfológicos: área de 3134,72 km², perímetro 359,52, factor de forma 0,24, índice de Gravelius 1,8, pendiente media del área de estudio 29,82 %, pendiente media del río principal 0,88 %, densidad de drenaje de 0,36 y una curva en fase de maduración. La información meteorológica e hidrométrica fue corregida mediante análisis estadístico de saltos y doble masa en el programa Excel. Luego, el autor aplicó el método de Lutz Scholz cuyos parámetros fueron: coeficiente de escorrentía cuyo valor fue 0,36 con el método de L. Turc y 0,46 con el método empírico, precipitación media anual 895,88 mm/año, temperatura media anual 12,8 °C, evapotranspiración potencial anual mediante el método de Penman 1,057 mm/año, retención anual de la cuenca 139,41 y el coeficiente de agotamiento 0,0027. La precipitación efectiva de enero a diciembre para el año promedio fue: 68,80; 119,01; 130,30; 101,19; 23,92; 7,25; 1,86; 2,44; 1,72; 13,01; 14,17 y 33,81 mm/mes; el gasto de la retención fue: 25,15; 23,25; 21,26; 19,54; 18,21; 16,52 y 15,48 mm/mes durante los meses de mayo hasta noviembre y el abastecimiento hídrico fue: 15; 50,03; 48,48; 25,58 y 0,32 para enero, febrero, marzo, abril y diciembre. Los resultados mostraron que los caudales medios mensuales aforados para el periodo 1973 - 1992 fueron: 16,75 m³/s para el mes de noviembre y 65,73 m³/s para marzo; cuyo, caudal promedio anual fue 41,25 m³/s. Por el contrario, los caudales medios mensuales generados estocásticamente, para un año promedio desde enero a diciembre fueron: 43,22; 61,35; 65,73; 62,76; 39,42; 25,32; 18,57; 17,66; 16,54; 23,72; 24,61 y 26,90 m³/s respectivamente. El estudio concluyó que, al realizar una correlación lineal entre los caudales generados mediante el modelo Lutz Scholz y los caudales aforados obtuvo un coeficiente de correlación del 92 % y un alto grado de aceptabilidad.

Reyes (2018) abordó una investigación titulada “Disponibilidad de agua de la Microcuenca Chailhuagón, utilizando el Modelo Determinístico Estocástico Lutz Scholz y el Volumen Transpuesto de la Cuenca Tres Ríos” del distrito la Encañada – Cajamarca, Perú. El objetivo fue estimar la disponibilidad de caudal en la microcuenca Chailhuagón. La muestra considerada fue la microcuenca Chailhuagón. La metodología consistió en la aplicación del

modelo Lutz Scholz para determinar el caudal y el volumen de agua transpuesto de la cuenca Tres Ríos, mediante la transferencia de datos hidrometeorológicos y el procesamiento y análisis de información meteorológica de 5 estaciones. Los materiales, técnicas y equipos utilizados fueron: información cartográfica básica del IGP, e imágenes ASTER-GDEM de la NASA y herramientas como el software ArcGIS, HIDRISI selva, HydroCALC y Excel. El análisis de la data permitió conocer los principales parámetros geomorfológicos, los cuales son: área 22,44 km², longitud del cauce 7,96 km, factor de forma 0,35, coeficiente de Gravelius 1,32, pendiente de la microcuenca 31,20 %, pendiente del río principal 4,33 % y una densidad de drenaje de 1,92. Posterior a ello, el autor aplicó el método determinístico Lutz Scholz, cuyos parámetros calculados fueron: coeficiente de escorrentía 0,57, precipitación total anual 1069,53 mm/año, temperatura media anual 7,49 °C, retención de la cuenca 64,66 mm/año y coeficiente de agotamiento 0,022. La precipitación efectiva mensual de enero a diciembre fue: 69,5; 80,1; 85,5; 54,8; 38,6; 20,5; 12,1; 13,2; 32,3; 58,9; 67,9 y 72,7 mm/mes; el gasto de la retención 32,82; 16,88; 8,49; 4,27 y 2,20 para mayo, junio, julio, agosto y setiembre y el abastecimiento para octubre, noviembre, diciembre, enero, febrero, marzo y abril fue: 16,17; -3,23; 0; 12,93; 16,17; 22,63 y 0,00. Los resultados evidenciaron con el método de Luz Scholz los caudales generados para el año promedio de enero a diciembre fueron: 0,47; 0,59; 0,53; 0,47; 0,60; 0,32; 0,17; 0,15; 0,30; 0,36; 0,62 y 0,61 m³/s; mientras que los caudales generados para un periodo extendido de enero a diciembre fueron: 58,83; 75,69; 75,21; 53,22; 41,98; 34,61; 29,08; 11,85; 37,32; 44,90; 58,82 y 78,18 mm/mes. Con el método de trasposición de información los caudales de enero a diciembre fueron: 0,71; 0,18; 1,42; 1,09; 0,51; 0,45; 0,23; 0,25; 0,19; 0,24; 0,19 y 0,33 m³/s; mientras que, los caudales extendidos para ese mismo año fueron: 0,50; 0,53; 0,54; 0,28; 0,25; 0,31; 0,19; 0,27; 0,40; 0,58; 0,48; y 0,59 m³/s. La investigación concluyó, que los caudales medios mensuales por ambos métodos tuvieron una variación en relación al régimen de precipitación y el modelo que más se ajustó con los caudales aforados, fue el de Lutz Scholz, debido a la cantidad de variables requeridas.

Burguña (2019) realizó un estudio denominado “Aplicación de modelos hidrológicos para la estimación de caudales mensuales en la subcuenca del río Bigote”, departamento de Piura, Perú. El objetivo fue determinar cuál de los modelos, entre Lutz Scholz, GR2m, Temez y abc, presenta un mejor ajuste para la estimación de los caudales de la subcuenca del río Bigote. La muestra considerada fue la subcuenca del río Bigote, la cual pertenece a la cuenca

del río Piura. La metodología consistió en la recopilación de datos cartográficos e hidrometeorológicos de 10 estaciones cercanas y el análisis de los modelos Lutz Scholz, GR2m, Temez y abc. La data cartográfica recopilada fue procesada mediante el software ArcGIS. Del análisis de la información obtuvieron los siguientes parámetros geomorfológicos: área 723,38 km², perímetro 138 km, factor de forma 0,41, índice de Gravelius 1,44, pendiente de la subcuenca 36,44 %, longitud del curso principal 37,02 km, pendiente del río principal 0,09 m/m y densidad de drenaje 0,58. Los datos hidrométricos y pluviométricos fueron completados con métodos estadísticos de regresión lineal, promedios ponderados, promedios aritméticos; y la validación de la data se verificó con el análisis de doble masa. Posterior a ello, aplicó el método determinístico-estocástico de Lutz Scholz, cuyos parámetros fueron: precipitación para el año promedio 58,7 mm, temperatura media mensual 16,35 °C y humedad relativa media mensual 76,6 %. La precipitación mensual para el año promedio de enero a diciembre fue: 84,5; 140,9; 200; 111; 35,9; 9,7; 4,3; 7,4; 8,5; 25,5; 22,5 y 54,2. Asimismo, la precipitación efectiva de enero a diciembre fue: 46; 87,9; 136,3; 64,8; 12,5; 1,2; 0,3; 1; 0,8; 8; 6,5 y 26,6 mm/mes, con un promedio total de 392 mm. Los resultados demostraron que los caudales generados de enero a diciembre fueron: 11,8; 18,5; 22,6; 14,8; 5; 2,5; 1,6; 1,3; 1,2; 1,7; 6,8 y 89,5 m³/s. El coeficiente de Nash para Lutz Scholz, GR2m, abc y Temez fue: 0,84; 0,87; 0,81 y 0,84 correspondientemente. El coeficiente de calibración fue de 0,89 para Lutz Scholz, 0,87 para GR2m, 0,81 para abc y 0,84 para Temez. El estudio concluyó que el modelo de mejor ajuste para la medición de caudales en la subcuenca del río Bigote fue el GR2m, con un índice de calibración de 0,81 y un índice de eficiencia validado al 88 %.

Terán (2014) en la investigación titulada “Volumen de agua aprovechable en la microcuenca Tres Ríos, utilizando el modelo determinístico-estocástico de Lutz Scholz validado, para los años hidrológicos 2008 – 2012”, departamento Cajamarca, Perú; tuvo como objetivo determinar el volumen del recurso hídrico aprovechable en la microcuenca Tres Ríos para el periodo 2008 – 2012. La muestra considerada fue toda el área de la microcuenca Tres Ríos. La metodología consistió en la recopilación y procesamiento de datos meteorológicos de 5 estaciones: Alto Chetilla, Chamis, Ronquillo M, A. Weberbauer (pluviométrica) y Ronquillo (hidrométrica) obtenida del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI) y Autoridad Nacional del Agua (ANA). Los materiales utilizados fueron la data cartográfica del IGN, softwares como: ArcGIS, AutoCAD, IDRISI y Excel.

El análisis de la data permitió calcular los siguientes parámetros: área 40,17 km², factor de forma 0,43, índice de Gravelius 1,37, relación de elongación 0,74, longitud de cauce principal de 9,75 km, pendiente de la microcuenca 19,8 %, pendiente media del cauce principal 11,79 %, tiempo de concentración 0,87, densidad de drenaje 0,75 km/km² y la curva hipsométrica en estado de madurez. La información hidrometeorológica fue completada para una extensión de 35 años utilizando la estación más confiable. Posterior a ello, aplicó el modelo de Lutz Scholz, cuyos parámetros propios del modelo fueron: coeficiente de escorrentía 0,32, precipitación total anual 858,10 mm/año, temperatura media anual 11,12 °C, retención hídrica 88,68 mm/año y coeficiente de agotamiento 0,0167. La precipitación mensual para el año promedio de setiembre a agosto fue: 27,5; 94,5; 87,2; 80,8; 155,7; 117,2; 140,2; 87,3; 38; 16,4; 5,6 y 7,6 mm/mes. La precipitación efectiva para el año promedio de setiembre a agosto fue: 3,6; 25; 20,8; 17,5; 76,5; 41,4; 61,5; 20,8; 5; 2,3; 0,9 y 1,2. El gasto de retención para setiembre, abril, mayo, junio, julio y agosto fue: 7,3; 26,4; 20,4; 14,9; 9,8, y 9,9 mm/mes y el abastecimiento para los meses de octubre, noviembre, diciembre, enero, febrero y marzo fue: 10,4; 7,9; -1,7; 52,3; 3,6 y 16,2 mm/mes respectivamente. Los resultados mostraron que los caudales calibrados desde setiembre a agosto fueron: 0,170; 0,222; 0,202; 0,293; 0,380; 0,635; 0,688; 0,741; 0,385; 0,270; 0,162 y 0,168 m³/s respectivamente. El volumen de agua aprovechable promedio para la subcuenca Tres Ríos fue de 8,83 millones de metros cúbicos (MMC) para el año promedio y para un periodo extendido del 2008-2012 fue 12,08 MMC. Asimismo, el volumen calculado y generado para el año promedio tuvo un ajuste de 99,6 % y el volumen para periodos extendidos tuvo un ajuste de 89,6 %. La investigación concluyó que, el modelo aplicado tuvo un exitoso ajuste en la generación de caudales para el año promedio; mientras que, para el periodo extendido el ajuste fue bajo para los meses de febrero, marzo y abril.

Quintana (2018), desarrolló una investigación denominada “Aplicación de los modelos hidrológicos para estimar el caudal promedio en la subcuenca del río Shullcas” Huancayo, Perú. La investigación tuvo por objetivo evaluar el resultado de modelos hidrológicos: Lutz Scholz y Thomas para estimar el caudal promedio mensual de la subcuenca en mención. La investigación fue de tipo aplicativo nivel descriptivo-correlacional y de diseño no experimental. La población determinada estuvo comprendida por la subcuenca del río Shullcas y la muestra considerada fue el tramo de aforo de la subcuenca del río Shullcas. La metodología consistió en la recopilación de datos meteorológicos de la estación Shullcas,

aforo de la subcuenca y procesamiento de los datos para la estimación de caudales. Los materiales y herramientas utilizadas fueron la data cartográfica como el Digital Elevation Model (DEM) y los softwares ArcGIS, AutoCAD y Civil3D. El análisis de la data permitió conocer los principales parámetros geomorfológicos de la zona: área 213,78 km², perímetro 77,67 km², longitud del río principal 34,51 km, índice de Gravelius 1,49, factor de forma 0,18, pendiente del cauce 0,06 % y densidad de drenaje 0,16. Luego, aplicó los métodos de Lutz Scholz y Thomas. Los parámetros del modelo de Lutz Scholz fueron: coeficiente de escurrimiento 0,47 por el método de L. Turc y 0,27 con el método de la misión alemana, déficit de escurrimiento 472 mm/año, precipitación media anual 886,8 mm/año, temperatura media anual 8,6 °C, evapotranspiración total anual 1232,2 mm/año, retención 2,3 mm/año y el coeficiente agotamiento 0,0125. La precipitación mensual del año promedio enero- diciembre fue: 164,2; 168,7; 110,2; 49,9; 16,9; 7,1; 9,3; 18,4; 41,3; 82,7; 81,8 y 136,2 mm/mes correlativamente. La precipitación efectiva desde el mes de enero al mes de diciembre fue de: 102,2; 105,3; 50,5; 9,8; 3,1; 1,4; 1,9; 3,3; 7,4; 26,8; 26,1 y 76,9 mm/mes, gasto de la retención: 0,8; 0,5; 0,4; 0,2; 0,2; 0,1 y 0,1 mm/mes desde abril hasta octubre, del mismo modo, el abastecimiento fue: 0,6; 0,6; 0,3 y 0,1 para los meses de enero hasta abril y, 0,1; 0,1 y 0,4 de octubre a diciembre. Luego, realizó la calibración y validación de los datos observados y generados. Los resultados evidenciaron que la determinación de caudales generados por Lutz Scholz de enero a diciembre fueron: 8,38; 9,26; 4,01; 0,8; 0,29; 0,15; 0,17; 0,28; 0,61; 2,13; 2,14 y 6,11 m³/s y los caudales observados de enero a diciembre fueron de: 6,16; 9,38; 7,92; 4,64; 1,85; 1,35; 1,23; 1,15; 1,19; 1,34; 1,67 y 3,21 m³/s; asimismo, los caudales generados por el método de Thomas de enero a diciembre fueron: 9,38; 10,41; 5,22; 1,86; 1,07; 1; 0,99; 1,09; 1,58; 3,42; 3,48 y 7,05 m³/s correspondientemente. Para el año promedio, el método de Lutz Scholz tuvo un caudal de 2,87 m³/s y por el método de Thomas 3,88 m³/s. El estudio concluyó que, el coeficiente de eficiencia de Nash y Bías para Lutz Scholz fue de nivel bueno y el caudal aforado fue de 0,60 y - 0,56, mientras que Thomas adquirió coeficientes de 0,62 y 0,46, tomando este último con un ajuste muy bueno, siendo este último, el método más eficiente para el cálculo de caudales.

Blanco (2020) desarrolló una investigación denominada “Estimación de la oferta hídrica del río Huancané mediante la generación de descargas medias mensuales aplicando el modelo determinístico estocástico de Lutz Scholz” del departamento de Puno, Perú. El objetivo fue estimar la oferta del recurso hídrico de la cuenca Huancané empleando el modelo

matemático de Lutz Scholz. La metodología consistió en la caracterización y obtención de información hidrometeorológica del río Huacané y el modelamiento hidrológico de la cuenca utilizando el modelo matemático de Lutz Scholz. Los materiales e insumos utilizados fueron: la data de dos estaciones meteorológica, Putina y Muñani, del río Huacané obtenida del SENAMHI, información cartográfica proporcionada por el Proyecto Especial Lago Titicaca y softwares como: ArcGIS, Hidroesta y CROPWATC. El análisis de datos permitió conocer los siguientes parámetros: área de la cuenca 3631,19 km², perímetro de la cuenca 421,97 km, longitud del río principal 142,05 km, ancho promedio 25,56 km. Posteriormente, aplicó la metodología de Lutz Scholz cuyos parámetros fueron los siguientes: coeficiente de escurrimiento utilizando las fórmulas de L. Turc 0,28 y 0,28 por el método empírico, precipitación efectiva mensual 184,8 mm/mes, déficit de escurrimiento 424,6 mm/año, gasto de la retención 44,00 mm/año y coeficiente de agotamiento 0,0093. La precipitación media anual fue 659,9 mm/año, temperatura media mensual 8,3 °C y la evapotranspiración potencial anual 1272,42 mm/año. Los resultados evidenciaron que los caudales mensuales para el año promedio de enero a diciembre fueron: 49,24; 57,64; 45,31; 26,92; 14,72; 11,06; 7,88; 7,35; 9,14; 12,88; 6,25 y 10,98 m³/s. El estudio concluyó que, el modelo de Lutz Scholz, aplicado en esta investigación, fue apropiado para determinar caudales promedio mensuales y a partir de ello estimar la oferta hídrica de la unidad hidrográfica.

1.1.3. Regionales

Díaz (2017) desarrolló una investigación denominada “Determinación de la disponibilidad hídrica superficial mediante balance hídrico en la cuenca del río Cumbaza – San Martín, 2016”. El estudio tuvo como objetivo determinar la disponibilidad hídrica a través del balance hídrico en la cuenca Cumbaza. El enfoque de la investigación fue de tipo cuantitativo, de diseño no experimental. La muestra considerada fue el recurso hídrico disponible a la medición de la cuenca del Río Cumbaza. La investigación consistió en la recopilación, análisis y procesamiento de información cartográfica e hidrometeorológica, el tratamiento estadístico de la información y la aplicación del modelo de Lutz Scholz. Los materiales e insumos utilizados fueron: la data cartográfica adquirida del IGN, datos hidrometeorológicos obtenidos del SENAMHI y la Administración Local del Agua desde 1996 hasta el 2015 y herramientas del sistema de información geográfica como el software ArcGIS. El análisis de la data permitió conocer los principales parámetros como: área cuyo valor fue 571,2 km², longitud del río principal 52 km, longitud de la cuenca 40,36 km, factor

de forma 0,35, índice de Gravelius 1,52, pendiente media de la cuenca 17,18 %, índice de alargamiento 2,85 y un número de orden hídrica tipo 5. Luego, realizó el análisis estadístico de la data hidrometeorológica con la completación de datos faltantes, mediante el método de regresión lineal, análisis de consistencia, análisis de gráficos, análisis de doble masa y análisis de saltos. La precipitación media anual para el año promedio fue 1487,5 mm/año. Luego, el autor aplicó el modelo de Lutz Scholz para la estimación de la oferta hídrica cuyos parámetros del modelo fueron: coeficiente de escurrimiento 0,21, déficit de escurrimiento 1179,8 mm/año, temperatura promedio anual 25,7 °C, retención hídrica 200 mm/año y el coeficiente de agotamiento 0,01. El resultado evidenció una oferta hídrica de 5,37 m³/s; tomando la persistencia de los datos de 75 % y respetando los caudales ecológicos de acuerdo con la Ley N° 29338 – Ley de Recursos Hídricos en el Perú, la cuenca tuvo un caudal mínimo de 4,45 m³/s en el mes de agosto y un máximo de 6,35 m³/s en el mes de abril. La demanda promedio en el ámbito poblacional fue 0,29 m³/s, mientras que para el uso agrario fue de 2,27 m³/s, sumando una demanda total de 3,13 m³/s. El estudio concluyó que, hubo un superávit promedio de 2,24 m³/s y una precipitación durante todo el año; pudiéndose notar que existe suficiente caudal hídrico para suplir las necesidades de los distritos de: Tarapoto, Morales y la Banda de Shilcayo.

1.2. Bases teóricas especializadas

1.2.1. Marco conceptual de hidrología

Hidrología

Villón (2002), indica que es la ciencia que estudia el comportamiento del recurso hídrico en su forma original y su relación con todos los componentes ambientales y seres vivos de la corteza terrestre, mediante sus procesos de distribución, escurrimiento, circulación, ocurrencia, su ciclo y propiedades físicas, químicas, biológicas, mecánicas y terapéuticas. Esta ciencia propicia el desarrollo de metodologías que coadyuvan a la sistematización de la data hidrológica a fin de realizar una adecuada gestión hídrica (Campos *et al.*, 2016).

Cuenca hidrográfica

Villón (2002), define a una cuenca hidrográfica como la porción de terreno determinada por líneas divisorias de naturaleza permeable donde todas las aguas producto de la precipitación confluyen entre sí y toman un solo curso principal de agua hasta un punto de aforo que desemboca en una cuenca mayor o a un lago. Esta área delimitada adopta un sistema de entrada (fuentes de alimentación) y salida (aforo) (Gómez y Gallo, 2022). Asimismo, las unidades hidrográficas se categorizan como: cuencas, subcuencas y microcuencas, de acuerdo con su tamaño (Ortiz, 2004) tal como se aprecia en la Tabla 1.

Tabla 1

Clasificación de sistemas hidrológicos de acuerdo con su tamaño

Unidad	Nº de Orden	Área (km ²)
Microcuenca	1-2-3	10 - 100
Subcuenca	4-5	101 - 700
Cuenca	6-7 a más	Más de 700

Nota. Elaboración propia adaptado de Ortiz (2004). Evaluación Hidrológica. <https://es.scribd.com/document/56666555/HIDROLOGIA-CUENCAS>

1.2.2. Parámetros geomorfológicos

Córdova (2016) menciona que están constituidos por componentes que identifican las características y propiedades geomorfológicas de una unidad hidrográfica, y, algunos factores que determinan el comportamiento son: población asentada, uso de suelo, cobertura vegetal, tipo de suelo y el clima. Estos parámetros se dividen en: geométricos, morfológicos, de relieve y de drenaje que a continuación se describen.

Parámetros geométricos

Área. Es aquel espacio integrado y determinado por la topografía del terreno de la cuenca desde el punto más alto donde nace el río más lejano hasta el punto de aforo (Gómez y Gallo, 2022). Es un espacio determinado por la curva cerrada del “Divortium Aquarium” que delimita la cuenca, cuyo sistema de drenaje está orientado a un mismo río (Inoue, 2018).

Perímetro. Es la medida del contorno de toda el área delimitada por la divisoria “Divortium Aquarium” que conforma una unidad hidrológica (Gómez y Gallo, 2022).

Parámetros morfológicos

Factor de forma. Es la relación entre del área superficial de la unidad hidrográfica y la longitud máxima de la misma expresada a través de un cuadrado (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología [SENAMHI], 2016). Si la cuenca adopta una forma cuadrada, el valor será igual a la unidad y, por el contrario, la cuenca tiende a ser alargada (Villón, 2002). Asimismo, de acuerdo con los valores mostrados en la Tabla 2, si la cuenca tiende a ser alargada, es muy probable que la precipitación no se dé al mismo tiempo ni con la misma intensidad en toda la cuenca, sino de manera parcial dependiendo del comportamiento climático (Solano, 2019). El valor de este parámetro es adimensional y se representa mediante la siguiente fórmula según SENAMHI (2016):

$$F = \frac{A}{L^2}$$

Donde:

F : factor de forma

A : área de la cuenca/unidad hidrográfica, km²

L : distancia de máximo recorrido, km

Tabla 2

Valores interpretativos del factor de forma

Valores aproximados	Forma de la cuenca	Crecida
> 0, 220	Muy alargada	Lentas
0,22 – 0,30	Alargada	
0,30 – 0,37	Ligeramente alargada (oval)	Sostenidas
0,37 – 0,45	Ni alargada ni ensanchada	
0,45 – 0,60	Ligeramente ensanchada	Rápidas
0,60 – 0,80	Ensanchada	Intensas
0,80 – 1,20	Muy ensancha	
> 1,200	Redondeado el desagüe	Muy intensas

Nota. Adaptado de Sellers *et al.* (2017). Morfología interpretativa de alta resolución usando datos LiDAR en la cuenca hidrográfica del río Paute en Ecuador <https://revistas.uazuay.edu.ec/index.php/memorias/article/View/87/81>

Índice de Gravelius. Conocido como Índice de Compacidad (k_c) y el valor obtenido de la relación del perímetro de la unidad hidrográfica y el perímetro de una cuenca teórica circular de igual área (SENAMHI, 2016). A continuación, se muestra la siguiente fórmula planteada por Villón (2002).

$$K_c = 0,28 \frac{P}{\sqrt{A}}$$

Donde:

K_c : coeficiente de Gravelius y/o Compacidad

P : perímetro de la cuenca, km

A : área de la cuenca, km^2

De acuerdo con Villón (2002): Si $k = 1$, se afirma que la cuenca es circular, pero si $k > 1$ la cuenca es alargada y con menor susceptibilidad a desastres generados por las precipitaciones intensas. En la Tabla 3, se puede visualizar la morfología de las cuencas hidrográficas relacionado al coeficiente de Gravelius.

Tabla 3

Morfología de las cuencas hidrográficas según el coeficiente de Gravelius

Valores de K_c	Forma	Características
1,00 – 1,25	Compacta o redonda a oval redonda	Presentan peligros torrenciales altos
1,25 – 1,50	Oval redonda a oval oblonga	Presentan peligros torrenciales moderados
1,50 – 1,75	Oval oblonga a rectangular oblonga	Presentan peligros torrenciales bajos
> 1,75	Casi rectangular (alargada)	Presentan peligros torrenciales muy bajos

Nota. Adaptado de Sellers *et al.* (2017). Morfología interpretativa de alta resolución usando datos LIDAR en la cuenca hidrográfica del río Paute en Ecuador <https://revistas.uazuay.edu.ec/index.php/memorias/article/view/87/81>.

Longitud de su cauce principal. Distancia que existe entre el punto topográfico más bajo de la cuenca (punto de aforo) y el punto más alto de la misma. Su valor influye en la escorrentía de la cuenca y los demás parámetros morfométricos (Ibáñez *et al.*, 2011).

Rectángulo equivalente. Es la geometría que representa a una unidad hidrográfica, mediante un rectángulo; cuya área y perímetro es igual al de la unidad hidrográfica. El rectángulo, posee dos lados: “l” lado menor y “L” lado mayor; en el cual, se sitúan las curvas de nivel haciendo suponer que tienen el mismo coeficiente de compacidad. Los rectángulos alargados representan a las unidades hidrográficas más alargadas, por el contrario, los rectángulos más cortos o cuadrados representan a unidades hidrográficas cortas o circulares (Torres,2022). Por ello, se utilizó la siguiente fórmula establecida por Villón (2002):

$$L = \frac{Kc \sqrt{A}}{1,12} \left[1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1,12}{Kc} \right)^2} \right];$$

$$l = \frac{Kc \sqrt{A}}{1,12} \left[1 - \sqrt{1 - \left(\frac{1,12}{Kc} \right)^2} \right]$$

Donde:

P : perímetro de la cuenca, km

Kc : coeficiente de compacidad/índice Gravelius

A : área de la cuenca, km²

L y l : lado mayor y menor del rectángulo, km

Parámetros de relieve

Pendiente media de la subcuenca. Es el valor medio de inclinación que presenta el terreno de la subcuenca, esta influye en la humedad del suelo, infiltración y escorrentía. El poder erosivo se evidencia de acuerdo con el grado de pendiente que presenta la subcuenca (Sellers *et al.*, 2017). En la Tabla 4, se visualiza el relieve en relación con la pendiente media.

Tabla 4

Clasificación de pendientes para las unidades hidrográficas

Rangos en %	Descripción
0 - 5	Plano o casi a nivel a ligeramente inclinada
5 - 10	Ligeramente inclinada moderadamente inclinada
10 - 30	Fuertemente inclinada a moderadamente empinada
>-30	Empinada a extremadamente empinada

Nota. Adaptado a partir del Decreto Supremo N°016-2009-AG. <https://www.midagri.gob.pe/portal/download/pdf/marcolegal/normaslegales/decretosupremos/ds016-2009-ag-02set.pdf>

Pendiente media de la cuenca por el Criterio de Alvord. Es la pendiente existente entre las curvas de nivel trazadas de una unidad hidrográfica y de acuerdo a esta teoría de se expresa la siguiente fórmula (Aquino, 2019):

Cuando “D” es constante:
$$S = \frac{D (l_1 + l_2 + l_3 \dots l_n)}{A}$$

Determinando:

Donde:

$L = \sum l$ longitud de todas las curvas de nivel se tiene:

S : pendiente de la cuenca

L : longitud total de las curvas dentro de la subcuenca, km

A : área de la cuenca, km²

D : desnivel permanente entre curvas de nivel, km

$$S = \frac{DL}{A}$$

Pendiente media de la unidad hidrográfica por el criterio topográfico. Es la diferencia de las cotas altitudinales en la vertical entre dos puntos determinados y su respectiva distancia, se mide en porcentaje o en grados sexagesimales. Es decir, a mayor valor de pendiente, mayor será su inclinación del terreno. Para ambas medidas, se calcula mediante las siguientes fórmulas (Ibáñez *et al.* 2011).

$$Pendiente (\%) = \frac{\text{diferencia de cotas (m)}}{\text{distancia reducida (m)}} * 100$$

$$Tana\alpha = \frac{h}{Dr} \rightarrow \alpha = actg\left(\frac{h}{Dr}\right)$$

Pendiente media de la unidad hidrográfica por el criterio del rectángulo equivalente. Es la pendiente media del rectángulo equivalente, cuyo valor es aproximado a la pendiente de la unidad hidrográfica y se representa con la siguiente fórmula (Villón, 2002):

$$S = \frac{H}{L}$$

Donde:

S: pendiente de la cuenca

H: desnivel total (cota más alta – cota más baja), km

Índice de pendiente. Es el valor obtenido a partir de una ponderación que se establece entre las pendientes y el tramo que recorre el cauce principal del río. Este valor se representa con el rectángulo equivalente utilizando la siguiente fórmula conforme a Torres (2022):

$$I_p = \sum_{i=2}^n \sqrt{\beta_i} (a_i - a_{i-1}) * \frac{1}{\sqrt{L}}$$

$$\beta_i = \frac{A_i}{A_t}$$

Donde:

I_p : índice de pendiente.

n : número de curvas de nivel existentes en el rectángulo equivalente, incluido lo extremos.

$a_1, a_2, a_3 \dots a_n$: cotas de las n curvas de nivel consideradas, km.

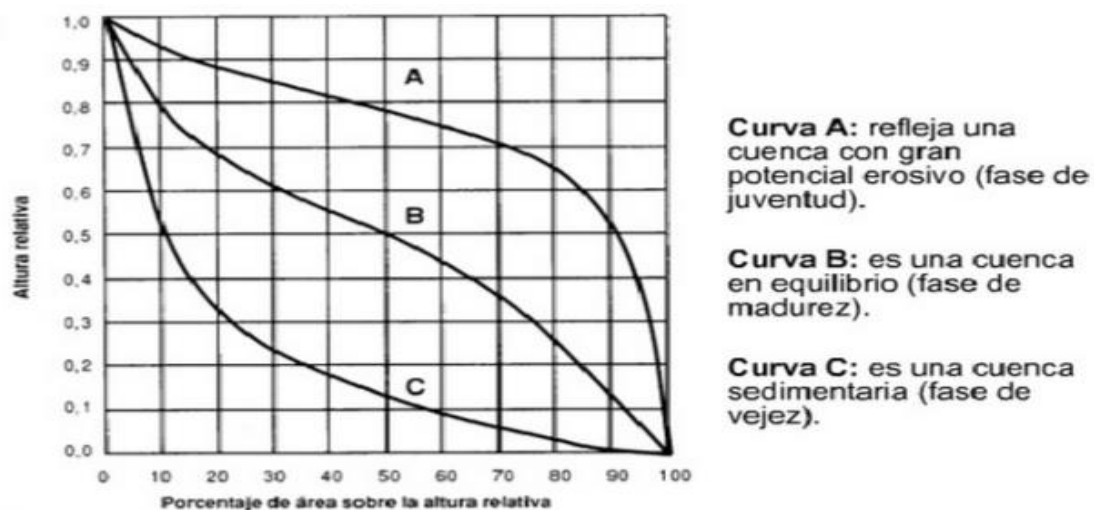
β_i : fracción de la superficie total de la cuenca comprendida entre las cotas $a_i - a_{i-1}$

L : distancia del lado mayor del rectángulo equivalente, km.

Curva hipsométrica. Es la diferencia o variación de elevaciones de una unidad hidrográfica con referencia al nivel del mar, y esta diferencia de relieves se representa gráficamente mediante la curva hipsométrica, mediante la cual, se pueden definir las características fisiográficas, tal como se aprecia en la Figura 1 (Torres, 2022).

Figura 1

Clasificación de la curva hipsométrica



Nota. En esta figura, se muestra las curvas A, B y C, las cuales representan a cada fase de una unidad hidrográfica, tal como se observa en su descripción. Tomado de Brieva (2018). Caracterización de cuencas p. 23. https://www.researchgate.net/profile/CarlosBrieva/publication/328345816_CHARACTERIZACION_DE_CUENCAS/links/5bc76dfa92851cae21a99879/CARACTERIZACION-DE-CUENCAS.pdf

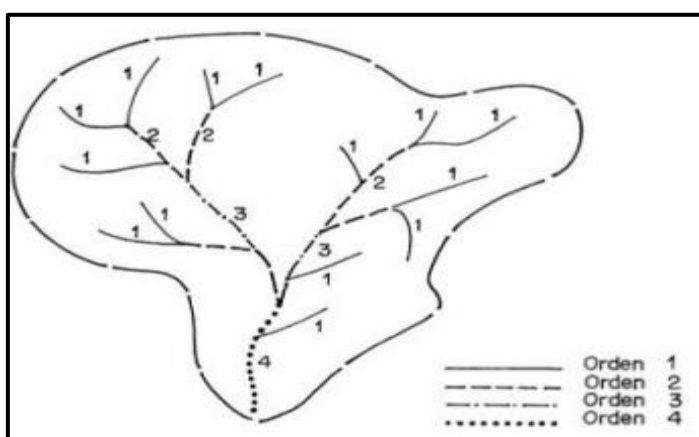
Curva de frecuencia de altitudes. Es el complemento de la curva hipsométrica. Representa el porcentaje de área que ocupa una determinada altitud de manera gráfica (Aquino, 2019).

Parámetros de la red de drenaje

Número de orden de la cuenca. Es el grado de ramificación de un sistema hidrográfico. Por ejemplo, una corriente de orden 1 es el cauce que no tiene tributarios, la unión de dos ríos tributarios de primer orden se denomina orden 2, donde confluyen dos cauces de segundo orden firmará el orden 3 y así sucesivamente, tal como se observa en la Figura 2 según el método de Strahler (Sellers *et al*, 2017):

Figura 2

Corrientes tributarias de orden 4



Nota. En la presente figura se muestra la codificación de una unidad hidrográfica de acuerdo con el número de orden. Diagrama tomado de Vega (2020). Diferentes soluciones para la delimitación y codificación de cuencas superficiales cubanas. 41(2) p. 75 – 84. <http://scielo.sld.cu/pdf/riha/v41n2/1680-0338-riha-41-02-75.pdf>

Densidad de drenaje. Refleja el grado de bifurcación de una unidad hidrográfica y se define como la longitud de ríos y quebradas que tributan al río principal por unidad de área de la cuenca. Los valores elevados representan a fuertes pendientes y los mínimos a superficies planas y poco erosionables; se expresa mediante la siguiente fórmula (Torres, 2022):

$$D_d = \frac{L_s}{A}$$

Donde:

D_d : densidad de drenaje

L_s : longitud total de las corrientes

En la Tabla 5 se pueden visualizar los criterios definidos para la densidad de drenaje:

Tabla 5*Criterios de la densidad de drenaje*

Densidad de drenaje (km/km ²)	Categoría
<1	Baja
1-2	Moderada
2-3	Alta
>3	Muy alta

Nota. Adaptado de Sellers *et al.* (2017). Morfología interpretativa de alta resolución usando datos LiDAR en la cuenca hidrográfica del río Paute en Ecuador. <https://revistas.uazuay.edu.ec/index.php/memorias/article/view/87/81>.

Pendiente del cauce principal. Es el valor obtenido de la división el desnivel de los extremos del tramo entre la longitud de este. Existen varios métodos para encontrar la pendiente del cauce principal, entre ellos se muestran los siguientes:

Pendiente uniforme. Valor obtenido del desnivel entre los extremos de la unidad hidrográfica y la proyección horizontal de su longitud del río principal como se muestra en la siguiente fórmula establecida por (Villón, 2002).

$$S = \frac{H}{L}$$

Donde:

S : pendiente

L : longitud del cauce, km

H : diferencias de cotas entre los extremos del cauce, km

Fórmula de Taylor y Schwarz. Este método considera que un río está formado por una cantidad determinada de tramos (*n* tramos) de la misma longitud y cada uno de ellos con pendiente uniforme de manera que, cuanto mayor sea el número de tramos subdivididos del perfil longitudinal del río, mayor será su proximidad, para ello se utiliza la siguiente fórmula (Aparicio, 1992):

$$S = \left[\frac{n}{\frac{1}{\sqrt{S_1}} + \frac{1}{\sqrt{S_2}} + \dots + \frac{1}{\sqrt{S_n}}} \right]^2$$

Donde:

n : número de tramos iguales en que se subdivide el perfil del cauce

S : pendiente media del cauce

S₁, S₂, S_n: pendiente de cada tramo según S=H/L

Sin embargo, en la práctica los tramos pueden resultar de diferentes longitudes, por lo que Taylor y Schwarz recomiendan que se utilice la siguiente fórmula (SENAMHI, 2016):

$$S = \left[\frac{\sum_{i=1}^n L_i}{\sum_{i=1}^n \frac{L_i}{S_i^{1/2}}} \right]^2$$

Donde:

S : pendiente media del cauce

L_i : longitud del tramo i

S_i : pendiente del tramo i

Tabla 6

Valores para la clasificación de la pendiente media

Pendiente %	Tipo de relieve
<0,5	Muy plano
0,5-1	Plano
1-3	Suave
3-12	Accidentado medio
12-20	Accidentado
20-50	Fuertemente accidentado
50-75	Escarpado
>75	Muy escarpado

Nota. Elaboración propia adaptado de Sellers *et al.* (2017). Morfología interpretativa de alta resolución usando datos LiDAR en la cuenca hidrográfica del río Paute en Ecuador. <https://revistas.uazuay.edu.ec/index.php/memorias/article/view/87/81>.

1.2.3. Elementos meteorológicos

Radiación solar

Es el transmisor de energía mediante ondas electromagnéticas; donde, la energía irradiada del sol se dispersa en la atmósfera produciendo varios fenómenos como: absorción y reflexión (Gómez y Gallo, 2022). Asimismo, produce variaciones de calor y temperatura influyendo principalmente en la evaporación y transpiración (Chereque, 1989).

Humedad

De acuerdo con Martínez (2007), la humedad es la cantidad de vapor de agua presente en el aire y su magnitud se expresa con la temperatura del bulbo húmedo. Monsalve (1999) añade que el vapor del agua es el responsable de la ocurrencia de precipitaciones y procesos de evaporación.

Temperatura

Es un parámetro que interviene en los múltiples procesos del ciclo hidrológico, desde el cambio de estado del agua, hasta la totalidad de operaciones y fórmulas para calcular las necesidades del recurso hídrico en un determinado lugar (Chereque, 1989). Además de estar relacionado a la radiación solar, sus datos son utilizados para el cálculo de temperaturas medias diarias, semanales, mensuales y anuales (Fattorelli y Fernández, 2011).

1.2.4. El ciclo hidrológico y sus componentes

Conjunto de cambios que el agua percibe en el medio natural y experimenta tres estados diferenciados: líquido, sólido y gaseoso, tanto en la superficie terrestre y en el medio subterráneo (Chereque, 1989). El ciclo no tiene punto de partida definido y está influenciado por la interrelación entre el hombre y la naturaleza, por lo que el ciclo puede empezar en cualquier punto (Chow *et al*, 1994). El agua precipitada regresa a la atmósfera a través de la evaporación y la transpiración (Villón, 2002). Gómez y Gallo (2022) por su parte afirman que, el calor es la única fuente, en el ciclo hidrológico, para la ocurrencia de procesos que se originan en superficie de la tierra. La energía de calor es absorbida en la formación de hielo,

nieve y suelos saturados que a través del vapor de agua se propaga a la atmósfera formándose el proceso de condensación que dan lugar a la precipitación, el proceso nuevamente se repite y el agua de la superficie terrestre se elimina a través del escurrimiento, infiltración, drenaje, evaporación y transpiración.

Precipitación

Constituye las diversas formas en que la humedad cae de las nubes a la superficie terrestre: nieve, granizo, lluvia y garúa; la cual conforma la fuente principal de agua (Villón, 2002). La precipitación se origina en la atmósfera y se determina por la aglomeración de gotas de agua, las cuales tienen un aproximado de 0,01 mm de diámetro que bajo condiciones de temperatura y presión adquieren un mayor tamaño de diámetro (0,5 mm a más de diámetro), la cual, facilita su caída con gran velocidad hasta la corteza terrestre (Gómez y Gallo, 2022).

Intercepción

Es la cantidad de precipitación retenida en un primer instante por la vegetación; es absorbido por el suelo y se pierde a través de la infiltración o evaporación al igual que la cubierta vegetal, pero no experimentan el proceso de escorrentía; es decir, cuando las lluvias son suaves estas pérdidas de agua por intercepción son muy significativas, ya que no existe la escorrentía y la precipitación satura las cavidades del suelo y la vegetación (Fattorelli y Fernández, 2011). El agua que se intercepta por la vegetación y la cobertura de vegetación es devuelta a la atmósfera en un corto tiempo mediante el proceso de la transpiración y evaporación, por lo que la intercepción es alta cuando la densidad de vegetación es mayor y al comienzo de la precipitación (Chereque, 1989).

Evapotranspiración

Es la cantidad de agua, en estado gaseoso, que se desprende de la corteza terrestre hacia la atmósfera por la acción del calor que influye en las fuentes de agua, suelo, plantas y otras superficies. La evapotranspiración es la suma de dos variables importantes la evaporación y la transpiración de la cobertura vegetal (Monsalve, 1999).

Infiltración

Es el proceso, donde el agua que fluye o que está retenida en la superficie se traslada hacia el subsuelo por acción de la gravedad, este proceso depende de las características física del suelo (mayor o menor filtración) (Aparicio, 1989). La humedad, el tipo de suelo y la vegetación son algunos importantes factores que intervienen en el proceso de infiltración (Chow *et al.*,1994).

Almacenamiento

Referido a la parte de precipitación que alcanza los niveles freáticos del suelo y se acumula temporalmente, aflorando durante el periodo de sequía; es decir, estas aguas subterráneas alimentan los cauces de los ríos cuando disminuyen las precipitaciones, por lo que estos almacenes van disminuyendo con el tiempo (Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo de España [MOPU], 1987).

Escorrentía

Es la circulación del agua sobre o bajo el suelo ocasionado por la precipitación; el agua discurre y se reúne en un determinado punto para ser drenada por el punto de salida y/o aforo, durante este proceso parte de esta agua se infiltra, evapora o se pierde por adhesión (Villón, 2002).

1.2.5. Tratamiento de información hidrometeorológica

La data hidrometeorológica son series de datos que a través del tiempo y de manera consecutiva son registrados. Estos datos pueden ser: temperaturas, precipitaciones, humedad relativa, caudal, evaporación, radiación, entre otros que son importantes para estudios hidrometeorológicos. El tratamiento se ve reflejado en los ajustes realizados a los datos históricos registrados; es decir, correcciones y completación de datos, alineados sobre la base del espacio, zona, tiempo y la condición de cada unidad hidrológica, ya que no siempre existe información del área de interés o no es acorde a la necesidad del investigador (Aliaga, 1983).

Análisis de consistencia de datos hidrometeorológicos

Proceso que realiza el investigador al considerar una determinada información y lo efectúa utilizando criterios físicos y estadísticos que faciliten la identificación, análisis, evaluación y exclusión de datos erróneos suscitado a causa natural o por manipulación humana. La actividad antrópica provoca el deterioro de ecosistemas y recurso hídrico, causando la inconsistencia y/o alteración de datos, por tanto, un error sistemático. Estos errores, se presentan a través de tendencias y saltos que distorsionan totalmente la homogeneidad de la data histórica, haciendo de esta una serie inconsistente (Aliaga, 1983).

Análisis de saltos

Son fórmulas determinísticas que facilitan el cambio de estado en una serie hidrológica, a consecuencia de actividades antrópicas o naturales en el aprovechamiento del recurso hídrico. Estos saltos se presentan generalmente en dos parámetros: en la desviación estándar y en la media. Para identificar los cambios hidrometeorológicos de manera práctica, se realiza el siguiente procedimiento: identificación, evaluación y/o cuantificación y corrección y/o eliminación de la información errónea (Aliaga, 1983).

Identificación de saltos

a. Análisis de gráficos. Para este proceso es necesario plasmar y distribuir gráficamente la información hidrometeorológica disponible en las ordenadas y abscisas, teniendo en cuenta los criterios de la data recopilada en campo, a fin de analizar el comportamiento regular e irregular de los datos y, verificar si la información es confiable o dudosa (Aliaga, 1983). Para ello, se utiliza la data histórica de las estaciones vecinas para su comparación y verificar la variación más notoria. Si se cuenta con una sola estación meteorológica, se divide y analiza por periodos y se compara con la información de campo, considerando el periodo más consistente (Villón, 2019).

b. Análisis de doble masa. Análisis de la inconsistencia de datos hidrometeorológicos, mediante la superposición de datos de varias series a la vez. Este proceso facilita la identificación de errores, mediante los puntos de quiebre que presenta la curva de doble

masa; por lo que, a menor puntos de quiebre menores son los errores sistemáticos y viceversa (Aliaga, 1983). Este análisis se puede realizar con datos de descargas y precipitaciones, si las rectas presentan quiebres, quiere decir que existe saltos y por tanto errores sistemáticos que se debe corregir o completar información utilizando estaciones de cuencas vecinas para verificar la consistencia de la data (Tarazona, 2005). Por su parte, Terán (2014) propone seleccionar de entre todas las estaciones a una sola que garantice confiabilidad para ser comparada con las demás, y la información faltante identificada debe realizarse por interpolación con promedios mensuales, regresión lineal simple y múltiple u otros métodos de acuerdo con las condiciones.

c. Análisis estadístico. Luego de realizar el análisis de doble masa, se obtiene datos modificados y otros que se conservan tal cual (Villón, 2019). Posterior a ello, los datos son sometidos a pruebas estadísticas, a fin de corroborar si los datos discordantes pertenecen o no al mismo campo hidrológico; para ello, es importante evidenciar la homogeneidad y/o equivalencia en sus medias de muestras (Terán, 2014).

Evaluación y cuantificación. Fase referida a la cuantificación de errores identificados a modo de saltos, realizados mediante métodos estadísticos: la prueba de T-Student (T) y la prueba de Fisher (F) para la media y desviación estándar.

Corrección de saltos. Este proceso solo se aplica en caso que la media y la desviación estándar resulten diferentes, a través del análisis gráfico, doble masa y estadístico, en la cual se alcance el nivel de significancia permitido; caso contrario no se aplica, ya que simplemente se conservan los datos originales que resulten consistentes al 95 % de probabilidad (Aliaga, 1983).

Análisis de tendencias

Son parámetros determinísticos temporales, definidos como cambios sistemáticos de manera secuencial a una muestra en cualquier parámetro que afecte las distribuciones de las series, por ejemplo: el aumento ascendente o descendente de la temperatura; las tendencias nunca

son repetidas en su forma ni en propiedades, las tendencias no son lineales se representan a través de series de potencia (Aliaga, 1983).

Tendencia en la media. Este análisis consiste en realizar la prueba t y corroborar si los valores de \bar{X}_1 ; \bar{X}_2 son iguales o difieren con una probabilidad el 95 % o representan el 5 % de significancia (Villón, 2019). Puede ser calculada por un polinomio o mediante una representación matemática de regresión simple, cuya fórmula se muestra en el ítem del análisis estadístico (Aliaga, 1983).

Tendencia en la varianza. Proceso se realiza para corroborar, mediante la prueba F si los valores de la desviación estándar son iguales o difieren con el 95 % de probabilidad o el 5 % de grado de significancia (Villón, 2019). Este proceso se realiza cuando la tendencia en la media se ha corregido y sus datos son registrados semanal y mensualmente. Se calcula la mediante la fórmula de regresión polinomial o en tendencias lineales, cuya fórmula se muestra en el ítem del análisis estadístico (Aliaga, 1983).

Completación y extensión de datos hidrometeorológicos

Villón (2019), lo define como el proceso de rellenar ciertos vacíos en una determinada serie histórica, mientras que la extensión de datos hace referencia al traslado de datos de una estación hidrometeorológica de serie histórica con mayor longitud a una de serie histórica relativamente corta. Es el proceso que se utiliza para estimaciones aproximadas y validadas cuando se acumula nueva información en la serie histórica con el fin de mejorar los cálculos, mientras mayor sea la serie de datos, mejor es el resultado; los cuales, se afinarán con el tiempo hasta trabajar con datos reales y de calidad. Entre los métodos para la completación y extensión de datos son: promedios matemáticos, fórmulas estadísticas y matemáticas aplicables de acuerdo al objeto del estudio y a la disponibilidad de datos, considerando que la técnica garantice confiabilidad (Aliaga, 1983). Además, Terán (2014) menciona que, para la completación de datos faltantes a través del promedio matemático, la precipitación anual total de las estaciones cercanas no debe diferir más del 10 %.

Fórmula de regresión lineal simple (RLS). Es una técnica o método utilizado para la completación y extensión de datos (Villón, 2019). Este método de extensión de análisis de tendencias está determinado por una línea con la intervención de dos variables, por lo que matemáticamente se representa en una fórmula cuya descripción se muestra en el ítem de análisis estadístico (Aliaga, 1983).

1.2.6. Suelos

El suelo es un medio físico natural de vida, se compone de capas de minerales, materia, aire y agua, convirtiéndose en un medio ideal de vida para muchos organismos vivos y plantas. Es también el producto de la complejidad de procesos que confluyen entre sí, los organismos vivos, el clima, la fisiografía, la topografía y materiales parentales (textura, estructura, consistencia, color, propiedades físicas, químicas y biológicas) que permite la formación de suelo a través del tiempo (Organización de las Naciones Unidas para la alimentación y la Agricultura [FAO], 2023). Los suelos influyen directamente en los procesos de infiltración, precipitación, escorrentía y otros procesos donde actúan sus propiedades (Terán 2014).

Textura de suelo

Es la proporción que se determina por cada tipo de suelo, dentro de los cuales se encuentran el tipo: arenoso, limoso y arcilloso, los cuales se clasifican de acuerdo con su granulometría y el tamaño de sus partículas (Crespo, 2018), tal como se muestra en la Tabla 7.

Tabla 7

Características de la textura de suelos

Textura	Tamaño de partículas mm	Característica
Arena	0,05 – 2,2	Arena, con gran capacidad para filtrar agua
Limo	0,05 – 0,002	Combinación de suelo arenoso y arcilla
Arcilla	< 0,002	Arcilla, alta retención de agua

Nota. Elaboración propia a partir de Crespo (2018). Mecánica de suelos y cimentaciones. <https://stehven.files.wordpress.com/2015/06/mecanica-desuelos-y-cimentaciones-crespo-villalaz.pdf>

1.2.7. Coberturas y usos de suelo

El suelo es uno de los componentes más importante para determinar el escurrimiento y la infiltración del agua en el subsuelo, ya que presenta características y condiciones (físicas, químicas y biológicas) propias que dependen del uso de suelo (Reyes, 1992). Para el caso de la subcuenca del río Gera presenta una gran variedad de escenarios de uso de suelo especialmente por la intervención antrópica, cuya área es muy afectada por la deforestación.

Cambio de uso de suelo

Proceso en que el suelo resiste una serie de cambios provocados por el hombre, producto de la expansión y extensión de las actividades antrópicas de manera desmedida impactando negativamente en la biodiversidad y el agua. Es la transformación de suelo boscoso a pastizal, cultivos agrícolas, praderas, sistemas silvopastoriles y otros usos, cuya finalidad es aprovechar al máximo el suelo sin considerar el manejo adecuado del recurso (Sahagún y Sánchez, 2018).

Cambio de uso de suelo boscoso

Son áreas arborizadas, dónde su cambio de superficie boscosa a pastizales, servicios socioambientales u otros, son con fines benéficos para la población a corto plazo (Reyes, 1992). La continua pérdida de áreas boscosas trae como consecuencia la pérdida de hábitats silvestres, alteración en el ciclo hidrológico, aumento de la erosión del suelo, alteración de los controladores biológicos, pérdida de colchones hídricos que aseguran la existencia de un caudal continuo y la diversidad biológica en general (López, *et al.*, 2014).

Cambio de uso de suelo pastizal

Es el cambio de uso de suelo menos adecuado y desfavorable para los procesos biológicos, el suelo (compactación de suelos) y la emanación de gases a la atmósfera si no se realiza un adecuado manejo de pasturas (López, *et al.*, 2014).

Cambio de uso de suelo praderas

Área de terreno que se compone de pasturas, dentro de estas áreas se tiene a las praderas drenadas (no presentan escurrimiento, salvo torrenciales de lluvia) y las praderas no drenadas (nivel freático alto: superficies húmedas y cuerpos de agua). La alteración física, química o biológica de estas praderas son consideradas como cambio de uso de suelo (Reyes, 1992).

Cambio de uso de suelo cultivo agrícola

Son extensas áreas de terreno donde se desarrollan diferentes actividades productivas con un adecuado e inadecuado manejo del suelo, siendo ésta última la más perjudicial para la conservación de la biodiversidad y el recurso hídrico. Gran parte del territorio se expone al impacto de las gotas de lluvia; generalmente, durante el proceso de siembra y postcosecha (Reyes, 1992).

Cuerpos de agua

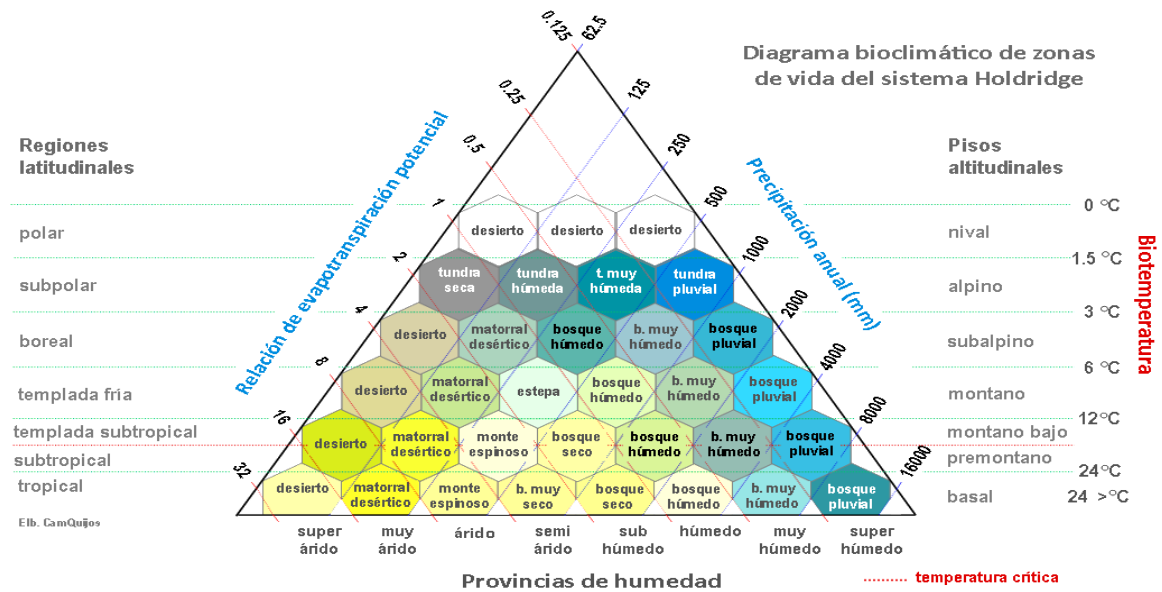
Campos *et al.* (2016), los define como aglomeraciones de agua acumuladas o en movimiento por los cauces artificiales o naturales en un determinado espacio cuya clasificación se determina de la siguiente manera: reservorios; los cuales, pueden ser naturales o artificiales y corrientes que pueden ser permanentes o temporales.

1.2.8. Zonas de vida

Es la asociación del clima, la fisiografía, la vegetación, la actividad animal, el suelo y las formaciones geológicas que están interrelacionados entre sí y/o formando una unidad natural conocida como zona de vida (Holdridge, 1982). Para la división y clasificación de estas zonas se desarrolló un esquema, utilizando datos meteorológicos (precipitación y temperatura) a una escala anual, cuyo diagrama tridimensional se aprecia en la Figura 3, en la cual se identifican 120 zonas de vida (SENAMHI, 2019).

Figura 3

Diagrama bioclimático de zonas de vida del sistema Holdridge



Nota. Mediante esta figura se puede visualizar que el Perú compromete a tres fajas latitudinales para la identificación de zonas de vida: Tropical, subtropical y Templado – Cálido. Diagrama tomado de Holdridge (1982). <https://sinia.minam.gob.pe/sites/default/files/sinia/archivos/public/docs/140.pdf>

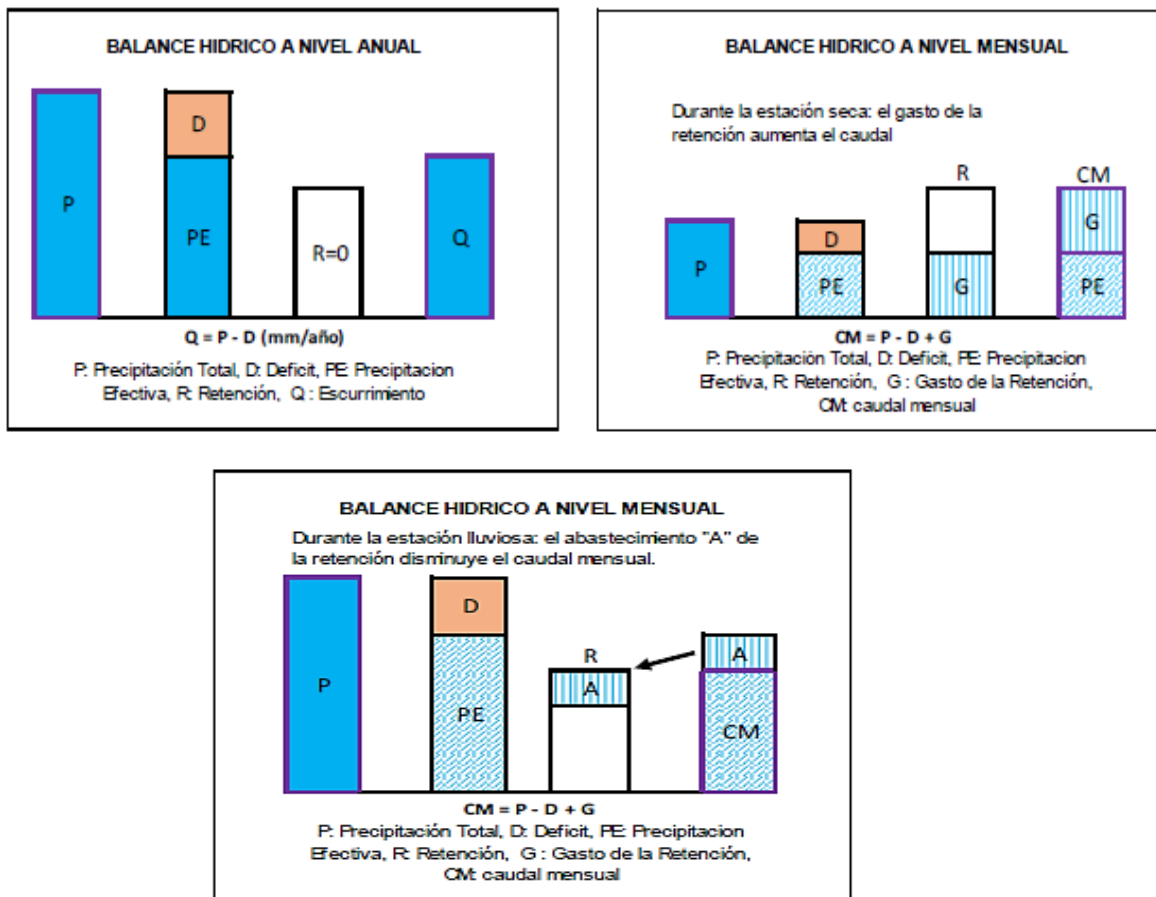
1.2.9. Modelo determinístico – estocástico de Lutz Scholz

Es un modelo hidrológico creado por Lutz Scholz en 1980, en una investigación “Transformación de la precipitación en descarga” para el Proyecto Nacional de Pequeñas y Medianas Irrigaciones (PNPM – II) del Ministerio de Agricultura. Esta investigación fue realizada en Perú en el marco de la Cooperación Técnica de la República Federal Alemana a través del Plan MERISS II-1980. El modelo fue creado, para ser aplicado cuando se carece de información hidrológica completa y se caracteriza por presentar una estructura determinística (Balance Hídrico) – estocástica (extensión de datos). Este, permite la estimación de escurrimientos (caudales) promedios a escala mensual y la extensión de los mismos para un periodo determinado (Burguña, 2019). El método se desarrolló mediante tres pasos importantes: cálculo de parámetros, desarrollo de modelos parciales para la determinación de caudales en cuencas que no cuentan con información hidrométrica y calibración del modelo y, generación de caudales para un periodo extendido, utilizando la información de precipitación efectiva y el caudal calculado (Blanco, 2020). A su vez, Tarazona (2005), señala que esta metodología es ideal para obtener el valor promedio de agua que discurre en una unidad hidrográfica y a una determinada escala de tiempo; para lo

cual, se calcula parámetros como: precipitación efectiva, coeficiente de escorrentía, retención, entre otros. Con la investigación “Transformación de la precipitación en descarga” desarrollada por el ing. Lutz Scholz, se determinó una serie de expresiones que permitieron la calibración de los parámetros hidrológicos, pudiendo calcular el valor de los caudales medios mensuales en cuencas que no cuentan con información hidrométrica, utilizando solamente recursos disponibles, como: información física y meteorológica, tal como se aprecia en la Figura 4, la cual precisa el esquema de balance hídrico.

Figura 4

Esquemización del balance hídrico del modelo Lutz Scholz



Nota. Diagrama tomado del Decreto Ley N° 21086. Convenio Básico de Cooperación Técnica entre Perú y la República Federal de Alemania (1980). Plan MERISS II. <http://www.meriss.gob.pe/plan/wp-content/uploads/docgest/MOPE2015.pdf>

Ecuación de balance hídrico

A continuación, se detallan las siguientes ecuaciones para el cálculo del balance hídrico y la estimación de caudal (Inoue, 2018):

$$CM_i = P_i - D_i + G_i - A_i$$

Donde:

CM_i : caudal mensual, mm/mes

P_i : precipitación mensual sobre la cuenca, mm/mes

D_i : déficit de escurrimiento, mm/mes

G_i : gasto de la retención de la cuenca, mm/mes

$$Q = cCP(AR)$$

Donde:

Q : caudal, m³/s

P : precipitación total mensual, mm/mes

C : coeficiente de escurrimiento

AR : área de la cuenca, m²

c' : coeficiente de conversión del tiempo, mes/s

Evapotranspiración potencial (ETP)

Es la composición de 2 procesos: la evaporación del agua en estado gaseoso de diferentes espacios colectores de agua (pantanos, lagos y cochas) y la transpiración de las plantas que se despiden de estado líquido a estado gaseoso (Monsalve,1999) y será calculada mediante la fórmula de Hargreaves (Gárnica, 2015).

Cálculo de la ETP en base a la temperatura:

$$ETP = MF * TMF * CH * CE$$

$$CH = 0,166 (100 - HR);$$

$$Si, HR > 64 \%$$

$$CH = 1; Si, HR < 64\%$$

CE : factor de corrección para la altitud del lugar

CE : $1.0 - 0,04 * E / 2000$, donde
 E = altitud, msnm

Donde:

ETP : evapotranspiración potencial, mm/mes

MF : factor mensual de latitud (Manual 24 FAO)

TMF : temperatura media mensual, °F

CH : factor de corrección para humedad relativa

HR : humedad relativa media mensual, %

Coefficiente de escurrimiento (C)

Para el cálculo de este parámetro se ha considerado el uso de las siguientes metodologías:

Método L. Turc

Inoue (2018) consideró la fórmula de este autor y la relación es la siguiente:

$$C = \frac{P - D}{P}$$

Donde:

C : Coeficiente de escurrimiento

D : Déficit de escurrimiento en mm/año

P : Precipitación total anual en mm/año

El déficit de escurrimiento se encuentra a partir de la siguiente expresión:

$$D = P \frac{1}{\left(0,9 + \frac{P^2}{L^2}\right)^{\frac{1}{2}}}$$

Donde: $L = 300 + 25(t) + 0.05(T)^3$

Siendo:

L : Coeficiente de temperatura

T : Temperatura media anual en °C

Método de la Misión Alemana

Esta fórmula general fue propuesta para calcular el coeficiente de escurrimiento, válido en toda la sierra peruana (Pineda, 2015). Asimismo, se propone el cálculo de la evapotranspiración potencial determinada por la fórmula de Hargreaves mencionada anteriormente. La fórmula se expresa de la siguiente manera:

$$C = 3,16E16 * (P^{-0,571}) * (ETP^{-3,686})$$

Donde:

C : coeficiente de escurrimiento

ETP : evapotranspiración anual en mm/año

D : déficit de escurrimiento en mm/año

R : coeficiente de correlación

P : precipitación total anual en mm/año

$$D = -1380 + 0,872 * P + ETP$$

Método de la Oficina Nacional de Evaluación de Recursos Naturales (ONERN)

De acuerdo con la ONERN (1976), esta metodología está basada en el “Mapa Ecológico del Perú”, elaborado de acuerdo con la distribución geográfica de las zonas de vida en el territorio nacional establecido por Holdridge en 1982 (SENAMHI, 2019). Por ello, la proporción de precipitación media anual que discurre en una cuenca hidrográfica constituye el coeficiente de escurrimiento.

Método de Prevert

Método basado en experimentos realizados en distintas parcelas y cataloga al suelo de acuerdo a su textura: gruesa (arenoso-limoso y viceversa), mediana (limoso y limoso-arcilloso) y fina (arcillas). Asimismo, este método caracteriza a 4 grupos de pendiente con los siguientes valores: de 0-5 %; 5-10 %; 10-30 % y mayores al 30 % (Ibañez *et al.*, 2007). Sin embargo, cuanto mayor sea la pendiente mayor es la escorrentía, mientras mayor es la densidad vegetativa menor es la escorrentía, y cuanto menor sea la permeabilidad y mayor la existencia de estructuras, mayor es la capacidad de escorrentía (Moll, 2013). La Tabla 8 muestra los valores que avalan esta teoría.

Tabla 8*Coefficientes de escorrentía relacionado al uso de suelo, pendiente y textura*

Uso de suelo	Pendiente %	Textura de suelo		
		Arenoso-limoso Limoso-arenoso	Limoso Limoso-arcilloso	Arcilloso
Bosque	0 - 5	0,10	0,30	0,40
	5 - 10	0,25	0,35	0,50
	10 - 30	0,30	0,40	0,60
	>30	0,32	0,42	0,63
Pastizal	0,15	0,15	0,35	0,45
	5-10	0,30	0,40	0,55
	10-30	0,35	0,45	0,65
	>30	0,37	0,47	0,68
Cultivo agrícola	0-5	0,30	0,50	0,60
	5-10	0,40	0,66	0,70
	10-30	0,50	0,70	0,80
	>30	0,53	0,74	0,84

Nota. Elaboración propia a partir de Ibáñez *et al.* (2011). Métodos para la determinación del coeficiente de escorrentía. <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/10781/Coefficiente%20de%20escorrent%C3%ADa.pdf>

Precipitación efectiva

Para este cálculo, se asume que la unidad hidrográfica se encuentra en estado de equilibrio entre el gasto y el abastecimiento de la retención, y como la precipitación efectiva se calcula para el coeficiente de escorrentía, entonces la precipitación efectiva en relación a la precipitación total resulta igual al coeficiente de escorrentía. Para este proceso, se adoptó una técnica del United States Bureau of Reclamation – USBR a fin de determinar la porción de precipitación aprovechada por los cultivos y, esta precipitación aprovechada por los cultivos es lo opuesto a la precipitación de la escorrentía (Inoue,2018). Entonces, para la USBR, la precipitación efectiva para cultivos es el comienzo de cuando la precipitación total mensual aumenta, disminuye un porcentaje del aumento de la lluvia como incremento de la precipitación efectiva; de modo que, a partir de un lineamiento superior la precipitación efectiva para cultivos se mantenga invariable. Por lo tanto, hidrológicamente la precipitación efectiva es la parte tomada de la precipitación total mensual que sale como déficit según el

método de la USBR (Inoue, 2018). Las curvas propuestas por el método USBR y ampliadas por el experto Lutz Scholz sirven para identificar las combinaciones de curvas que cubren el rango del coeficiente de escurrimiento (Terán, 2014). Asimismo, debe cumplirse la siguiente condición:

$$0 < C_I \text{ y } C_{II} < 1 \text{ y } C_I + C_{II} = 1.$$

En caso de no cumplir estas dos condiciones, probar con la siguiente combinación, es decir, C_{II} y C_{III} . En la Tabla 9 y la Figura 5 se muestran las curvas para la precipitación efectiva.

Tabla 9

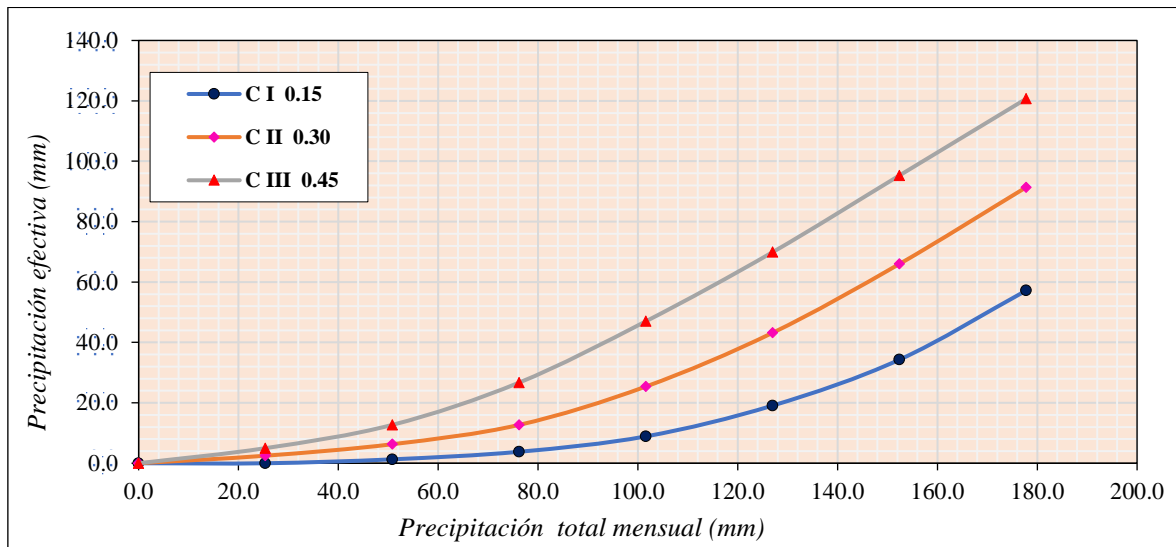
Porción de la precipitación aprovechable por las plantas, déficit o escurrimiento

Precipitación total Mensual (Lím. Superior) mm	Aprovechable por las plantas			Déficit o escurrimiento		
	I	II	III	I	II	III
25,4	25,4	22,9	20,4	0,0	2,5	5,0
50,8	49,5	44,5	38,1	1,3	6,3	12,7
76,2	72,4	63,5	49,5	3,8	12,7	26,7
101,6	92,7	76,2	54,6	8,9	25,4	47,0
127	107,9	83,8	57,1	19,1	43,2	69,9
152,4	118,1	86,4	57,1	34,3	66,0	95,3
177,8	120,6	86,4	57,1	57,2	91,4	120,7
"C"				0,15	0,30	0,45

Nota. Elaboración propia a partir del Plan MERISS II (1980). Generación de caudales mensuales en la sierra peruana MERISS II. <https://www.studocu.com/pe/document/universidad-nacional-agraria-la-molina/hidrologia/pdf-generacion-de-caudales-mensuales-en-la-sierra-peruana-meriss-ii-ok/19049024>

Figura 5

Porción de precipitación efectiva del modelo Lutz Scholz



Nota. Porción de precipitación efectiva tomado de Plan MERISS II (1980). Generación de caudales mensuales en la sierra peruana MERISS II. Pg 8. <https://www.studocu.com/pe/document/universidad-nacional-agraria-lamolina/hidrologia/pdf-generacion-de-caudales-mensuales-en-la-sierra-peruana-meriss-ii-ok/19049024>

Para el cálculo de la precipitación efectiva, se ha definido mediante la fórmula de polinomio de quinto grado (Terán, 2014):

Donde:

PE: precipitación efectiva, mm/mes

$$PE = a_0 + a_1P + a_2P^2 + a_3P^3 + a_4P^4 + a_5P^5$$

a_i : coeficiente del polinomio

P: precipitación total mensual, mm/mes

A continuación, se muestra los valores límite de la precipitación efectiva, y en la Tabla 10 se muestra los coeficientes “ a_i ”, para el desarrollo del polinomio y el cálculo de la precipitación efectiva.

- Límite superior para Precipitación Efectiva

Curva I: PE=P-120,6 para P> 177,8 mm/mes

Curva II: PE=P-86,4 para P>152,4 mm/mes

Curva III: PE=P-59,7 para P>127,0 mm/mes

Tabla 10*Coefficientes para el cálculo de la precipitación efectiva*

Coefficiente	I	II	III
a₀	-0,047	-0,1065	-0,4177
a₁	0,0094	0,1477	0,3795
a₂	-0,0005	-0,0029	-0,0101
a₃	0,00002	0,00005	0,0002
a₄	-0,00000005	-0,0000002	-0,0000009
a₅	2E-10	2E-10	1E-09
C	0,15	0,30	0,45

Nota. Elaboración propia a partir del Plan MERISS II (1980). Generación de caudales mensuales en la sierra peruana MERISS II. <https://www.studocu.com/pe/document/universidad-nacional-agraria-lamolina/hidrologia/pdf-generacion-de-caudales-mensuales-en-la-sierra-peruana-meriss-ii-ok/19049024>

El rango de aplicación de los coeficientes de la ecuación polinómica para el cálculo de la PE está comprendido para $0 < P < 180$ mm. De esta manera, será posible llegar a la relación entre precipitación efectiva y precipitación total.

$$PE = \frac{Q}{P} \sum_{i=1}^{12} PE = C * P \text{ mm/año}$$

Mientras que los coeficientes parciales para cada grupo de curvas, se determina mediante las siguientes relaciones:

$$C_I = \frac{CP - PE_{II}}{PE_I - PE_{II}}$$

$$C_{II} = \frac{CP - PE_{III}}{PE_{II} - PE_{III}}$$

$$C_{III} = \frac{CP - PE_{II}}{PE_{III} - PE_{II}}$$

Donde:

C : coeficiente de escurrimiento

C_I, C_{II} y C_{III} : coeficientes para cada grupo de curvas

P : precipitación total anual, mm/año

PE_I, PE_{II} y PE_{III} : precipitación efectiva para cada grupo de curvas, mm

D : déficit de escurrimiento, mm/año

La elección de curvas para el cálculo de la PE, está relacionado al coeficiente de escurrimiento cumpliendo ciertas condiciones. La combinación de curvas puede ser la C_I y C_{II} o C_{II} y C_{III}.

Aprovechando el valor del coeficiente de escorrentía calculado, para esta investigación se optó por trabajar con la C_I y C_{II} . Para comprobar si la elección de curvas cumple con los requisitos establecidos se realizó el siguiente análisis:

$$C_I = \frac{CP - PE_{II}}{PE_I - PE_{II}}$$

$$C_{II} = \frac{CP - PE_I}{PE_{II} - PE_I}$$

Condición: $0 < C_I$ y $C_{II} < 1$ y $C_I + C_{II} = 1$, si no cumple estas dos condiciones, probar con la siguiente combinación, es decir, C_{II} y C_{III} . Los resultados se muestran en el acápite de los resultados. Una vez elegido la combinación de curvas, la precipitación efectiva característica para cada mes se determina mediante la siguiente fórmula:

$$PE = C_I * PE_I + C_{II} * PE_{II}$$

Donde:

C_I y C_{II} : coeficientes ponderados para las curvas I y II

PE_I y PE_{II} : precipitación efectiva calculada mediante las curvas I y II, mm

P : precipitación total mensual, mm/mes

Retención de la cuenca

Asumiendo que durante el año promedio existe un equilibrio entre el gasto y el abastecimiento de la reserva hídrica de la cuenca y, si el caudal es igual a la precipitación efectiva anual; entonces la retención de la cuenca se calcula mediante las siguientes fórmulas (Inoue, 2018):

Donde:

CM_i : caudal mensual, mm/mes

PE_i : precipitación efectiva mensual, mm/mes

R_i : retención de la cuenca, mm/mes

G_i : gasto de la retención, mm/mes

A_i : de la retención, mm/mes

R_j : G_i para valores mayores que cero, mm/mes

R_j : A_i para valores menores que cero, mm/mes

$$R_i = CM_i - P_i$$

$$CM_i = PE_i + G_i - A_i$$

Relación entre las descargas y la retención

En la estación seca, el agua retenida en la cuenca alimenta a los ríos, agotándose al final de la temporada; durante esta estación la descarga se puede calcular en base a la siguiente fórmula (Inoue,2018):

$$Q_t = Q_0 e^{-a(t)}$$

Donde:

Q_t : descarga en el tiempo t

Q_0 : descarga inicial

a : coeficiente de agotamiento

t : tiempo

Coefficiente de agotamiento

El coeficiente de agotamiento “a” tiene una relación logarítmica con el área, la cual se clasifica para 4 tipos de cuencas y se determina con la siguiente fórmula (Terán, 2014):

$$a = f(\ln AR)$$

$$a = 3,1249E67(AR)^{-0,1144}(EP)^{-19,336}(T)^{-3,369}(R)^{-1,429}$$

$$r = 0,86$$

a. *Cuencas con agotamiento muy rápido*, temperaturas elevadas (>10°C) y la retención que

va reducida (50 mm/año) a mediana (80 mm/año): $a = -0,00252(\ln AR) + 0,034$

b. *Cuencas con agotamiento rápido*, retención entre 50 y 80 mm/año y vegetación poco desarrollada (puna): $a = -0,00252(\ln AR) + 0,030$

c. *Cuencas con agotamiento mediano*, retención mediana (80 mm/año) y vegetación mezclada (pastos, bosques y terrenos cultivados): $a = -0,00252(\ln AR) + 0,026$

d. *Cuencas con agotamiento reducido*, debido a la alta retención (> 100 mm/año) y vegetación mezclada: $a = -0,00252(\ln AR) + 0,023$

Donde:

a : coeficiente de agotamiento por día

AR : área de la cuenca, km^2

ETP : evapotranspiración potencial anual, mm/año

T : duración de la temporada seca, días

R : retención total de la cuenca, mm/año

Almacenamiento hídrico

Terán (2014), existen 3 tipos de almacenes naturales que inciden en la retención de la cuenca: lagunas y pantanos, acuíferos y nevados. La determinación de la lámina “L” que almacena cada tipo de estos almacenes naturales se determina por:

Lagunas y Pantanos:

$$L_L = 500 \text{ (mm/año)}$$

Donde:

L_L : lámina específica de lagunas y pantanos

Acuíferos:

$$L_A = -750(I) + 315 \text{ (mm/año)}$$

Donde:

L_A : lámina específica de acuíferos

I : pendiente de desagüe: $I \leq 15 \%$

Nevados:

$$L_N = 500 \text{ (mm/año)}$$

Donde:

L_N : lámina específica de nevados

Abastecimiento de la retención

De acuerdo con Terán (2014), si las cuencas hidrográficas provienen de la misma región climática, el abastecimiento durante la estación lluviosa es uniforme. Los coeficientes mensuales en porcentaje del almacenamiento total anual se muestran en la Tabla 11.

Tabla 11*Almacenamiento hídrico durante la época de lluvias (%)*

Región	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	Total
Cusco	0	5	35	40	20	0	100
Huancavelica	10	0	35	30	20	5	100
Junín	10	0	25	30	30	5	100
Cajamarca	25	-5	0	20	25	35	100

Nota. Elaboración propia a partir del Plan MERISS II (1980). Generación de caudales mensuales en la sierra peruana MERISS II. <https://www.studocu.com/pe/document/universidad-nacional-agraria-la-molina/hidrologia/pdf-generacion-de-caudales-mensuales-en-la-sierra-peruana-meriss-ii-ok/19049024>

La lámina de agua A_i que entra en la reserva de la cuenca, se muestra en forma de déficit mensual de la precipitación efectiva PE_i y se calcula mediante la siguiente fórmula (Terán, 2014):

$$A_i = a_i \left(\frac{R}{100} \right)$$

Donde:

A_i : abastecimiento mensual déficit de la precipitación efectiva, mm/mes

a_i : coeficiente de abastecimiento, %

R : retención de la unidad hidrográfica, mm/año

Determinación del caudal mensual para el año promedio

Establecido en base a la fórmula del balance hídrico mensual a partir de los componentes mencionados anteriormente (Terán, 2014):

$$CM_i = PE_i + G_i - A_i$$

Donde:

CM_i : caudal del mes i , mm/mes

PE_i : precipitación efectiva del mes i , mm/mes

G_i : gasto de la retención del mes i , mm/mes

A_i : abastecimiento del mes i , mm/mes

En la Tabla 17, se presentan los datos de precipitación correspondientes a la subcuenca Gera, la data fue obtenida de la Central Gera II, una planta generadora de electricidad para el Alto Mayo, quienes realizan las mediciones mensuales del caudal.

Generación de caudales para un período extendido

Inoue (2018), indica que, para la generación de caudales sintéticos extendidos, se desarrolla el proceso estocástico del método, que consiste en una combinación markoviana de primer orden y la variable, precipitación efectiva; para ello se utilizaron las siguientes fórmulas:

$$Q_t = f(Q_{t-1}) \qquad Q = g(PE_t)$$

Para obtener una mejor aproximación a la realidad se utiliza una variable aleatoria (Inoue,2018): $Z = z(S)(1 - r^2)^{0.5}$. La fórmula para caudales mensuales sería:

$$Q_t = B_0 + B_1(Q_{t-1}) + B_2(PE_t) + z(S)(1 - r^2)^{0.5}$$

Donde:

Q_t : caudal del mes t

Q_{t-1} : caudal del mes anterior

PE_t : precipitación efectiva del mes t

B_i : coeficiente de la regresión múltiple

S : error estándar de la regresión múltiple

r : coeficiente de correlación múltiple

z : número aleatorio normalmente distribuido con media 0 y varianza 1 del año t.

Referente al valor Q_{t-1} puede considerarse el caudal promedio del mes, el caudal aforado del mes o en todo caso iniciar con 0. Referente a la precipitación efectiva para cada mes, su cálculo es similar al cálculo del valor promedio, considerando los mismos valores de ponderación, utilizando las ecuaciones de las curvas y multiplicarlo por su coeficiente de ponderación y no hay necesidad de identificar curvas para cada año.

1.2.10. Calibración de modelos hidrológicos

Es un proceso estadístico que se realiza con la finalidad de determinar la fiabilidad y ajuste de los resultados de la data generada por el modelo de Lutz Scholz sobre la base de la data observada. Durante este proceso el modelo matemático se ve obligado a cambiar su funcionamiento, asegurando que los datos existentes de los parámetros y variables, sean cualitativa y cuantitativamente compatibles (Terán, 2014).

1.2.11. Validación de modelos hidrológicos

Denominamos así al proceso que permite la validación de datos, mediante la capacidad predictiva, demostrando los errores o límites aceptables. Este proceso, permite comprobar el funcionamiento adecuado del modelo. Para la evaluación de ajuste del modelo propuesto, conocido también como prueba de bondad, para este estudio se utilizará el coeficiente de eficiencia de Nash Sutcliffe y el coeficiente estadístico de correlación (Terán, 2014).

CAPÍTULO II: MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Diseño de la investigación

La presente investigación es de tipo básica exploratoria con un enfoque cuantitativo porque se evaluó la eficiencia de un modelo hidrológico para la obtención del caudal en una zona donde no existe antecedentes de su aplicación (Hernández *et al.*, 2014). El estudio tuvo un diseño no experimental, debido a que se realizó el análisis de la data hidrometeorológica recopilada de SENAMHI, la Central Hidroeléctrica Gera y se procesó la cartográfica digital obtenida del Gobierno Regional San Martín y el Instituto Geográfico Nacional (IGN).

2.2. Lugar y fecha

Políticamente, la unidad hidrográfica del río Gera se ubica en el distrito de Jepelacio, provincia de Moyobamba del departamento San Martín (Figura 6). Hidrográficamente, el río Gera desemboca en la cuenca del río Mayo. Administrativamente, el río Gera se encuentra dentro de la jurisdicción de la Autoridad Local del Agua - ALA Alto Mayo ubicada en la ciudad de Rioja. La presente investigación fue ejecutada entre los meses de agosto del 2021 a junio del 2022, cuya área de estudio abarca un área de 204.07 km² desde la parte alta de la unidad hidrográfica del río Gera, la cual se encuentra ubicada geográficamente entre las coordenadas: al extremo norte 28282875.25 E, 9327041.43 N y al extremo sur 297780.53 E, 9302302.26 N, tal como se visualiza en la Figura 6.

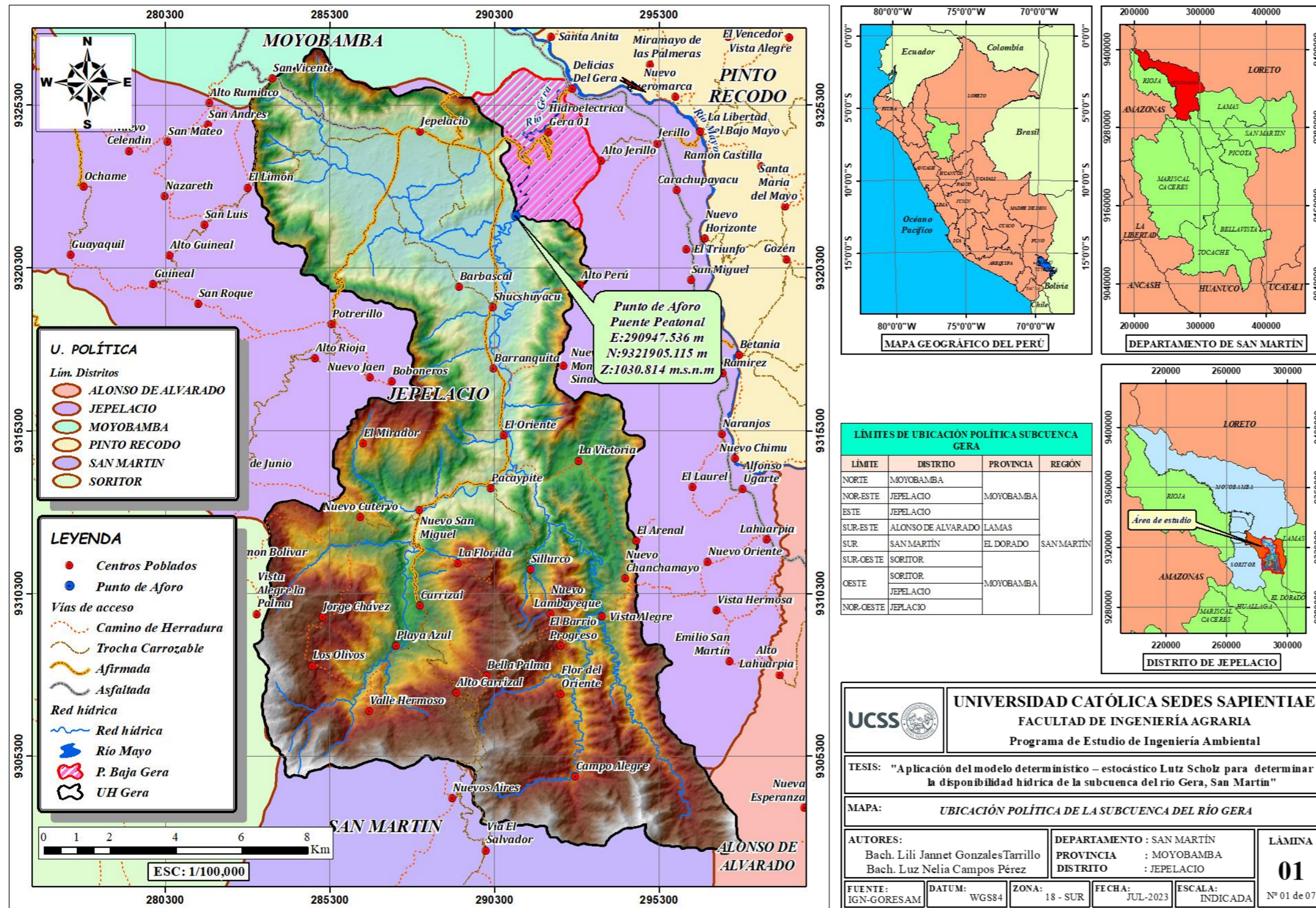
Tabla 12

Ubicación geográfica del área de estudio

Ubicación geográfica del área de estudio		
Coordenadas UTM WGS84	Este	Norte
Punto más extremo al norte de la unidad hidrográfica	282875.25	9327041.43
Punto más extremo sur de la unidad hidrográfica	297780.53	9302302.26

Figura 6

Mapa de ubicación y localización del área de estudio



Nota. Elaboración propia a partir de la cartografía digital obtenida del Instituto Geográfico Nacional y el Gobierno Regional San Martín, solicitado con fines de investigación para la subcuenca del río Gera.

2.3. Caracterización de la zona de estudio

El río Gera es uno de los principales tributarios de la unidad hidrográfica del río Mayo en la margen derecha, cruza varios centros poblados del distrito de Japelacio, entre ellos: Carrizal, Nuevo San Miguel, Pacaypite, Shucshuyacu y Brisas del Gera.

Clima. La zona de estudio se aproxima una precipitación promedio anual entre 1891,7 mm/año máximo y 502,5 mm/año mínimo aproximadamente para el periodo de registro 1965-2020. Los meses de octubre a diciembre, inclusive hasta marzo, se considera la época húmeda; y los meses entre abril y agosto el periodo seco. Asimismo, la zona de estudio se caracteriza por ser de tierras aluviales, en temporadas de lluvia las riberas de los ríos se exponen a desbordes continuos; suceso ocasionado por la continua y excesiva actividad antrópica que ha dejado a la unidad hidrográfica deforestada casi en su totalidad (Díaz 2020)

Ecología. La subcuenca del río Gera, se extiende desde la Cordillera Oriental de los Andes aproximadamente desde los 2050 m s.n.m. hasta los 810 m s.n.m., punto más bajo (punto de aforo) en el río Mayo; cuenta con un área de 214,58 km² y un perímetro de 87.88 km. Cabe resaltar que, para la presente investigación se ha tomado como zona de estudio la parte media y alta de la unidad hidrográfica en mención cuya área es de 204,07 km². En la zona de estudio se encuentran tres tipos de zonas de vida: bosque húmedo premontano tropical con aprox. 70,7 %, bosque muy húmedo premontano tropical con aprox. 28,43 % y bosque muy húmedo montano bajo tropical con aprox. 0,85 % del área total de estudio.

Actividades económicas. El recurso hídrico del río Gera es aprovechado para la agricultura, ganadería y generación de energía a través de la Central Hidroeléctrica Gera que cobertura a la ciudad de Moyobamba, Rioja, y Tarapoto, (Autoridad Administrativa del Agua- Huallaga [AAA], 2018). Por otro lado, se han identificado 182 títulos de propiedad pertenecientes a una Zona de Conservación y Recuperación Ecológica (ZoCRE) cuyo administrador es el Gobierno Regional San Martín. Existen 28 centros poblados asentados en esa zona y 20 de ellos se sitúan a en la zona alta de la ZoCRE. Por lo que, la biodiversidad se ve altamente afectada y, pese a

los esfuerzos por la recuperación de los ecosistemas, realizados por el mismo gobierno regional y otras entidades públicas, privadas y Organizaciones No Gubernamentales (ONGs), no se ha conseguido restaurar la cobertura vegetal, la fauna ni la diversidad de flora silvestre que hace décadas atrás existió (Díaz, 2020)

2.3. Materiales y equipos

Materiales

Entre los materiales, equipos, softwares y plataformas utilizados fueron:

Equipos de cómputo

- Laptop HP Core i7 procesador 64 bit
- Disco duro de 1 Terabyte
- Cámara fotográfica

Softwares y plataformas

- Software QGIS LTR 3.28
- Software ArcGIS 10.5
- Software RStudio 3.6.2
- Software Microsoft Word
- Software Microsoft Excel 2019
- Plataforma Google Earth Pro

2.4. Población y muestra

Población

Corresponde al área total de la unidad hidrográfica del río Gera, conformada por la zona alta, media y baja, la cual tienen un área a aproximada de 214,58 km² y un perímetro de 87,88 km (Díaz, 2020).

Muestra

Es el área que abarca desde la cabecera de la unidad hidrográfica hasta el puente peatonal ubicado en las aguas sulfurosas del distrito de Jepelacio; es decir, corresponde a la zona media y alta del río Gera, cuya área es de 204,07 km² y un perímetro 86,97 km.

2.5. Técnicas e instrumentos

La técnica de recolección de información fue de manera directa al gobierno regional San Martín. Se descargó de data cartográfica del Instituto Geográfico Nacional y recopiló información visual característica de la zona de estudio. Entre los instrumentos utilizados para esta investigación fueron:

- Modelo Digital de Elevación (DEM) de 30 de resolución espacial del satélite ALOS World 3D descargada de la plataforma de la Agencia Japonesa de Exploración Aeroespacial. (JAXA).
- Cartografía digital obtenida del gobierno regional San Martín y el Instituto Geográfico Nacional del Perú.
- Data histórica de la precipitación total por mes y temperatura a nivel mensual obtenida del SENAMHI, estación meteorológica ubicada en el distrito de Jepelacio.
- Registro de caudales aforados de la Central Hidroeléctrica Gera

2.6. Descripción de la investigación

2.6.1. Recopilación de datos e información

La recopilación de datos e información se realizó mediante la revisión bibliográfica, análisis visual y geoespacial.

Consulta y revisión bibliográfica

La revisión bibliográfica de información fue de manera física y virtual de investigaciones relacionadas al presente estudio. Las principales fuentes informativas fueron: repositorios universitarios, revistas académicas y científicas, libros e instituciones públicas y privadas.

Análisis visual del área de estudio

Reconocimiento del área a través de una visita a la zona de estudio, donde se identificaron las características de cobertura vegetal y tipos de cultivo existentes en el área; asimismo, se realizó el registro fotográfico de la zona de interés.

Análisis geoespacial con herramientas SIG

- Se utilizó un Modelo Digital de Elevación (MDE) fue obtenido del portal web de la Agencia Japonesa de Exploración Aeroespacial (JAXA) con una resolución espacial de 30 m del satélite “ALOS World 3D”.
- Se utilizó la información de cartografía digital en formato shapefile sobre los límites departamentales, provinciales y distritales se descargaron del geoservidor del Instituto Geográfico Nacional.
- Se analizó la información cartográfica digital concerniente al uso y tipo de suelos, se obtuvo de la Zonificación Ecológica y Económica - San Martín.
- Se realizó el análisis de la información meteorológica correspondiente a los registros históricos de la precipitación total mensual (ver Apéndice 2), temperaturas máxima promedio mensual y temperaturas mínimas promedio mensual (ver Apéndices 3 y 4) fue adquirido de la estación meteorológica ubicada en el distrito de Japelacio del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI).
- Se realizó el análisis de la información hidrológica correspondiente a los registros de caudales mensuales periodo 1994-2020 (historial de registro máximo) fue obtenida de la Central Hidroeléctrica Gera (ver Apéndice 5).

2.6.2. Procesamiento y análisis de datos de la información cartográfica

Para el proceso de delimitación, cálculo y obtención de parámetros geomorfológicos de la unidad hidrográfica se utilizó información de cartografía digital del gobierno regional San

Martin y con apoyo del software ArcGIS, se definieron los mapas correspondientes.

Delimitación de la subcuenca del río Gera

La delimitación del área de estudio se realizó con el apoyo de las herramientas del SIG como es el ArcGIS a partir de la cartografía digital de la Zonificación Ecológica y Económica - San Martín. Posterior a ello, la red hídrica de la unidad hidrográfica fue corregida y verificada en la plataforma del Google Earth y, posteriormente con el software ArcGIS se elaboraron los mapas con su respectiva red hídrica (Ver Apéndice 20) Además, se hizo uso de un Modelo Digital de Elevación (MDE) del satélite ALOS WORLD 3D de 30 metros de resolución espacial, la cual permitió el cálculo de los parámetros geomorfológicos y analizar los elementos del área de estudio.

Cálculo de parámetros geométricos

Estos parámetros, fueron determinados a partir de la delimitación de la unidad hidrográfica del río Gera y el procesamiento de información cartográfica, haciendo uso del software ArcGIS versión 10.8. En esta fase se consideró los parámetros de área y perímetro, cuyo resultado se muestra en la Tabla 71.

Cálculo de parámetros de forma

La determinación de estos parámetros se realizó en base a las fórmulas que se detallan en el marco teórico, tales como: factor de forma, índice de Gravelius y longitud de cauce principal, sus resultados se visualizan en la Tabla 71.

Cálculo de parámetros de relieve

Los parámetros de relieve de la unidad hidrográfica del río Gera, se determinaron con las fórmulas descritas en el capítulo anterior; estos son: pendiente media de la unidad hidrográfica, índice de pendiente, curva de frecuencia de altitudes y curva hipsométrica, cuyos resultados se muestran en el capítulo de resultados.

Curva hipsométrica. Para el cálculo de la curva hipsométrica y la frecuencia de altitudes se extrajeron las áreas parciales y las altitudes a partir del Modelo Digital de Elevación- MDE, a fin de conocer la edad y la altitud más frecuente de la unidad hidrográfica del río Gera, la cual se trabajó a una escala de curvas cada 100 metros, tal como se muestra en la Tabla 13. En las Figuras 16 y 17, se muestran las gráficas de la curva hipsométrica y de frecuencia de altitudes.

Tabla 13

Áreas parciales para la obtención de la curva hipsométrica y frecuencia de altitudes

Altitud (m s.n.m.) (1)	Áreas parciales (km ²) (2)	Áreas acumuladas (km ²) (3)	Áreas de sobre las altitudes (km ²) (4)	Porcentaje del total (5)	Porcentaje del total que queda sobre la altitud (6)
1028	0,000	0	204,065	0,00	100
1100	33,028	33,028	171,037	16,185	83,815
1200	20,037	53,065	151,000	9,819	73,996
1300	23,971	77,036	127,029	11,747	62,249
1400	27,761	104,798	99,268	13,604	48,645
1500	27,510	132,308	71,758	13,481	35,164
1600	26,051	158,358	45,707	12,766	22,398
1700	20,397	178,756	25,310	9,995	12,403
1800	14,780	193,535	10,530	7,243	5,160
1900	7,402	200,937	3,128	3,627	1,533
2000	2,372	203,309	0,756	1,162	0,371
2100	0,718	204,028	0,038	0,352	0,018
2149	0,038	204,065	0,000	0,018	0,000
	204,065			100,00	

Nota. Elaboración propia generada a partir de la cartografía digital de la Zonificación Ecológica y Económica-ZEE, del Gobierno Regional San Martín.

Pendiente media de la cuenca

Pendiente media de la cuenca (Criterio del rectángulo equivalente). Este valor se obtuvo a partir de la diferencia de altitud de la unidad hidrográfica del río Gera menos la longitud del lado mayor del rectángulo equivalente a “L”.

Pendiente media de la cuenca (Criterio Topográfico). Este valor se generó a partir de diferencia de cotas de altitud en la vertical entre dos puntos. Para ello, se calculó la pendiente en porcentaje haciendo uso de la fórmula que se describe en las bases teóricas (ver Apéndice 21).

Pendiente media de la cuenca (Criterio Alvord). Para determinar la pendiente media por el criterio de Alvord se generó curvas de nivel equidistantes de cada 200 m, siendo este valor diferente en los extremos y haciendo uso de la fórmula que se describe en las bases teóricas.

Cálculo de parámetros de la red de drenaje

Los parámetros de red de drenaje de la unidad hidrográfica del río Gera, se calcularon con las fórmulas descritas en el marco teórico a partir de la clasificación de corrientes en la red de drenajes, número de orden de la cuenca, densidad de drenaje, relación de bifurcación, longitud del cauce principal y pendiente media del cauce principal.

2.6.3. Tratamiento de información hidrometeorológica

Análisis de consistencia de datos hidrometeorológicos. Para garantizar que los datos meteorológicos obtenidos del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología- SENAMHI fuesen consistentes, se realizó el tratamiento de información que consistió en: análisis de saltos, el análisis de tendencia y la completación y extensión de datos, ya que la data histórica de precipitación presentó a cinco años alternos con data inconsistente y la temperatura con dos años durante toda la serie (2010-2020)

Análisis de saltos

Identificación de saltos. Para este proceso, con la data de precipitación y temperatura obtenida del SENAMHI, se realizó la identificación de posibles saltos de datos, teniendo en cuenta la diferencia entre años anteriores y posteriores. En este estudio, la data no correlacionaba en cinco años alternos en la serie histórica 1965-2020; identificándose así, como posibles saltos en los años: 1967,1970, 1971, 1972, 1973, 1974, 1975, 1977, 1982, 1985, 1986, 1987, 1988, 1993 y

2020. Para corroborar la presencia de saltos en los años identificados, se realizó el análisis gráfico, análisis de doble masa y análisis estadístico que se muestra en las Figuras 13, 14 y 15 del acápite 2.8 de análisis estadístico.

Cuantificación de saltos. Luego de realizar el análisis estadístico, se obtuvo que solo cinco años de la serie histórica total, requieren corrección, siendo estos años: 1985, 1986, 1987, 1988 y 2020 los cuales se muestran en las Tablas 54, 55, 56, 57 y 58 del acápite 2.8.

Corrección de saltos. Posterior a ello, se procedió a realizar la corrección de datos, utilizando la fórmula de cálculo que se describe en el acápite 2.8 de análisis estadístico. Asimismo, se volvió a realizar la prueba de t-Student y Fisher a los cinco años que requerían ser corregidos. Al culminar el cálculo, se verificó que la data de los 5 años corregidos demuestre confiabilidad. Los resultados de la data corregida se muestran en las Tablas 59, 60, 61, 62 y 63 del acápite 2.8 de análisis estadístico.

Análisis de tendencias

Para este análisis, se procesó y analizó la data de precipitación de la estación de Jepelacio por mes, durante el periodo de estudio (1965-2020) obteniendo un total de 672 meses. El análisis se realizó para la varianza y la media. Las fórmulas, procedimiento y resultados obtenidos se muestran en las Tablas 64 y 65 del acápite 2.8 del análisis estadístico.

Análisis de tendencia en el promedio. Para este proceso, primero se calcularon los siguientes parámetros: promedio del total de meses y del total de precipitación (1965-2020), desviación estándar para el total de meses y precipitación total. Posterior a ello, se realizó la prueba de t-Student mediante la siguiente fórmula (Villón, 2019).

Donde:

$$t_c = \frac{R\sqrt{n-2}}{\sqrt{1-R^2}}$$

t_c : Valor del estadístico t calculado

R : coeficiente de correlación

N : Número total de datos

Evaluando la fórmula anterior (T_c), se obtuvo un valor de 0,8920 y analizándolo mediante el apoyo de tablas (T_t), se obtuvo un valor de 1,9600. Por lo tanto, aplicando el criterio de t-Student, " $T_c < T_t$ ", la media no presenta tendencia, y por ende los datos son consistentes y confiables. Mayor detalle del procedimiento ver en el acápite 2.8. de análisis estadístico.

Análisis de tendencia para en la desviación estándar. Para este proceso, se calculó el promedio de la desviación estándar de cada año y de la totalidad de años de todo el periodo (1965-2020). Posterior a ello, se calculó la desviación estándar de la totalidad de años y de la desviación estándar anual. Luego se realizó la prueba de t-Student aplicando la misma fórmula anteriormente descrita, cuyos resultados fueron: T-calculado 1,3925 y T-tabular 2,0049, la cual cumple con el criterio de t-Student " $T_c < T_t$ ", por lo tanto, la varianza tampoco presenta tendencia, por ello, los datos son consistentes y garantizan confiabilidad. Para mayor detalle se puede revisar el acápite 2.8 de análisis estadístico.

Completación y extensión de datos hidrometeorológicos

Teniendo en cuenta que el año 2020 presentó datos faltantes en su data, se procedió a realizar la completación de datos mediante el método estadístico de regresión lineal simple y, posterior a ello se volvió a realizar la prueba de t-Student y Fisher, cuyo resultado, al igual que años analizados anteriormente, no requería corrección; por ende, su data ya era consistente y garantizaba veracidad. En las Tabla 66, 67, 68, 69 y 70 del acápite 2.8 de análisis estadístico se muestran el cálculo para la completación de la data. El mismo procedimiento se realizó con la data de temperatura (2010-2020).

2.6.4. Suelos

Usos de suelo en la subcuenca del río Gera

Para este proceso, se utilizó la cartografía digital de la Zonificación Ecológica y Económica San Martín-ZEE, del Gobierno Regional San Martín, la cual, se procesó con el software ArcGIS (ver Apéndice 24) cuyos resultados se muestra en las Tablas 14 y 15.

Tabla 14*Coberturas de superficie en la subcuenca del río Gera*

Cobertura	Área en (km²)	%
Agricultura	48,206	23,62
Áreas artificiales	2,177	1,07
Bosque	80,516	39,46
Cuerpos de agua	1,772	0,87
Pastizal y vegetación secundaria	71,395	34,99
Total	204,065	100,00

Nota. Elaboración propia a partir de la cartografía digital de la ZEE, Gobierno Regional San Martín

Tabla 15*Usos de suelo en la subcuenca del río Gera*

Uso de suelo	Área (km²)	%
Frente productivo de predominio cafetalero	47,402	23,23
Frente productivo de predominio de agricultura diversificada	30,718	15,05
Frente productivo de predominio ganadero	36,264	17,77
Sin uso productivo	89,682	43,95
Total	204,065	100,00

Nota. Elaboración propia a partir de la cartografía digital de la ZEE, Gobierno Regional San Martín

Tipos de suelo

A partir de la información cartográfica digital brindada por el Gobierno Regional San Martín se calcularon las áreas e identificaron los tipos de suelo se procesó la información con apoyo de la herramienta ArcGIS y se calcularon los tipos de suelos que presenta la subcuenca del río Gera (ver Apéndice 22). De los resultados, se obtuvo la presencia de suelo arenoso limoso que representa el 86,78 % y limoso arcilloso que representa el 13,22 % del área total de estudio, cuyos resultados se pueden visualizar en la Tabla 16.

Tabla 16*Texturas de suelo en la subcuenca del río Gera*

Tipo de suelo	Área (km²)	%
Arenoso limoso	177,082	86,78
Limoso arcilloso	26,983	13,22
Total	204,065	100,00

Nota. Elaboración propia a partir de la cartografía digital de la ZEE, Gobierno Regional San Martín.

Identificación de las zonas de vida, en la subcuenca del río Gera, según Holdridge

Se clasificó las zonas de vida tomando los criterios de precipitación y temperatura, establecidos en el libro de Holdridge; en la cual, se determinaron 3 zonas: bosque húmedo - Premontano Tropical (bh-PT), bosque muy húmedo Montano Bajo Tropical (bmh-MBT) y bosque muy húmedo - Premontano Tropical (bmh-PT) (ver Apéndice 23). A continuación, en la Tabla 17 se muestran los siguientes resultados (Holdridge, 1982):

Tabla 17*Zonas de vida para la determinación del coeficiente de escorrentía de la subcuenca Gera*

Descripción	Símbolo	CE medio	Área (km²)	Producto
Bosque húmedo Premontano Tropical	bh-PT	0,45	144,315	64,942
Bosque muy húmedo Montano Bajo Tropical	bmh-MBT	0,68	1,743	1,185
Bosque muy húmedo Premontano Tropical	bmh-PT	0,68	58,008	39,445
Suma			204,065	105,57

Nota. Adaptado de Holdridge (1982). Ecología basada en zonas de vida.

2.6.5. Aplicación del modelo determinístico y estocástico Lutz Scholz

Para la aplicación del modelo, fue necesario realizar el análisis de consistencia y completación de datos meteorológicos a la data base de entrada del modelo, como son: precipitación y temperatura, lo cual se detalla en el acápite 2.8 de análisis estadístico. Posterior a ello, se

calcularon parámetros propios del modelo, tales como: coeficiente de escorrentía, precipitación efectiva, retención de la cuenca, almacenamiento de la retención, coeficiente de agotamiento, gasto de la retención, entre otros, que son fundamentales para el cálculo de caudales para el año promedio y para el periodo extendido. Del mismo modo, a efectos de verificar y realizar las comparaciones de los caudales generados y en adelante la calibración de estos, en la Tabla 18 se muestran los caudales observados en m^3/s desde el año 1994 hasta el 2020, data obtenida de la Central Hidroeléctrica Gera. Posteriormente, se calcularon los caudales para el año promedio en la subcuenca del río Gera, utilizando la data consistente de precipitación, temperatura y evapotranspiración, como se visualiza en las Tablas 19, 20 y 21. Luego, se generaron los caudales para el periodo extendido sobre la base del caudal para el año promedio; finalmente, se calibraron los caudales generados con los observados y se validó utilizando el criterio estadístico de Nash Sutcliffe.

Tabla 18*Caudales observados en m³/s para la subcuenca del río Gera (1994-2020)*

Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
1994	2,1	20,3	10,4	7,4	2,8	1,8	1,2	1,3	1,1	19,1	3,6	9,2
1995	2,5	1,8	13,6	3,2	3,2	2,3	1,2	1,0	1,9	2,4	8,5	3,6
1996	2,1	20,3	10,4	7,4	2,8	1,8	1,2	1,3	1,1	19,1	3,6	9,2
1997	2,5	27,1	6,9	4,9	4,4	1,9	1,1	1,3	5,7	3,1	3,6	2,8
1998	3,6	21,4	4,5	23,5	7,0	2,3	1,2	1,0	2,4	3,8	6,4	7,6
1999	12,9	31,7	5,9	5,7	17,5	6,0	2,9	2,3	2,1	4,6	9,4	4,8
2000	5,0	7,7	7,8	15,8	6,0	5,0	3,9	7,7	3,7	2,7	1,9	7,1
2001	2,7	3,2	44,8	17,3	10,4	3,7	3,1	1,5	3,8	5,8	10,2	18,0
2002	3,6	7,8	4,3	9,6	20,1	3,4	3,7	1,4	1,7	3,8	4,2	2,4
2003	2,7	7,4	10,3	3,6	12,4	5,6	2,2	2,8	4,8	22,1	5,0	21,5
2004	3,3	1,7	4,1	7,5	15,3	3,4	2,2	1,7	2,9	4,3	10,2	5,5
2005	5,3	3,3	4,6	8,6	5,1	2,2	1,5	1,1	1,0	4,5	15,3	5,0
2006	5,8	7,9	23,7	6,0	1,9	1,9	2,1	1,6	2,0	4,4	6,4	5,8
2007	9,3	2,3	7,9	15,5	5,3	1,9	1,7	1,5	8,7	15,8	19,9	5,2
2008	4,6	12,4	32,3	22,6	8,2	3,1	2,1	2,0	3,0	8,2	7,7	7,7
2009	5,4	10,8	12,5	9,2	7,0	3,0	2,0	1,8	2,6	6,7	6,8	6,9
2010	1,3	1,5	9,0	3,1	7,2	3,1	2,1	1,8	2,8	7,0	7,0	7,3
2011	5,3	10,5	12,4	9,0	7,0	3,0	2,0	1,8	2,6	6,8	6,8	7,0
2012	9,3	7,8	12,1	12,6	6,4	2,7	1,4	1,2	1,3	3,8	1,8	2,5
2013	3,5	3,1	31,2	4,0	3,1	1,9	1,9	1,4	1,7	2,5	4,8	2,1
2014	6,6	9,5	13,8	7,0	4,9	3,3	1,5	1,6	2,0	7,6	8,8	8,2
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	7,6	10,0	4,8	3,8	1,7	1,9	1,2	3,7	4,2	5,3	5,7
Máx	12,9	31,7	44,8	23,5	20,1	6,0	3,9	7,7	8,7	22,1	19,9	21,5
Prom.	5,3	10,5	12,4	9,0	7,0	3,0	2,0	1,8	2,6	6,8	6,8	7,0
Min	1,3	1,5	4,1	2,7	1,9	1,7	1,1	1,0	1,0	2,4	1,8	2,1
Std	3,0	8,1	9,7	5,6	4,5	1,3	0,8	1,3	1,7	5,5	4,0	4,3

Nota. Elaboración propia a partir de la data hidrológica de la Central Hidroeléctrica Gera.

Precipitación

Pese a la consistencia de la data de precipitación registrada en la estación meteorológica de Jepelacio y; considerando que la ubicación de esta estación, no es muy favorable para los fines correspondientes en la parte media y alta (zona de estudio) de la subcuenca Gera; se procedió a regionalizar la precipitación utilizando la precipitación del grillado de Pisco, método propuesto por el SENAMHI. De esta manera, se obtuvo la data más cercana a la realidad en la zona de estudio, debido a que la estación se ubica en la parte media-baja de la subcuenca en mención. Los datos obtenidos se muestran en la Tabla 19 y la Figura 7.

Tabla 19

Precipitación mensual (mm) para la subcuenca del río Gera

Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Total
1965	158,0	92,5	200,7	208,8	58,0	112,3	109,7	101,2	194,8	157,3	302,4	159,3	1 854,8
1966	16,9	79,4	231,2	187,3	239,5	53,7	46,6	34,5	191,7	159,2	87,8	155,8	1483,5
1967	186,9	241,3	230,9	158,8	124,9	64,2	70,3	78,3	240,5	234,4	77,8	255,7	1 964,0
1968	114,0	212,2	156,4	204,2	88,7	95,6	95,6	123,7	252,1	233,9	118,6	119,2	1 814,2
1969	128,8	136,4	168,7	117,1	76,7	234,0	51,2	133,0	78,8	229,3	253,1	143,8	1 750,8
1970	176,5	106,1	292,0	345,6	88,7	166,6	114,6	70,6	148,5	260,7	451,0	141,7	2 362,6
1971	261,8	262,6	482,8	124,5	268,8	95,3	91,0	77,0	211,1	209,7	174,4	204,7	2 463,7
1972	311,0	120,6	544,7	252,7	107,1	138,4	104,7	155,5	216,6	168,8	128,0	102,2	2 350,3
1973	298,0	186,2	220,8	252,5	118,1	157,8	119,8	108,7	124,6	207,2	102,0	120,9	2 016,7
1974	250,1	163,2	394,6	267,5	143,1	299,0	70,5	102,0	123,5	144,6	119,0	313,2	2 390,2
1975	278,6	133,8	279,9	146,8	196,5	181,3	177,4	158,1	118,1	145,7	174,9	93,1	2 084,2
1976	220,5	70,3	276,8	135,4	74,4	164,8	84,3	122,3	108,9	178,3	149,8	165,3	1 750,9
1977	143,4	415,7	376,4	341,5	85,0	63,2	58,5	217,5	184,4	277,8	207,1	196,7	2 567,1
1978	128,2	85,6	133,8	145,1	89,9	13,4	143,0	80,4	194,2	256,3	149,3	135,8	1 554,8
1979	89,0	155,5	376,6	165,1	143,5	38,6	75,4	106,9	93,1	144,7	177,4	45,8	1 611,7
1980	341,4	119,4	276,0	136,1	44,8	143,4	30,6	77,0	62,4	81,8	69,0	46,6	1 428,4
1981	341,4	321,0	303,3	40,6	90,4	26,7	65,2	70,2	60,7	55,4	120,5	249,7	1 745,1
1982	109,8	73,2	201,5	111,9	65,9	138,1	36,1	17,1	28,1	370,3	428,5	406,6	1 986,9
1983	370,0	199,5	55,2	52,2	100,7	76,3	63,7	52,6	88,4	143,1	45,2	94,8	1 341,8
1984	238,1	260,3	303,5	201,0	110,2	117,9	55,4	84,3	73,5	159,5	257,0	40,0	1 900,4
1985	325,8	108,0	43,4	96,4	198,6	198,2	86,1	82,2	197,5	90,3	201,7	141,8	1 769,9
1986	165,9	206,0	210,8	124,6	262,5	143,6	91,6	268,3	104,9	7,0	85,8	107,5	1 778,7
1987	184,2	103,1	163,7	167,8	135,1	92,5	86,9	98,3	134,5	98,8	376,8	128,2	1 769,9
1988	230,6	296,2	138,5	185,4	144,7	84,7	74,7	88,1	86,4	85,4	88,1	267,2	1 769,9

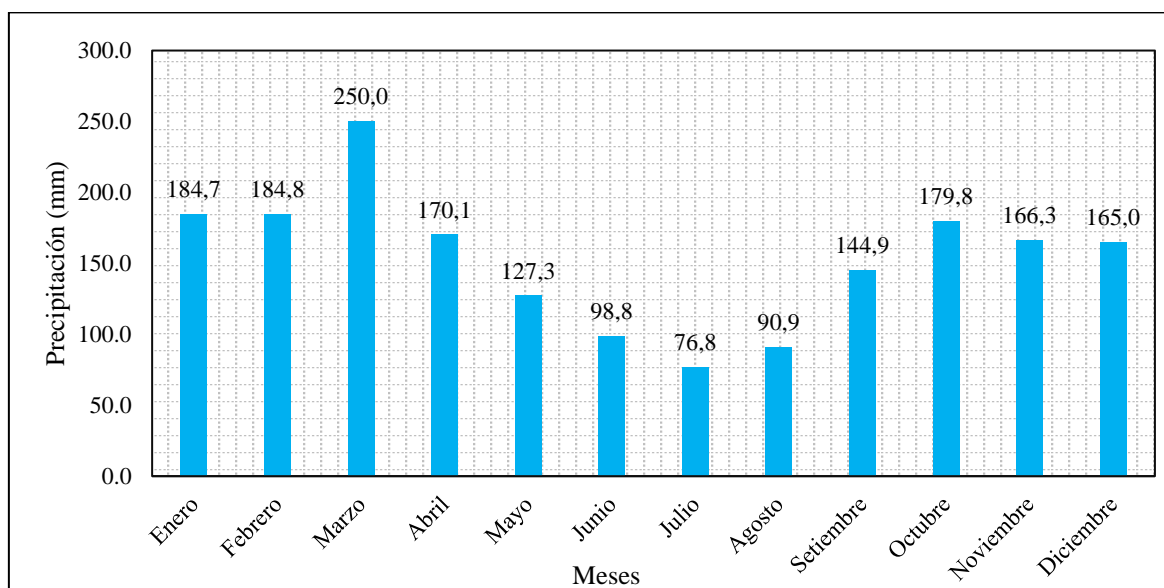
Continuación

1989	246,0	236,4	246,7	206,3	68,2	56,8	14,8	13,2	199,0	217,5	137,1	2,1	1 644,1
1990	286,4	121,1	343,2	105,4	10,5	19,5	20,3	37,9	231,6	200,2	154,9	2,3	1 533,3
1991	214,6	265,0	254,2	94,7	77,0	60,4	86,1	113,2	48,6	133,6	6,6	38,2	1 392,2
1992	31,5	145,1	252,5	22,0	14,5	43,2	45,5	137,1	189,6	221,9	188,7	189,4	1 481,1
1993	120,1	228,3	472,8	134,7	108,0	72,8	55,2	61,7	127,5	242,6	136,2	202,9	1 962,8
1994	127,4	188,3	200,3	281,6	102,6	87,4	114,2	38,9	153,2	139,7	272,7	213,3	1 919,7
1995	73,7	98,1	192,4	91,0	52,2	124,6	42,5	60,7	244,2	125,3	124,8	224,0	1 453,4
1996	150,4	163,7	330,7	243,0	76,6	66,9	14,3	82,7	136,7	293,7	87,0	191,2	1 837,0
1997	75,8	364,1	147,0	192,8	155,9	29,7	52,1	109,0	184,8	110,7	105,4	139,7	1 667,0
1998	152,4	153,7	201,9	279,9	147,9	28,7	29,4	109,0	139,9	232,7	80,4	155,6	1 711,4
1999	406,7	302,0	149,6	156,9	241,6	150,7	103,9	132,2	87,3	159,5	262,4	168,9	2 321,9
2000	209,4	202,9	185,6	206,8	94,0	103,9	102,9	159,8	171,9	69,8	66,2	168,8	1 742,1
2001	67,9	192,6	317,8	240,7	180,9	98,3	120,3	66,0	254,1	247,5	225,1	441,1	2 452,2
2002	178,7	167,7	171,4	198,7	235,7	26,0	125,7	98,7	63,7	135,1	136,4	99,4	1 637,2
2003	156,9	166,3	200,0	76,1	188,7	156,0	34,5	114,1	151,1	237,3	98,6	256,3	1 836,0
2004	31,3	115,4	176,2	221,8	142,3	76,4	135,7	56,0	114,0	206,0	151,3	161,1	1 587,6
2005	80,7	198,7	171,1	147,4	144,6	50,1	65,2	46,6	43,6	208,0	298,6	187,2	1 642,0
2006	181,3	164,9	221,1	119,3	60,6	77,4	70,6	83,2	162,3	156,7	99,8	175,8	1 572,9
2007	152,8	27,5	270,6	165,0	110,6	17,6	82,3	82,8	207,7	279,7	247,1	141,0	1 784,8
2008	134,1	264,4	308,5	178,2	102,0	157,6	58,6	65,0	174,5	111,2	159,7	157,1	1 870,9
2009	202,5	156,2	203,3	214,6	137,4	223,6	102,6	106,7	125,9	132,8	116,4	63,8	1 785,9
2010	64,3	211,0	91,2	149,3	125,5	44,4	121,6	31,3	94,6	239,9	170,1	106,4	1 449,5
2011	110,7	105,0	456,1	103,4	113,3	66,2	84,1	70,1	119,2	190,0	159,4	219,2	1 796,6
2012	201,7	210,9	303,3	214,9	134,7	98,3	33,3	29,0	209,8	245,6	109,5	195,4	1 986,5
2013	152,6	83,2	479,9	92,1	145,5	59,8	66,4	125,3	131,0	129,5	188,7	98,3	1 752,3
2014	180,9	197,7	312,4	219,7	70,8	97,5	67,7	83,2	94,8	276,0	392,8	313,1	2 306,8
2015	235,9	243,3	280,1	238,5	199,1	68,4	85,4	56,9	133,1	210,2	226,1	265,0	2 242,0
2016	72,7	230,4	196,0	160,2	116,8	58,5	19,8	35,0	158,2	195,1	63,6	180,6	1 486,9
2017	214,1	293,9	227,7	86,3	195,9	172,2	25,8	130,5	165,4	109,9	91,9	106,1	1 819,8
2018	251,6	138,8	213,1	129,3	159,9	32,0	50,8	93,1	145,2	147,4	145,1	178,0	1 684,5
2019	279,6	299,3	256,2	212,4	214,0	114,0	180,4	112,9	190,3	242,9	49,8	193,8	2 345,4
2020	227,5	262,9	105,1	176,1	143,5	96,5	87,9	41,9	146,0	120,2	215,0	167,6	1 790,5
Promedio	184,7	184,8	250,0	170,1	127,3	98,8	76,8	90,9	144,9	179,8	166,3	165,0	1 839,4

Nota. Elaboración propia a partir de la data otorgada por la estación meteorológica ubicada en el distrito de Jepelacio

Figura 7

Precipitación promedio mensual periodo 1965-2020 para la subcuenca del río Gera



Nota. Elaboración propia a partir de la data obtenida de la estación meteorológica ubicada en el distrito de Jepelacio.

Temperatura

En la Tabla 20 se presenta la data consistente de temperatura promedio mensual para el periodo 2010-2020; cuya corrección y completación de datos se muestra en el acápite 2.8 de análisis estadístico. Cabe precisar, que la data de temperatura fue brindada por la estación meteorológica de Jepelacio del SENAMHI.

Tabla 20

Temperatura promedio mensual máxima y mínima, subcuenca Gera, periodo 2010-2020

Promedios	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Promedio
Prom-Máx	27,2	26,9	27,1	27,3	27,2	26,8	27,1	28,0	28,1	28,0	28,3	27,3	27,4
Prom-Mín	17,4	17,6	17,7	17,2	17,2	16,4	15,6	15,9	16,0	17,0	17,4	17,5	16,9

Nota. Elaboración propia a partir de la data obtenida de la estación meteorológica de SENAMHI ubicada en el distrito de Jepelacio

Evapotranspiración potencial mensual para el área de estudio del río Gera

Para la determinación de la evapotranspiración se hizo uso de la data de humedad relativa, obtenida de la estación meteorológica del distrito Jepelacio periodo 2017-2020, tal como se observa en la Tabla 21. Posterior a ello, se calcularon los parámetros: factor de latitud, temperatura media mensual (°F), factor de humedad, humedad relativa media mensual (%) y el factor de corrección de la altitud, factores necesarios para el cálculo de la evapotranspiración potencial de acuerdo a la fórmula de Hargreaves que se muestra en las bases teóricas (Gárnica, 2015). En la Tabla 22, se presentan los valores de la evapotranspiración para la subcuenca del río Gera, cuyo proceso detallado se muestra en el acápite 2.8 del análisis estadístico.

Tabla 21

Humedad relativa para cálculo de la evapotranspiración potencial en la subcuenca Gera

Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
2017	88,56	86,32	87,12	86,37	87,83	87,11	88,62	88,50	89,52	90,68	91,57	91,96
2018	91,15	91,64	91,21	90,91	90,31	90,33	90,23	89,15	87,56	87,03	88,23	87,51
2019	87,12	89,66	88,63	89,26	89,00	89,03	88,48	88,53	89,28	91,44	90,00	90,34
2020	90,41	90,46	89,03	88,85	89,05	88,82	89,58	90,75	90,75	90,93	90,20	91,35
Prom	89,31	89,52	89,00	88,85	89,05	88,82	89,23	89,23	89,28	90,02	90,00	90,29
Mín	87,12	86,32	87,12	86,37	87,83	87,11	88,48	88,50	87,56	87,03	88,23	87,51
Máx	91,15	91,64	91,21	90,91	90,31	90,33	90,23	90,75	90,75	91,44	91,57	91,96

Nota. Elaboración propia a partir de la estación meteorológica de SENAMHI ubicada en el distrito de Jepelacio.

Tabla 22*Evapotranspiración potencial (mm/mes) para la subcuenca del río Gera*

Mes	DM	T	TMF	HR	CH	CE	MF	ETP
	días	°C	°F	%	factor.HR	factor. E	mm/mes	mm/mes
Enero	31	22,30	72,14	89,31	0,54	0,98	2,447	93,79
Febrero	28	22,29	72,12	89,52	0,54	0,98	2,205	83,65
Marzo	31	22,39	72,30	89,00	0,55	0,98	2,363	92,07
Abril	30	22,27	72,09	88,85	0,55	0,98	2,117	82,83
Mayo	31	22,21	71,97	89,05	0,55	0,98	1,980	76,64
Junio	30	21,58	70,84	88,82	0,55	0,98	1,820	70,04
Julio	31	21,35	70,42	89,23	0,54	0,98	1,976	74,22
Agosto	31	21,95	71,50	89,23	0,54	0,98	2,103	80,18
Setiembre	30	22,07	71,72	89,28	0,54	0,98	2,226	84,95
Octubre	31	22,49	72,48	90,02	0,52	0,98	2,422	90,12
Noviembre	30	22,85	73,14	90,00	0,52	0,98	2,371	89,11
Diciembre	31	22,37	72,26	90,29	0,52	0,98	2,442	89,35
Promedio	30,42	22,18	71,92	89,38	0,54	0,98	2,21	83,91
Total	365							1 006,96

Nota. Elaboración propia generada a partir de la información meteorológica de SENAMHI, donde el cálculo de la ETP en la zona de estudio, se realizó con el método de Hargreaves en base a la temperatura °C.

Coefficiente de escurrimiento

Para obtener el valor de este coeficiente se utilizaron cuatro metodologías, las cuales se muestran a continuación (ver Apéndice 25):

L. Turc. Haciendo uso de la fórmula descrita en las bases teóricas, utilizando la temperatura media anual (T) se calculó el coeficiente de temperatura (L) y apoyándose de los datos de temperatura media anual en °C y la precipitación total anual se calcula el déficit de escurrimiento. Posterior a ello, se aplicó la fórmula general para el coeficiente de escurrimiento cuyo resultado se visualiza en la Tabla 23:

Tabla 23

Coefficiente de escorrentía por el método de L. Turc

Método	Parámetro	Valor
Método de L. Turc	L	1399,63
	D	1134,85
	C	0,38

Nota. Elaboración propia generada a partir (Ibáñez, et al, 2011). Métodos para la determinación del coeficiente de escorrentía. <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/10781/Coefficiente%20de%20escorrent%C3%ADa.pdf>

Método de la Misión Alemana. Para este proceso se utilizó la fórmula descrita en las bases teóricas. Para ello, se utilizó la precipitación total anual en mm/año y la evapotranspiración anual en mm/año y luego se calculó el valor del coeficiente de escorrentía, cuyo resultado se observa en la Tabla 24.

Tabla 24

Coefficiente de escurrimiento por método de la Misión Alemana

Método	Parámetro	Valor
Misión Alemana	D	1 263,15
	C	0,31

Nota. Elaboración propia generada a partir (Pineda, 2015), método validado para la sierra peruana en 1980.

Método de la ONERN. El valor fue determinado de acuerdo con la distribución geográfica de las zonas de vida del territorio nacional, tal como se observa en la Tabla 25 (ver Apéndice 23).

Tabla 25*Coefficiente de escurrimiento por el método de la ONERN*

Descripción	Símbolo	CE medio	Área (km ²)	Producto
Bosque húmedo Premontano Tropical	bh-PT	0,45	144,315	64,942
Bosque muy húmedo Montano Bajo Tropical	bmh-MBT	0,68	1,743	1,185
bosque muy húmedo Premontano Tropical	bmh-PT	0,68	58,008	39,445
Suma			204,065	105,57
Coefficiente de Escorrentía				0,52
Factor de corrección				0,64
Coefficiente de escurrimiento establecido por ONERN			C	0,33

Nota. Elaboración propia a partir de la metodología de la ONERN (1976). Mapa Ecológico del Perú. <https://repositorio.ana.gob.pe/handle/20.500.12543/1052>

Cabe resaltar que, para el coeficiente de escorrentía por este método, se utilizó el factor de corrección establecida por la Autoridad Nacional del Agua para las cuencas hidrográficas de Perú, en este caso, el río Gera pertenece al río Mayo y este a su vez a la cuenca del Huallaga, cuyo valor establecido es de 0.64, como se muestra en la Tabla 25.

Método de Prevert. Este valor de (c) fue determinado teniendo en cuenta los parámetros descritos en la Tabla 8 que se muestra en las bases teóricas; la cual, considera la textura, pendiente y tipo de uso de suelos (ver Apéndice 21, 22 y 24). Los resultados de este procedimiento se muestran a continuación, en la Tabla 26.

Tabla 26*Coefficiente de escorrentía por el método de Prevert*

Método	Parámetro	Valor
Método de Prevert	C	0,38

Nota. Elaboración propia a partir de la cartografía digital de la ZEE, Gobierno Regional San Martín

A modo de resumen, en la Tabla 27 se presenta el cuadro de los datos utilizados y los

resultados obtenidos para el cálculo de los coeficientes de escurrimiento con los cuatro métodos mencionados.

Tabla 27

Coefficientes de escurrimiento calculado por diferentes métodos

Datos Iniciales		Valor
Altitud media (m s.n.m.)		3 617,075
Temperatura media anual (°C)		22,18
Precipitación total media anual (mm)		1839,41
Evapotranspiración total anual (mm)		1006,96
Resultados		Valor
Método de L. Turc	L	1 399,63
	D	1 134,85
	C	0,38
Misión Alemana	D	1 263,15
	C	0,31
Establecido por ONERN	C	0,33
Método de Prevert	C	0,38
Coeficiente de escorrentía elegido (C)		0,352

Nota. Elaboración propia a partir de la cartografía digital de la ZEE, Gobierno Regional San Martín

Precipitación efectiva

En base al modelo de Lutz Scholz, el cual trabaja con tres curvas basado en el modelo original de la UBSR y teniendo en cuenta las fórmulas descritas en las bases teóricas. En la presente investigación se trabajó con las curvas I y II, las cuales cumplen con los criterios necesarios para ser utilizados en el cálculo de la precipitación efectiva con sus respectivos coeficientes, los cuales se muestran en la Tabla 28.

Tabla 28*Precipitación efectiva para la subcuenca del río Gera*

Meses	Precipitación mm/mes	Curva I mm/mes	Curva II mm/mes	Curva III mm/mes	PE mm/mes
Enero	184,7	65,7	102,1	130,5	102,7
Febrero	184,8	65,9	102,2	130,6	102,8
Marzo	250,0	184,2	208,0	227,3	208,4
Abril	170,1	49,9	84,5	112,6	85,1
Mayo	127,3	19,1	43,6	67,3	44,1
Junio	98,8	8,4	24,8	43,5	25,2
Julio	76,8	3,8	14,3	28,6	14,6
Agosto	90,9	6,4	20,6	37,8	21,0
Setiembre	144,9	29,3	58,5	84,6	59,1
Octubre	179,8	60,1	96,0	124,3	96,6
Noviembre	166,3	46,3	80,2	108,0	80,8
Diciembre	165,0	45,0	78,7	106,5	79,3
Año	1 839,4	584,2	913,6	1 201,5	919,7
	C	0,15	0,30	0,45	

Nota. Elaboración propia a partir de la metodología establecida por la UBSR.

Retención de la cuenca

Para encontrar el valor de este parámetro en mm/año, primero se calculó el coeficiente de agotamiento y se tuvo en cuenta los almacenes naturales presentes en la subcuenca. Para ello se utilizó la fórmula que se describe en las bases teóricas, operación consiste en la diferencia del caudal mensual menos la precipitación efectiva, de esa manera se obtuvo un valor de 73,56 mm/año, tal como se muestra en la Tabla 29. Los almacenes naturales fueron: volumen de agua almacenada en lagunas, pantanos, bofedales, nevados y acuíferos de toda el área de estudio. Luego de procesar la data de lagunas, bofedales y nevados cuyos resultados fueron cero, se procedió a trabajar con el volumen de agua almacenada y la precipitación dentro de la cuenca. Con los resultados de los acuíferos y la precipitación total de la cuenca, se calculó la retención hídrica cuyos resultados se muestran en la Tabla 29 y 30.

Tabla 29*Cálculo de parámetros para la retención hídrica de la subcuenca del río Gera*

Descripción	Valor	Unidades
1. Precipitación media anual, (P)	1 839,4	mm
2. Temperatura media anual, (T)	22,2	°C
3. Pendiente del curso principal, (S)	3,1	%
4. Área de lagunas (Al)	0,00	km ²
5. Área de bofedales (Ab)	0,00	km ²
6. Área de nevados (Agl)	0,00	km ²
7. Área de la cuenca (A)	204,07	km ²
Resultados	Valor	Unidades
1. Coeficiente de esorrentía anual (C)	0,352	
2. Lámina anual de acuífero (La)	326,9	mm/año
3. Volumen de agua almacenada (Va)	15010549	m ³
4. Lámina retenida (R)	73,56	mm/año
5. Coeficiente de agotamiento (a)	0,0166	

Nota. Elaboración propia a partir de la cartografía digital de la ZEE, Gobierno Regional San Martín

Tabla 30*Retención de la subcuenca del río Gera*

Retención en la cuenca	Cantidad (mm/año)
Acuíferos	15 010,55
Lagunas y pantanos	0,00
Nevados	0,00
Total	73,56

Nota. Elaboración propia a partir de la cartografía digital obtenida del Gobierno Regional San Martín

Relación entre descargas y la retención

Para calcular la relación de estos parámetros, existe una fórmula propuesta y validada por Lutz Scholz para la sierra del Perú. Sin embargo, teniendo en cuenta la ubicación del área de estudio no es posible asumir esta fórmula para la presente investigación. La relación entre el gasto de la retención y el abastecimiento de la retención se determinó calculando el volumen retenido en los cuerpos de agua de la subcuenca.

Coefficiente de agotamiento

Está en función de las características del clima, geología y cobertura vegetal de la unidad hidrográfica y a su vez es dependiente del área de la cuenca en forma logarítmica. En el documento de Plan MERISS II, se ha planteado un juego de fórmulas para 4 clases de cuencas. En esta investigación, de acuerdo con el cálculo con las fórmulas planteadas en las bases teóricas se ajusta al coeficiente de agotamiento mediano con una retención mediana de 80 mm/año y de vegetación mezclada entre pastos, bosques y cultivos, cuyo coeficiente de agotamiento fue de 0,0166.

Almacenamiento hídrico

Siguiendo el criterio del experto Lutz Scholz, se afirma que hay tres tipos de almacenamientos naturales: Acuíferos, lagunas, pantanos y nevados. Para la unidad hidrográfica del río Gera se determinó el almacenamiento hídrico calculando la lámina “L” de acuíferos, según las fórmulas especificadas en el acápite de las bases teóricas, cuyos resultados se muestran en la Tabla 31.

Tabla 31

Almacenamiento hídrico de la subcuenca del río Gera

Almacenamiento hídrico	Cantidad (mm/año)
Acuíferos	326,9
Lagunas y pantanos	500,0
Nevados	500,0

Nota. Elaboración propia a partir de la cartografía digital obtenida del Gobierno Regional San Martín

Abastecimiento de la retención

Es el resultado de la precipitación efectiva del mes actual entre la sumatoria de precipitaciones de los meses correspondiente a la época lluviosa (de enero a marzo y de octubre a diciembre). Los resultados del presente parámetro se visualizan en la Tabla 32.

Generación de caudales para el año promedio

Los caudales generados para el año promedio de la subcuenca del río Gera, se calcularon mediante la fórmula descrita en las bases teóricas, cuyos resultados se detallan en la Tabla 32. Asimismo, en la Figura 8 se muestran los caudales simulados y observados y en la Figura 9 la correlación de ambas datas obtenidas.

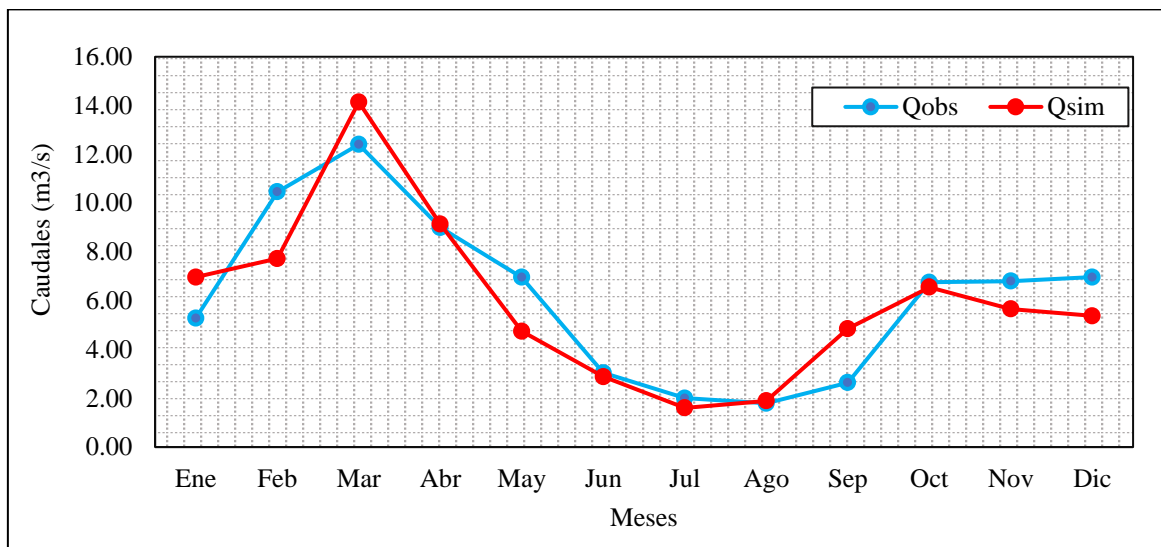
Tabla 32*Caudales mensuales para el año promedio generado con el método de Lutz Scholz*

Mes	N° días mes	Precipitación promedio mensual					Contribución de la retención				Q generado		Q aforo
		Precipitación	Curva I	Curva II	Curva III	PE	Q base (mm/mes)		Abastecimiento (mm/mes)		Q	Q	
							bi	Gi	ai	Ai	mm/mes	m³/s	m³/s
Enero	31	184,7	65,7	102,1	130,5	102,7			0,153	11,3	91,4	6,966	5,288
Febrero	28	184,8	65,9	102,2	130,6	102,8			0,153	11,3	91,6	7,723	10,464
Marzo	31	250,0	184,2	208,0	227,3	208,4			0,311	22,9	185,6	14,139	12,403
Abril	30	170,1	49,9	84,5	112,6	85,1	0,6	31,0			116,1	9,137	8,997
Mayo	31	127,3	19,1	43,6	67,3	44,1	0,4	18,2			62,3	4,749	6,961
Junio	30	98,8	8,4	24,8	43,5	25,2	0,2	11,4			36,6	2,885	3,044
Julio	31	76,8	3,8	14,3	28,6	14,6	0,1	6,5			21,1	1,605	2,008
Agosto	31	90,9	6,4	20,6	37,8	21,0	0,1	3,9			24,9	1,896	1,795
Setiembre	30	144,9	29,3	58,5	84,6	59,1	0,1	2,6			61,7	4,855	2,644
Octubre	31	179,8	60,1	96,0	124,3	96,6			0,144	10,6	86,0	6,550	6,756
Noviembre	30	166,3	46,3	80,2	108,0	80,8			0,120	8,9	71,9	5,661	6,802
Diciembre	31	165,0	45,0	78,7	106,5	79,3			0,118	8,7	70,6	5,379	6,963
Año	365	1 839,4	584,2	913,6	1201,5	919,7	1,44	73,56	1,000	73,56	919,7		
C	0,50		0,15	0,30	0,45								

Nota. Elaboración propia generada y procesada a partir de la data meteorológica de SENAMHI.

Figura 8

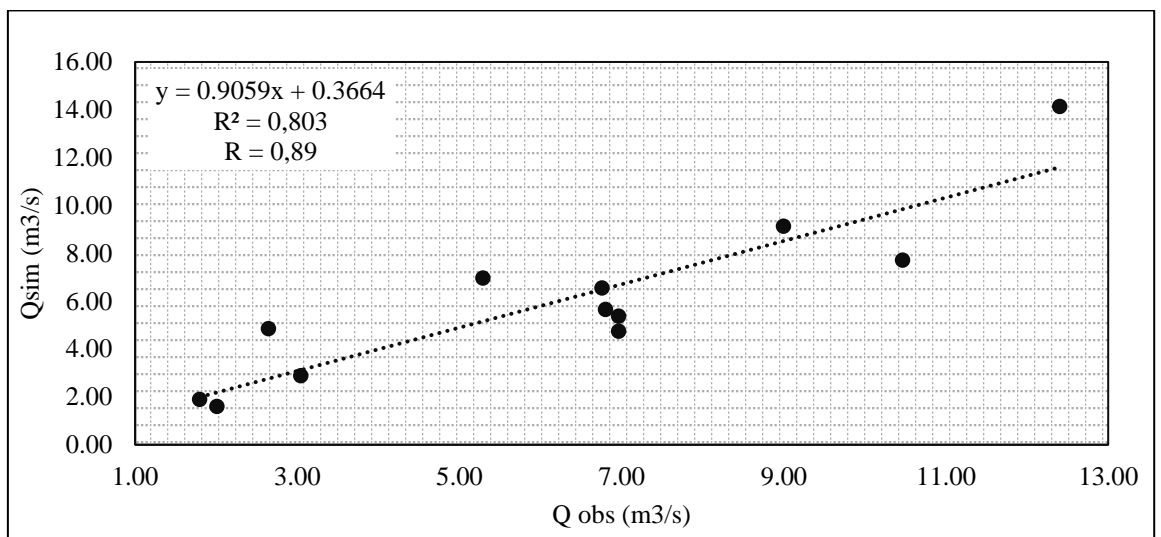
Caudales mensuales observados y simulados



Nota. Elaboración propia generada a partir de la data hidrometeorológica de SENAMHI y la Central Hidroeléctrica Gera.

Figura 9

Coefficiente de correlación para los caudales simulados y observados



Nota. Elaboración propia generada a partir de la data hidrometeorológica de SENAMHI y la Central Hidroeléctrica Gera.

Referente a la Figura 8, se puede visualizar el comparativo de los caudales observados y simulados donde ambas líneas de tendencia no difieren mucho. En la Figura 9, se observa la correlación de los caudales generados, presentando un factor de determinación (r^2) de 0,8 y un coeficiente de correlación de $r = 0,896$ indicando un buen ajuste entre ambos caudales.

Generación de caudales para un periodo extendido

Para el cálculo de caudal para un periodo extendido se utilizó la data de la precipitación efectiva y la data de aleatoriedad para la zona de estudio la cual comprende la subcuenca del río Gera, tal como se muestra en la Tabla 33 y 34.

Tabla 33

Precipitación efectiva mensual en mm para la subcuenca del río Gera

Precipitación efectiva mensual (mm)												
Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
1965	87,9	51,5	167,3	104,4	20,1	28,6	20,8	23,4	79,5	84,5	146,9	76,6
1966	9,4	44,2	192,7	93,7	83,1	13,7	8,8	8,0	78,2	85,5	42,6	74,9
1967	103,9	134,3	192,5	79,4	43,3	16,4	13,3	18,1	98,1	125,9	37,8	122,9
1968	63,4	118,1	130,4	102,1	30,8	24,4	18,1	28,6	102,8	125,6	57,6	57,3
1969	71,6	75,9	140,6	58,6	26,6	59,7	9,7	30,7	32,1	123,2	122,9	69,1
1970	98,1	59,1	243,4	172,9	30,8	42,5	21,7	16,3	60,5	140,0	219,0	68,1
1971	145,6	146,1	402,5	62,3	93,2	24,3	17,2	17,8	86,1	112,6	84,7	98,4
1972	173,0	67,1	454,1	126,4	37,1	35,3	19,8	35,9	88,3	90,7	62,2	49,1
1973	165,7	103,7	184,1	126,3	41,0	40,3	22,7	25,1	50,8	111,3	49,5	58,1
1974	139,1	90,8	329,0	133,8	49,6	76,3	13,4	23,5	50,4	77,6	57,8	150,6
1975	154,9	74,4	233,4	73,4	68,2	46,2	33,6	36,5	48,2	78,3	84,9	44,8
1976	122,6	39,1	230,7	67,7	25,8	42,0	16,0	28,2	44,4	95,8	72,7	79,4
1977	79,7	231,4	313,8	170,8	29,5	16,1	11,1	50,2	75,2	149,2	100,6	94,5
1978	71,3	47,6	111,5	72,6	31,2	3,4	27,1	18,6	79,2	137,7	72,5	65,3
1979	49,5	86,6	314,0	82,6	49,8	9,8	14,3	24,7	38,0	77,7	86,1	22,0
1980	189,8	66,5	230,1	68,1	15,5	36,6	5,8	17,8	25,4	43,9	33,5	22,4
1981	189,8	178,7	252,9	20,3	31,3	6,8	12,4	16,2	24,8	29,7	58,5	120,0
1982	61,1	40,7	168,0	56,0	22,9	35,2	6,8	3,9	11,5	198,9	208,1	195,5
1983	205,8	111,1	46,0	26,1	34,9	19,5	12,1	12,1	36,1	76,9	21,9	45,6
1984	132,4	144,9	253,0	100,5	38,2	30,1	10,5	19,5	30,0	85,7	124,8	19,2
1985	181,2	60,1	36,2	48,2	68,9	50,6	16,3	19,0	80,5	48,5	98,0	68,1
1986	92,3	114,6	175,8	62,3	91,0	36,6	17,4	62,0	42,8	3,8	41,7	51,7
1987	102,4	57,4	136,5	83,9	46,8	23,6	16,5	22,7	54,9	53,1	183,0	61,6
1988	128,3	164,8	115,5	92,7	50,2	21,6	14,1	20,3	35,2	45,9	42,8	128,4
1989	136,8	131,6	205,7	103,2	23,7	14,5	2,8	3,0	81,2	116,8	66,6	1,0

Continuación

1990	159,3	67,4	286,1	52,7	3,7	5,0	3,8	8,8	94,4	107,5	75,2	1,1
1991	119,4	147,5	212,0	47,4	26,7	15,4	16,3	26,1	19,8	71,8	3,2	18,3
1992	17,5	80,8	210,5	11,0	5,0	11,0	8,6	31,7	77,3	119,2	91,6	91,0
1993	66,8	127,1	394,2	67,4	37,4	18,6	10,5	14,3	52,0	130,3	66,2	97,5
1994	70,8	104,8	167,0	140,8	35,6	22,3	21,6	9,0	62,5	75,1	132,4	102,5
1995	41,0	54,6	160,4	45,5	18,1	31,8	8,0	14,0	99,6	67,3	60,6	107,7
1996	83,7	91,1	275,7	121,6	26,6	17,1	2,7	19,1	55,8	157,7	42,3	91,9
1997	42,2	202,7	122,6	96,4	54,1	7,6	9,9	25,2	75,4	59,5	51,2	67,2
1998	84,7	85,5	168,3	140,0	51,3	7,3	5,6	25,2	57,0	125,0	39,0	74,8
1999	226,2	168,1	124,8	78,5	83,8	38,4	19,7	30,5	35,6	85,7	127,4	81,2
2000	116,5	112,9	154,7	103,4	32,6	26,5	19,5	36,9	70,1	37,5	32,1	81,1
2001	37,7	107,2	264,9	120,4	62,7	25,1	22,8	15,2	103,6	132,9	109,3	212,0
2002	99,4	93,4	142,9	99,4	81,8	6,6	23,8	22,8	26,0	72,5	66,2	47,8
2003	87,3	92,6	166,8	38,0	65,4	39,8	6,5	26,3	61,6	127,5	47,9	123,2
2004	17,4	64,2	146,9	110,9	49,4	19,5	25,7	12,9	46,5	110,7	73,5	77,4
2005	44,9	110,6	142,7	73,7	50,1	12,8	12,4	10,8	17,8	111,7	145,0	90,0
2006	100,8	91,8	184,4	59,7	21,0	19,7	13,4	19,2	66,2	84,2	48,4	84,5
2007	85,0	15,3	225,6	82,5	38,3	4,5	15,6	19,1	84,7	150,3	120,0	67,8
2008	74,6	147,2	257,2	89,1	35,4	40,2	11,1	15,0	71,2	59,7	77,5	75,5
2009	112,6	86,9	169,5	107,4	47,7	57,0	19,4	24,6	51,4	71,4	56,5	30,7
2010	35,8	117,4	76,0	74,7	43,5	11,3	23,0	7,2	38,6	128,9	82,6	51,1
2011	61,6	58,4	380,3	51,7	39,3	16,9	15,9	16,2	48,6	102,1	77,4	105,4
2012	112,2	117,4	252,9	107,5	46,7	25,1	6,3	6,7	85,6	131,9	53,2	93,9
2013	84,9	46,3	400,1	46,1	50,5	15,2	12,6	28,9	53,4	69,5	91,6	47,3
2014	100,6	110,0	260,5	109,9	24,6	24,9	12,8	19,2	38,7	148,2	190,8	150,5
2015	131,2	135,4	233,6	119,3	69,1	17,4	16,2	13,1	54,3	112,9	109,8	127,4
2016	40,4	128,2	163,4	80,1	40,5	14,9	3,8	8,1	64,5	104,8	30,9	86,8
2017	119,1	163,6	189,8	43,2	67,9	43,9	4,9	30,1	67,5	59,0	44,7	51,0
2018	139,9	77,3	177,6	64,7	55,5	8,2	9,6	21,5	59,2	79,2	70,5	85,6
2019	155,5	166,6	213,6	106,2	74,2	29,1	34,2	26,1	77,6	130,5	24,2	93,2
2020	126,5	146,4	87,6	88,1	49,8	24,6	16,7	9,7	59,5	64,6	104,4	80,6
Máx	226,2	231,4	454,1	172,9	93,2	76,3	34,2	62,0	103,6	198,9	219,0	212,0
Prom.	102,7	102,8	208,4	85,1	44,1	25,2	14,6	21,0	59,1	96,6	80,8	79,3
Min	9,4	15,3	36,2	11,0	3,7	3,4	2,7	3,0	11,5	3,8	3,2	1,0
Std	49,9	44,8	88,8	34,6	20,7	15,4	7,2	10,7	23,2	37,2	46,5	41,2

Nota. Elaboración propia generada y procesada a partir de la data meteorológica de SENAMHI.

Tabla 34*Números aleatorios para la generación de caudales sintéticos en el área de estudio*

Números Aleatorios												
Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
1965	1,30	-1,00	-2,91	0,39	0,36	1,50	0,17	0,53	1,28	1,04	1,05	-0,44
1966	0,79	-0,69	-0,16	0,10	0,05	-0,78	-0,88	0,44	0,67	-0,37	-0,62	-2,19
1967	0,77	0,42	-0,18	0,05	0,32	-2,82	0,87	-1,51	-0,47	1,03	0,97	-0,41
1968	-0,44	0,21	-0,21	1,38	0,18	-0,95	-1,36	-0,14	0,96	-0,11	-0,79	0,33
1969	-1,43	1,10	3,84	1,17	0,06	1,00	-0,38	-0,53	1,21	0,56	-0,38	1,49
1970	0,53	-0,35	-0,23	1,15	-1,09	-0,25	0,96	-0,66	-0,87	-0,84	1,29	0,24
1971	0,55	-0,02	-1,08	0,33	-1,46	1,19	1,57	-1,57	-1,83	-2,13	-0,92	-0,45
1972	0,11	0,50	2,77	1,32	-2,02	0,54	-0,27	-1,11	1,46	0,53	0,81	-1,02
1973	-1,23	0,95	-0,76	1,79	0,71	-0,16	-0,49	-1,18	-0,15	0,44	0,49	-1,19
1974	-1,69	-1,00	2,03	2,54	-1,02	0,34	-1,31	-0,97	0,29	0,74	1,20	-1,77
1975	0,94	1,67	1,13	-0,14	0,27	-0,36	-0,82	-0,28	-2,21	-1,73	0,03	-0,86
1976	-1,30	-0,37	0,61	0,03	1,44	-0,06	0,47	-0,51	0,93	-0,48	-0,07	-0,66
1977	-0,74	0,22	-0,27	0,52	-1,60	-0,43	-0,06	0,13	2,05	0,45	-0,32	-0,43
1978	0,19	-1,50	0,51	0,62	0,41	1,09	-0,03	0,97	0,84	-0,21	3,18	-0,09
1979	-0,36	0,20	-0,39	0,64	-2,26	0,84	-0,40	-0,48	-1,34	0,37	-2,62	-0,28
1980	0,62	-1,65	-2,00	1,78	-0,88	2,39	0,76	-0,18	-0,84	1,93	-1,50	2,11
1981	1,20	-2,10	-0,76	1,41	2,29	-0,01	0,72	-0,49	1,83	0,15	-0,79	-1,15
1982	0,65	-0,12	-0,52	-0,50	0,22	-0,02	-1,09	1,08	-1,77	2,66	0,12	-0,15
1983	-0,86	1,56	-0,71	0,03	-0,29	0,33	1,41	0,25	0,16	-1,08	-1,51	0,40
1984	-0,45	1,12	-0,16	-1,56	-3,33	1,29	-1,50	-0,45	0,46	0,09	0,98	-2,09
1985	0,29	0,56	-0,57	1,20	1,25	0,39	1,07	0,87	0,73	-0,10	-0,87	0,06
1986	0,15	2,31	0,35	0,53	0,26	0,74	0,38	-0,28	-2,91	-0,77	-0,78	-0,36
1987	0,67	2,55	2,26	-0,36	-2,09	0,54	-0,80	1,23	-1,36	0,84	-0,78	-0,26
1988	0,69	1,32	0,11	0,13	0,54	-0,28	-0,37	0,15	0,49	-0,20	-0,33	-1,59
1989	1,51	-0,38	1,20	0,35	0,62	0,35	-1,35	0,05	0,07	-1,10	-0,43	-0,25
1990	-0,02	-1,93	-0,05	-1,99	1,71	-1,03	2,42	-0,05	0,27	-1,65	1,96	0,88
1991	1,03	-0,05	0,62	1,14	-0,65	0,50	-1,50	-1,32	0,06	-0,72	1,85	-1,56
1992	0,74	0,30	0,87	0,03	0,48	0,07	0,66	0,76	-0,37	1,97	-0,08	-0,94
1993	-0,83	-1,46	1,57	-0,29	1,81	0,78	-0,51	-0,31	-1,59	-0,28	0,25	1,13
1994	-0,53	1,96	-0,14	1,28	-0,33	0,47	-0,32	-0,05	1,28	-1,50	1,40	1,69
1995	0,26	-0,57	-1,06	2,00	-0,26	-0,18	0,83	0,69	1,01	0,75	0,48	0,02
1996	1,17	-0,81	-0,09	0,54	-0,75	0,47	0,04	-1,18	-0,35	1,07	-2,38	-0,80
1997	0,00	1,06	1,10	1,18	-0,17	-0,55	0,66	-1,12	0,51	-0,21	0,62	0,37

Continuación

1998	1,60	0,46	1,06	0,98	1,39	-0,32	-1,20	-0,24	1,46	1,02	-0,96	1,29
1999	-0,57	0,93	-0,44	-0,42	0,11	-0,45	-1,72	-0,18	1,98	0,94	-0,07	-0,27
2000	-0,80	-2,63	-0,28	1,97	-0,25	1,04	2,44	0,18	1,02	-0,24	0,91	-1,09
2001	0,01	1,26	-0,21	0,82	-0,77	0,27	1,36	0,61	-0,87	-0,87	-0,97	-0,24
2002	-0,12	0,76	0,29	0,25	1,21	0,18	0,04	-0,49	0,30	-0,44	0,64	-1,40
2003	-0,87	-0,22	0,50	0,59	-0,03	0,56	0,37	-1,68	0,54	-0,61	-1,68	0,10
2004	-0,25	0,90	1,95	0,28	1,52	-1,49	-0,19	-0,37	-0,70	-2,39	0,16	-0,15
2005	-0,37	1,89	0,26	-1,39	0,14	0,83	-0,09	0,51	0,20	0,98	1,14	-0,82
2006	0,79	-1,24	-1,48	0,24	0,43	-0,44	0,66	0,44	0,37	-0,81	-0,23	0,31
2007	0,09	0,36	0,84	-0,31	0,24	-0,74	0,07	-0,49	0,09	0,90	0,28	-0,50
2008	-0,09	-0,43	-2,44	0,59	-1,31	0,72	1,10	-0,56	-0,91	-0,01	0,28	-0,04
2009	0,12	0,93	0,10	-0,34	0,38	1,38	-1,57	-0,02	-1,68	3,04	-0,67	0,89
2010	0,58	-1,61	1,35	-0,72	0,28	0,86	0,54	0,67	-0,49	-0,57	0,26	0,59
2011	-0,50	0,66	-0,59	-0,27	0,41	-0,85	0,18	-1,61	0,15	-0,26	0,62	1,88
2012	0,40	-0,04	0,10	0,29	0,12	-1,05	-1,83	-0,95	-0,35	0,00	1,32	1,24
2013	0,83	0,09	-0,45	-0,47	0,26	-0,26	-0,64	1,37	0,91	-0,75	-3,56	-1,25
2014	0,59	1,50	-1,86	-0,48	1,43	0,26	1,30	1,87	-0,18	1,10	-0,65	-1,85
2015	-0,99	2,41	0,46	-1,24	0,83	2,53	-0,04	0,29	-0,40	0,05	-0,83	-1,30
2016	-0,33	0,92	0,75	-0,95	-0,66	0,18	-0,83	-1,01	-0,21	0,96	1,05	1,49
2017	1,34	1,30	1,44	-2,09	-0,62	-0,23	-0,27	-0,13	-1,98	-0,40	2,36	-0,16
2018	0,94	-0,33	-0,26	-0,27	0,08	-0,96	-0,40	-0,50	-0,93	-1,20	0,56	-2,04
2019	-0,59	-1,65	-0,41	-0,15	-0,50	-0,17	0,47	-0,77	0,88	0,43	1,59	1,43
2020	-4,01	1,19	1,37	-0,78	-0,48	1,44	-1,48	-1,15	0,82	1,10	-0,91	1,14
Máx	1,60	2,55	3,84	2,54	2,29	2,53	2,44	1,87	2,05	3,04	3,18	2,11
Prom.	0,04	0,20	0,16	0,27	-0,02	0,18	-0,04	-0,20	0,01	0,06	0,04	-0,20
Min	-4,01	-2,63	-2,91	-2,09	-3,33	-2,82	-1,83	-1,68	-2,91	-2,39	-3,56	-2,19
Std	0,96	1,21	1,22	0,98	1,08	0,92	1,01	0,81	1,11	1,09	1,23	1,07

Proceso de regresión lineal múltiple para el cálculo de los caudales sintéticos. Con los valores de la precipitación efectiva, caudales para el año promedio, como se muestra en la Tabla 35, y el cálculo estadístico de regresión múltiple de B_0, B_1, B_2, S y R^2 , los cuales se muestran en las Tabla 36, 37 y 38, se calcularon los caudales para el periodo extendido, tal como se muestra en la Tabla 39.

Tabla 35*Parámetros de entrada para la regresión lineal múltiple*

Mes	Qt	Q(t-1)	PE
Enero	91,4	70,6	102,7
Febrero	91,6	91,4	102,8
Marzo	185,6	91,6	208,4
Abril	116,1	185,6	85,1
Mayo	62,3	116,1	44,1
Junio	36,6	62,3	25,2
Julio	21,1	36,6	14,6
Agosto	24,9	21,1	21,0
Setiembre	61,7	24,9	59,1
Octubre	86,0	61,7	96,6
Noviembre	71,9	86,0	80,8
Diciembre	70,6	71,9	79,3

Tabla 36*Estadísticas de regresión lineal múltiple*

Estadística de la regresión	
Coefficiente de correlación múltiple	0,989604535
Coefficiente de determinación R ²	0,979317135
R ² ajustado (r ²)	0,974720943
Error típico (S)	7,078638748
Observaciones	12

Tabla 37*Análisis estadístico de varianza*

Análisis de Varianza					
	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	2	21 352,7919	10 676,3959	213,071407	2,63177E-08
Residuos	9	450,964139	50,1071265		
Total	11	21 803,756			

Tabla 38*Análisis estadístico de regresión lineal múltiple*

	Coefi- cientes	Error típico	Estadís- tico t	Probabili- dad	Inferior 95 %	Superior 95 %	Inferior 95,0 %	Superior 95,0 %
B ₀	0,91650	4,6490	0,1971	0,8480	-9,60029	11,433	-9,6002	11,4333
B ₁	0,23803	0,0510	4,6654	0,0011	0,12261	0,3534	0,1226	0,3534
B ₂	0,75000	0,0433	17,296	3,2544E- 08	0,65191	0,8480	0,6519	0,84809

Tabla 39*Coefficientes estadísticos de la regresión lineal múltiple*

Parámetro	Valor
B ₀	0,91651
B ₁	0,23803
B ₂	0,75001
S	7,079
R ²	0,97

Luego de obtener los caudales sintéticos para un periodo extendido, se procedió a utilizar los caudales del año promedio y la precipitación efectiva y los coeficientes estadísticos de la regresión lineal de la Tabla 39. Los resultados de los caudales para un periodo extendido en mm/mes se muestran en las Tablas 40 y para la conversión de los caudales de mm/mes a m³/s es necesario el valor del área de la subcuenca río Gera (A=204,07 km²), la cual se muestra en la Tabla 41.

Tabla 40

Caudales sintéticos para un periodo extendido en la subcuenca del río Gera (mm/mes)

Caudales del periodo extendido mm/mes												$Q_t = B_0 + B_1 * Q_{(t-1)} + B_2 * B_{EF} + S * \sqrt{(1 - r^2)} * z$
Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
<i>Prom.</i>												70,60
1965	85,08	58,64	137,10	112,30	43,12	34,35	24,87	24,96	67,89	81,63	131,68	89,20
1966	30,10	40,47	154,93	108,17	89,01	31,50	14,05	10,73	62,86	79,58	51,14	66,78
1967	95,63	124,89	174,84	102,15	58,08	23,85	17,57	16,95	77,99	115,07	57,72	106,37
1968	73,27	107,16	124,00	108,59	50,04	30,05	20,12	26,98	85,54	115,38	70,71	61,08
1969	67,57	75,17	128,60	76,77	39,21	56,14	21,13	28,38	33,14	101,83	116,89	82,25
1970	94,71	67,37	199,28	179,31	65,44	48,08	29,73	19,48	49,99	116,90	194,47	98,57
1971	134,19	142,44	335,51	127,85	99,62	44,20	26,14	18,70	67,88	99,15	87,01	94,94
1972	153,37	88,33	365,64	184,22	70,33	44,75	26,14	32,82	76,62	87,75	69,34	53,13
1973	136,48	112,21	164,81	136,89	65,02	46,41	28,45	25,19	44,86	95,57	61,36	57,76
1974	117,07	95,77	272,77	169,05	77,24	76,89	27,76	24,09	44,74	70,63	62,43	126,71
1975	148,34	93,94	199,56	103,32	76,93	53,50	37,94	37,02	43,37	68,00	80,85	52,76
1976	103,99	54,61	187,66	96,43	44,84	43,04	23,66	27,15	41,73	82,14	74,94	77,60
1977	78,37	193,36	282,00	196,72	68,07	28,71	16,00	42,54	69,75	129,93	106,91	96,78
1978	77,62	53,43	97,84	79,33	43,63	15,10	24,80	21,82	66,44	119,75	87,37	70,58
1979	54,42	79,01	254,81	124,24	65,27	24,77	17,08	22,96	33,36	67,57	78,66	35,85
1980	152,54	85,22	191,52	99,57	35,28	39,44	15,51	17,73	23,28	41,58	34,26	28,26
1981	151,38	168,60	229,87	72,46	44,25	16,55	14,93	16,08	25,37	29,43	50,91	101,76
1982	71,66	48,40	137,84	75,13	36,19	35,92	13,36	8,27	9,50	155,33	194,09	193,54
1983	200,35	133,66	66,46	36,36	35,43	24,32	17,34	14,44	31,59	64,88	31,13	42,96
1984	109,94	137,03	223,11	127,65	56,21	38,30	16,22	18,87	28,39	72,05	112,76	39,82
1985	146,61	81,51	46,83	49,59	65,79	54,94	27,43	22,66	67,52	53,24	86,07	72,58
1986	87,58	110,35	159,41	86,19	90,01	50,65	26,42	53,36	42,43	12,98	34,39	47,44
1987	89,78	68,20	122,07	92,52	55,73	32,48	20,10	24,10	46,27	52,69	149,82	82,51
1988	117,53	154,00	124,30	100,20	63,02	31,80	18,68	20,79	32,84	42,90	42,86	105,66
1989	130,39	130,20	187,50	123,33	48,72	23,77	7,17	4,96	63,04	102,30	74,74	19,18
1990	124,92	79,04	234,26	93,97	27,95	10,14	8,94	9,56	74,32	97,39	82,71	22,44
1991	96,94	134,57	192,61	83,56	40,10	22,58	16,84	23,04	21,33	59,01	19,47	17,55
1992	19,08	66,36	175,61	51,00	17,36	13,40	11,31	28,22	65,21	108,06	95,29	90,82
1993	71,69	111,64	324,89	128,44	61,61	30,39	15,42	14,93	41,68	108,27	76,59	93,57
1994	75,73	99,77	149,76	143,63	61,43	32,79	24,60	13,46	52,40	68,00	118,01	107,82
1995	57,63	54,93	133,09	68,99	30,63	31,85	15,47	15,89	80,52	71,40	63,90	96,91

Continuación

1996	88,05	89,31	228,85	147,16	55,02	27,35	9,51	16,18	46,20	131,43	61,21	83,51
1997	52,42	166,60	133,75	106,39	66,59	21,83	14,25	21,92	63,23	60,33	54,35	64,65
1998	81,66	85,02	148,58	142,37	74,85	23,85	9,43	21,77	50,52	107,84	54,78	71,52
1999	186,96	172,55	135,07	91,47	85,65	49,63	25,56	29,69	36,90	75,03	114,28	88,72
2000	108,49	108,48	142,47	114,63	52,38	34,44	26,48	35,10	63,00	43,76	36,46	69,23
2001	45,71	93,62	221,68	144,89	81,59	39,45	28,94	19,93	82,40	119,24	110,18	185,91
2002	119,57	100,26	132,28	107,24	89,12	27,31	25,33	23,49	26,32	61,09	65,85	50,84
2003	77,50	88,54	147,64	65,26	65,50	46,99	17,42	22,93	53,19	108,48	60,76	107,90
2004	39,36	59,47	127,46	114,77	66,97	29,81	27,09	16,65	38,95	90,50	77,77	77,34
2005	52,59	98,52	131,68	86,00	59,14	25,51	16,16	13,41	17,68	90,02	132,40	98,99
2006	100,99	92,39	159,53	83,92	37,12	24,06	17,42	19,98	55,72	76,38	55,18	77,79
2007	83,26	32,61	178,85	105,04	54,95	16,53	16,63	18,67	68,99	131,05	122,42	80,34
2008	75,89	128,86	221,77	121,20	54,82	44,92	21,18	16,59	57,22	59,33	73,52	74,99
2009	103,38	91,76	150,00	116,76	64,88	60,69	28,18	26,08	43,75	68,27	58,82	38,93
2010	37,67	96,14	82,33	75,69	51,90	22,74	24,22	12,85	32,34	104,62	88,07	60,91
2011	61,03	60,00	299,74	110,76	57,21	26,23	19,32	15,83	41,30	87,00	80,38	101,19
2012	109,60	114,98	218,08	133,77	67,92	34,72	11,86	7,70	66,52	115,70	69,84	89,37
2013	86,80	56,42	313,95	109,66	65,16	27,57	16,19	28,01	48,68	63,81	80,83	54,20
2014	89,94	106,54	219,56	135,06	53,11	32,51	19,75	22,14	34,98	121,66	172,22	152,71
2015	134,53	137,21	209,27	138,78	86,68	37,47	21,93	16,32	45,06	96,38	105,28	120,07
2016	59,44	112,27	151,05	95,89	53,38	25,02	8,75	7,93	50,96	92,72	47,32	78,99
2017	110,54	151,40	180,93	74,02	68,79	49,97	16,18	27,22	55,75	58,02	50,87	51,11
2018	119,10	86,85	154,53	85,91	63,05	20,97	12,68	19,49	48,92	70,61	71,20	79,75
2019	135,87	156,34	197,86	127,53	86,37	43,08	37,33	28,49	66,89	115,17	48,24	83,88
2020	111,27	138,51	101,15	90,19	59,18	35,09	20,10	11,67	49,27	62,31	93,05	84,78
Máx	200,35	193,36	365,64	196,72	99,62	76,89	37,94	53,36	85,54	155,33	194,47	193,54
Prom.	101,31	98,11	187,73	108,91	55,64	34,94	19,83	21,95	50,56	84,43	83,11	75,52
Mín	19,08	40,47	46,83	36,36	17,36	10,14	7,17	4,96	9,50	12,98	19,47	17,55
Std	39,53	37,44	74,24	38,98	19,03	14,36	6,97	9,88	19,85	32,05	41,60	36,28

Nota. Elaboración propia generada a partir de la data meteorológica de SENAMHI.

Tabla 41*Caudales sintéticos para un periodo extendido en la subcuenca del río Gera (m³/mes)*

Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
1965	6,5	4,9	10,4	8,8	3,3	2,7	1,9	1,9	5,3	6,2	10,4	6,8
1966	2,3	3,4	11,8	8,5	6,8	2,5	1,1	0,8	4,9	6,1	4,0	5,1
1967	7,3	10,5	13,3	8,0	4,4	1,9	1,3	1,3	6,1	8,8	4,5	8,1
1968	5,6	9,0	9,4	8,5	3,8	2,4	1,5	2,1	6,7	8,8	5,6	4,7
1969	5,1	6,3	9,8	6,0	3,0	4,4	1,6	2,2	2,6	7,8	9,2	6,3
1970	7,2	5,7	15,2	14,1	5,0	3,8	2,3	1,5	3,9	8,9	15,3	7,5
1971	10,2	12,0	25,6	10,1	7,6	3,5	2,0	1,4	5,3	7,6	6,8	7,2
1972	11,7	7,5	27,9	14,5	5,4	3,5	2,0	2,5	6,0	6,7	5,5	4,0
1973	10,4	9,5	12,6	10,8	5,0	3,7	2,2	1,9	3,5	7,3	4,8	4,4
1974	8,9	8,1	20,8	13,3	5,9	6,1	2,1	1,8	3,5	5,4	4,9	9,7
1975	11,3	7,9	15,2	8,1	5,9	4,2	2,9	2,8	3,4	5,2	6,4	4,0
1976	7,9	4,6	14,3	7,6	3,4	3,4	1,8	2,1	3,3	6,3	5,9	5,9
1977	6,0	16,3	21,5	15,5	5,2	2,3	1,2	3,2	5,5	9,9	8,4	7,4
1978	5,9	4,5	7,5	6,2	3,3	1,2	1,9	1,7	5,2	9,1	6,9	5,4
1979	4,1	6,7	19,4	9,8	5,0	2,0	1,3	1,7	2,6	5,1	6,2	2,7
1980	11,6	7,2	14,6	7,8	2,7	3,1	1,2	1,4	1,8	3,2	2,7	2,2
1981	11,5	14,2	17,5	5,7	3,4	1,3	1,1	1,2	2,0	2,2	4,0	7,8
1982	5,5	4,1	10,5	5,9	2,8	2,8	1,0	0,6	0,7	11,8	15,3	14,7
1983	15,3	11,3	5,1	2,9	2,7	1,9	1,3	1,1	2,5	4,9	2,5	3,3
1984	8,4	11,6	17,0	10,0	4,3	3,0	1,2	1,4	2,2	5,5	8,9	3,0
1985	11,2	6,9	3,6	3,9	5,0	4,3	2,1	1,7	5,3	4,1	6,8	5,5
1986	6,7	9,3	12,1	6,8	6,9	4,0	2,0	4,1	3,3	1,0	2,7	3,6
1987	6,8	5,8	9,3	7,3	4,2	2,6	1,5	1,8	3,6	4,0	11,8	6,3
1988	9,0	13,0	9,5	7,9	4,8	2,5	1,4	1,6	2,6	3,3	3,4	8,0
1989	9,9	11,0	14,3	9,7	3,7	1,9	0,5	0,4	5,0	7,8	5,9	1,5
1990	9,5	6,7	17,8	7,4	2,1	0,8	0,7	0,7	5,9	7,4	6,5	1,7
1991	7,4	11,4	14,7	6,6	3,1	1,8	1,3	1,8	1,7	4,5	1,5	1,3
1992	1,5	5,6	13,4	4,0	1,3	1,1	0,9	2,1	5,1	8,2	7,5	6,9
1993	5,5	9,4	24,8	10,1	4,7	2,4	1,2	1,1	3,3	8,2	6,0	7,1
1994	5,8	8,4	11,4	11,3	4,7	2,6	1,9	1,0	4,1	5,2	9,3	8,2
1995	4,4	4,6	10,1	5,4	2,3	2,5	1,2	1,2	6,3	5,4	5,0	7,4
1996	6,7	7,5	17,4	11,6	4,2	2,2	0,7	1,2	3,6	10,0	4,8	6,4
1997	4,0	14,1	10,2	8,4	5,1	1,7	1,1	1,7	5,0	4,6	4,3	4,9

Continuación

1998	6,2	7,2	11,3	11,2	5,7	1,9	0,7	1,7	4,0	8,2	4,3	5,4
1999	14,2	14,6	10,3	7,2	6,5	3,9	1,9	2,3	2,9	5,7	9,0	6,8
2000	8,3	9,2	10,9	9,0	4,0	2,7	2,0	2,7	5,0	3,3	2,9	5,3
2001	3,5	7,9	16,9	11,4	6,2	3,1	2,2	1,5	6,5	9,1	8,7	14,2
2002	9,1	8,5	10,1	8,4	6,8	2,2	1,9	1,8	2,1	4,7	5,2	3,9
2003	5,9	7,5	11,2	5,1	5,0	3,7	1,3	1,7	4,2	8,3	4,8	8,2
2004	3,0	5,0	9,7	9,0	5,1	2,3	2,1	1,3	3,1	6,9	6,1	5,9
2005	4,0	8,3	10,0	6,8	4,5	2,0	1,2	1,0	1,4	6,9	10,4	7,5
2006	7,7	7,8	12,2	6,6	2,8	1,9	1,3	1,5	4,4	5,8	4,3	5,9
2007	6,3	2,8	13,6	8,3	4,2	1,3	1,3	1,4	5,4	10,0	9,6	6,1
2008	5,8	10,9	16,9	9,5	4,2	3,5	1,6	1,3	4,5	4,5	5,8	5,7
2009	7,9	7,7	11,4	9,2	4,9	4,8	2,1	2,0	3,4	5,2	4,6	3,0
2010	2,9	8,1	6,3	6,0	4,0	1,8	1,8	1,0	2,5	8,0	6,9	4,6
2011	4,6	5,1	22,8	8,7	4,4	2,1	1,5	1,2	3,3	6,6	6,3	7,7
2012	8,4	9,7	16,6	10,5	5,2	2,7	0,9	0,6	5,2	8,8	5,5	6,8
2013	6,6	4,8	23,9	8,6	5,0	2,2	1,2	2,1	3,8	4,9	6,4	4,1
2014	6,9	9,0	16,7	10,6	4,0	2,6	1,5	1,7	2,8	9,3	13,6	11,6
2015	10,2	11,6	15,9	10,9	6,6	3,0	1,7	1,2	3,5	7,3	8,3	9,1
2016	4,5	9,5	11,5	7,5	4,1	2,0	0,7	0,6	4,0	7,1	3,7	6,0
2017	8,4	12,8	13,8	5,8	5,2	3,9	1,2	2,1	4,4	4,4	4,0	3,9
2018	9,1	7,3	11,8	6,8	4,8	1,7	1,0	1,5	3,9	5,4	5,6	6,1
2019	10,4	13,2	15,1	10,0	6,6	3,4	2,8	2,2	5,3	8,8	3,8	6,4
2020	8,5	11,7	7,7	7,1	4,5	2,8	1,5	0,9	3,9	4,7	7,3	6,5
Máx	15,3	16,3	27,9	15,5	7,6	6,1	2,9	4,1	6,7	11,8	15,3	14,7
Prom.	7,4	8,5	13,8	8,5	4,6	2,7	1,5	1,6	4,0	6,5	6,4	6,1
Min	1,5	2,8	3,6	2,9	1,3	0,8	0,5	0,4	0,7	1,0	1,5	1,3
Std	2,9	3,1	5,1	2,6	1,3	1,0	0,5	0,7	1,4	2,2	3,0	2,6

Nota. Elaboración propia generada a partir de la data meteorológica de SENAMHI.

Con la finalidad de verificar el ajuste previamente entre los caudales sintéticos generados y los caudales observados de la Tabla 18, se aplicó el criterio estadístico de eficiencia Nash Sutcliffe. Para ello, se calculó los factores A (numerador de la fórmula) y B (denominador de la fórmula) del índice de Nash los cuales se muestran en las Tablas 42 y 43 y los resultados de este proceso se muestran en la Tabla 45.

Tabla 42*Factor A - índice del índice de Nash Sutcliffe para la subcuenca del río Gera*

Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
1994	13,17	140,06	0,96	15,04	3,42	0,63	0,48	0,08	9,40	194,03	32,16	0,99
1995	3,46	7,97	11,97	4,89	0,79	0,04	0,00	0,07	20,06	9,49	12,11	14,16
1996	20,87	161,71	49,08	17,27	1,85	0,13	0,21	0,00	6,64	82,74	1,44	8,05
1997	2,14	171,01	10,63	12,29	0,44	0,02	0,00	0,12	0,54	2,30	0,52	4,52
1998	6,93	203,30	47,07	149,85	1,66	0,19	0,19	0,38	2,43	19,86	4,32	4,50
1999	1,73	292,25	19,02	2,31	119,56	4,47	0,95	0,00	0,68	1,31	0,13	3,96
2000	10,79	2,02	9,39	45,90	3,84	5,10	3,43	25,26	1,72	0,45	0,96	3,30
2001	0,66	21,87	776,77	35,20	17,42	0,32	0,75	0,00	7,44	10,79	2,18	14,71
2002	30,36	0,38	33,04	1,27	177,96	1,51	3,28	0,15	0,18	0,70	0,91	2,11
2003	10,53	0,01	0,98	2,52	54,16	3,54	0,74	1,03	0,36	191,41	0,04	176,60
2004	0,10	10,74	31,82	2,27	104,40	1,11	0,02	0,20	0,04	6,84	16,79	0,17
2005	1,57	25,31	29,95	3,24	0,31	0,03	0,07	0,01	0,15	5,42	23,29	6,26
2006	3,74	0,01	132,39	0,43	0,94	0,00	0,63	0,00	5,79	1,93	4,14	0,01
2007	8,62	0,24	32,34	52,43	1,33	0,40	0,18	0,01	10,62	34,17	105,10	0,81
2008	1,40	2,25	235,72	170,25	15,81	0,21	0,22	0,49	2,14	13,88	3,72	3,93
2009	5,89	9,51	1,23	0,00	4,03	3,02	0,02	0,04	0,65	2,39	4,68	15,87
2010	2,63	44,35	7,66	8,35	10,61	1,72	0,05	0,75	0,05	0,97	0,00	7,13
2011	0,41	29,19	108,86	0,08	6,77	0,96	0,29	0,35	0,37	0,02	0,22	0,56
2012	0,86	3,80	20,21	4,20	1,57	0,00	0,24	0,33	15,82	25,45	13,38	18,22
2013	9,63	2,72	52,57	21,94	3,48	0,10	0,41	0,50	4,42	5,44	2,48	4,04
2014	0,08	0,28	8,61	13,03	0,76	0,59	0,00	0,00	0,60	2,72	22,93	11,59
2015	0,18	1,71	26,36	0,37	0,22	1,56	0,04	0,15	4,96	24,93	26,51	0,10
2016	4,88	20,89	0,31	2,62	0,03	0,94	0,80	0,42	4,89	15,96	2,45	4,28
2017	1,87	2,85	45,10	9,97	1,54	3,83	3,87	0,17	2,49	0,48	25,45	0,93
2018	4,60	5,27	51,90	8,45	2,24	0,14	0,10	0,73	4,38	1,77	1,22	0,13
2019	7,35	27,07	37,02	14,60	3,82	1,47	0,23	0,91	15,16	35,26	15,92	5,51
2020	5,63	16,99	5,42	5,40	0,44	1,13	0,12	0,13	0,03	0,25	4,29	0,57
SUMA	160,1	1 203,8	1 786,4	604,2	539,4	33,1	17,3	32,3	122,0	690,9	327,4	313,0

Nota. Elaboración propia generada a partir del criterio de Nash Sutcliffe sobre la base de la data de caudales generados para la zona de estudio.

Tabla 43*Factor B-Índice de Nash Sutcliffe para la subcuenca media y alta del río Gera*

Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
1994	16,30	198,04	18,09	1,57	11,20	19,25	24,97	23,69	26,19	167,26	6,54	9,20
1995	13,30	19,07	55,10	8,75	8,75	14,96	24,38	27,32	18,64	14,57	5,44	6,54
1996	16,30	198,04	18,09	1,57	11,20	19,25	24,97	23,79	26,19	167,26	6,54	9,14
1997	13,30	439,02	0,57	1,71	3,12	18,55	25,78	23,59	0,22	9,59	6,85	11,41
1998	6,69	232,65	2,95	298,35	0,66	14,96	25,27	26,39	14,12	5,84	0,05	1,94
1999	45,60	648,86	0,06	0,25	127,30	0,02	10,61	15,42	16,79	2,58	10,13	1,98
2000	1,43	2,41	2,60	92,60	0,05	1,46	5,32	2,32	6,39	12,37	18,38	0,83
2001	12,30	8,75	1 488,63	124,61	17,75	6,29	9,66	21,50	5,84	0,14	15,78	139,78
2002	6,64	2,76	3,41	11,51	194,68	7,82	5,94	22,82	20,50	5,56	3,79	14,12
2003	12,37	1,38	16,67	6,90	38,10	0,36	15,90	11,68	1,92	253,53	1,43	235,09
2004	8,22	19,69	4,44	1,83	83,59	7,71	15,66	19,87	11,00	3,60	16,34	0,49
2005	0,84	8,39	2,62	5,73	1,25	15,98	21,88	25,58	26,80	2,71	82,31	1,29
2006	0,17	2,90	305,65	0,05	18,64	18,04	16,46	21,23	17,62	3,05	0,04	0,12
2007	9,63	15,35	3,11	87,10	0,70	18,04	20,14	21,50	6,31	93,18	188,04	0,92
2008	2,49	38,35	679,79	269,38	3,90	9,59	16,76	17,74	9,84	4,28	2,37	2,31
2009	0,53	21,60	40,46	9,35	0,60	9,83	17,40	19,22	12,52	0,32	0,38	0,60
2010	24,28	22,35	8,20	9,66	1,07	9,45	16,91	18,78	11,63	0,66	0,67	1,28
2011	0,79	18,38	38,76	7,95	0,61	9,82	17,39	19,20	12,48	0,34	0,39	0,62
2012	9,63	2,47	35,32	40,99	0,06	12,23	22,92	25,17	24,18	5,79	18,81	13,23
2013	7,11	9,41	624,64	4,96	9,47	18,73	18,51	22,54	19,78	13,30	1,92	16,46
2014	0,15	11,17	58,00	0,72	1,58	8,11	22,16	20,77	17,62	2,08	6,72	4,21
2015	20,18	44,93	21,46	17,16	0,80	3,91	18,64	20,68	23,59	14,65	9,23	10,84
2016	14,88	1,63	22,78	0,06	3,71	10,48	21,32	24,28	19,16	9,66	16,14	4,96
2017	13,05	68,60	0,80	12,30	4,74	0,08	8,86	20,41	11,34	1,14	8,25	1,74
2018	0,57	1,32	2,58	12,20	0,02	17,28	23,98	14,72	19,51	0,28	2,81	0,21
2019	2,14	149,15	7,91	0,00	2,41	15,98	14,51	24,60	23,08	11,16	2,60	6,55
2020	0,01	1,92	14,87	1,96	5,44	20,03	18,52	24,30	6,14	3,71	0,85	0,23
SUMA	258,9	2 188,6	3 477,5	1 029,2	5 51,4	308,2	484,8	559,1	409,4	808,6	432,8	496,1

Nota. Elaboración propia generada a partir del criterio de Nash Sutcliffe sobre la base de la data de caudales generados para la zona de estudio.

Luego de contar con los datos de los factores A y B, se utilizó la siguiente fórmula para calcular el índice de Nash Sutcliffe (Burguña, 2019):

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

Referente a la prueba de bondad, la cual, consiste en evaluar la variabilidad de los datos observados versus los datos sintéticos generados, se establecen los siguientes criterios: E = 1 siempre y cuando la simulación sea perfecta, pero si se desea ajustar valores observados al promedio, entonces E = 0. Asimismo, en la Tabla 44 se muestran otros valores recomendados para la toma de decisiones referente a la valoración de la prueba de bondad y ajuste.

Tabla 44

Valores para considerar para el criterio de Nash Sutcliffe

E	Nivel de Ajuste
< 0,2	Insuficiente
0,2 – 0,4	Satisfactorio
0,4 – 0,6	Bueno
0,6 – 0,8	Muy bueno
> 0,8	Excelente

Nota. Adaptado de Molnar (2011).

Los resultados del índice de Nash Sutcliffe, donde los caudales sintéticos pertenecen al periodo 1965-2020 y los caudales observados existentes desde 1994 al 2020 se muestran a continuación, en la Tabla 45.

Tabla 45

Resultados del Índice de Eficiencia de Nash Sutcliffe para el caudal sintético sin calibrar

Valor	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Total
A	160,1	1 203,8	1 786,4	604,2	539,4	33,1	17,3	32,3	122,0	690,9	327,4	313,0	5829,8
B	258,9	2 188,6	3 477,5	1 029,2	551,4	308,2	484,8	559,1	409,4	808,6	432,8	496,1	11 004,7
E	0,38	0,45	0,49	0,41	0,02	0,89	0,96	0,94	0,70	0,15	0,24	0,37	0,47
<i>Ajuste</i>	<i>Satisfactorio</i>	<i>Bueno</i>	<i>Bueno</i>	<i>Bueno</i>	<i>Insuficiente</i>	<i>Excelente</i>	<i>Excelente</i>	<i>Excelente</i>	<i>Muy bueno</i>	<i>Insuficiente</i>	<i>Satisfactorio</i>	<i>Satisfactorio</i>	<i>Bueno</i>

Nota. Elaboración propia generada a partir del criterio estadístico de Nash Sutcliffe

Según la Tabla 45, se obtuvo a diez meses entre los niveles de satisfactorio, bueno, muy bueno y excelente en tres meses; pero, el mes de mayo y octubre tienen un nivel de ajuste insuficiente, pese a ello, se obtuvo un índice promedio de 0,47, lo cual corresponde a un nivel de ajuste “Bueno” según la Tabla 44. La representación gráfica de los caudales sintéticos para el periodo extendido y los caudales observados por año se muestra en el capítulo de resultados.

Calibración y validación del modelo hidrológico Lutz Scholz

Para la calibración del caudal generado con los observados, se realizó el cálculo de porcentajes de error obtenido entre los caudales observados y simulados, para lo cual se utilizaron los promedios de cada uno de ellos y la escorrentía, tal como se muestra en la Tabla 46. Posteriormente, en la Figura 10 se muestra la representación gráfica de la calibración de los caudales simulados, caudales observados y el caudal aceptado para el año promedio.

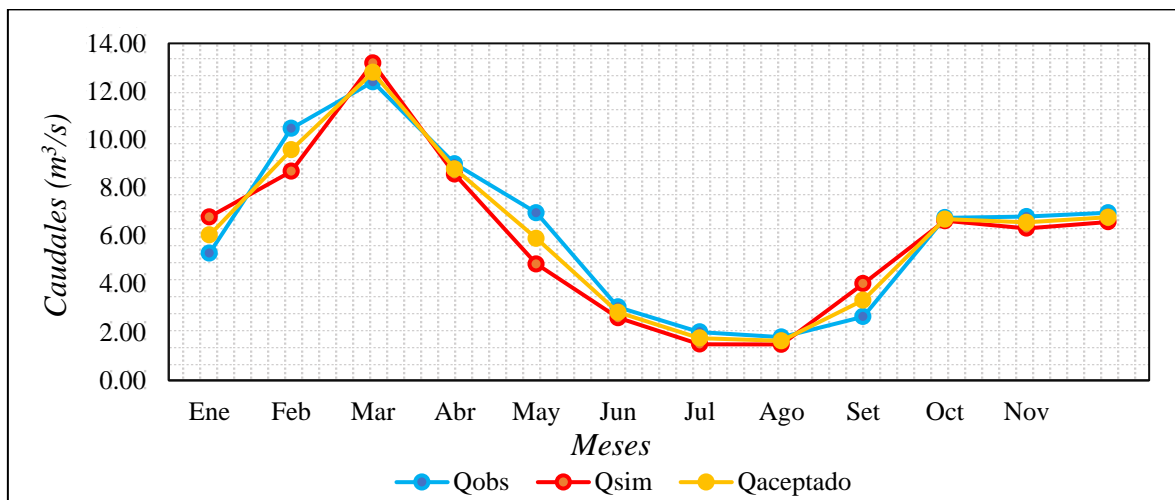
Tabla 46

Determinación del caudal aceptado y error entre Q_{obs} y Q_{sim}

Mes	Q_{obs} (m³/s)	Q_{sim} (m³/s)	Q_{acep} (m³/s)	Escorrentía (mm)	Error (%)
Enero	5,29	6,79	6,04	79,24	14,2
Febrero	10,46	8,68	9,57	113,50	-8,5
Marzo	12,40	13,18	12,79	167,90	3,1
Abril	9,00	8,56	8,78	111,53	-2,4
Mayo	6,96	4,83	5,90	77,41	-15,3
Junio	3,04	2,60	2,82	35,86	-7,3
Julio	2,01	1,50	1,75	23,03	-12,6
Agosto	1,80	1,49	1,64	21,59	-8,4
Setiembre	2,64	4,02	3,33	42,31	26,0
Octubre	6,76	6,63	6,69	87,86	-0,9
Noviembre	6,80	6,32	6,56	83,33	-3,5
Diciembre	6,96	6,58	6,77	88,89	-2,7
Promedio	6,18	5,93	6,06	77,70	-1,5

Figura 10

Caudales generados, simulados y aceptados mediante la calibración

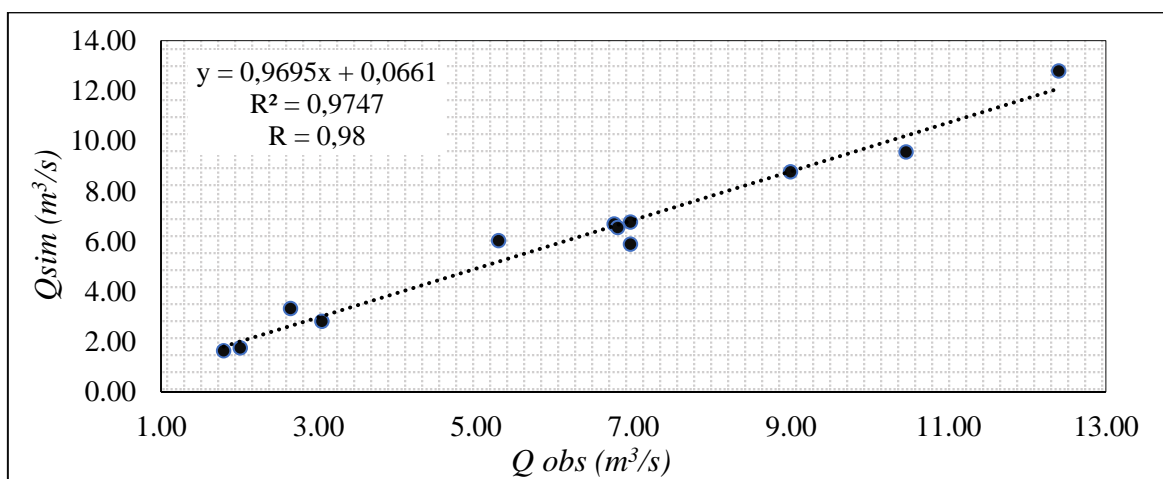


Nota. Elaboración propia generada a partir de los caudales simulados y los caudales observados obtenidos de la Central Hidroeléctrica Gera

Luego de graficar los caudales simulados, observados y aceptados se procedió a determinar el coeficiente de correlación y determinación para los caudales simulados y observados, donde la correlación entre ambos caudales es de 0,9, un nivel muy bueno, considerando que el valor uno (1) es excelente, tal como se observa en la Figura 11.

Figura 11

Correlación de caudales observados y simulados



Para efectos de calibración de los caudales sintéticos por año, se tomó la data desde 1994 hasta el 2020, debido a que solo se contó con registro de caudales observados en ese periodo.

En la Tabla 47 se muestran los caudales sintéticos con los promedios para ambos periodos.

Tabla 47

Caudales sintéticos para la subcuenca del río Gera (m³/s)

Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
1965	6,48	4,95	10,45	8,84	3,29	2,70	1,89	1,90	5,35	6,22	10,37	6,80
1966	2,29	3,41	11,80	8,52	6,78	2,48	1,07	0,82	4,95	6,06	4,03	5,09
1967	7,29	10,54	13,32	8,04	4,42	1,88	1,34	1,29	6,14	8,77	4,54	8,10
1968	5,58	9,04	9,45	8,55	3,81	2,37	1,53	2,06	6,73	8,79	5,57	4,65
1969	5,15	6,34	9,80	6,04	2,99	4,42	1,61	2,16	2,61	7,76	9,20	6,27
1970	7,22	5,68	15,18	14,12	4,99	3,79	2,27	1,48	3,94	8,91	15,31	7,51
1971	10,22	12,01	25,56	10,07	7,59	3,48	1,99	1,42	5,34	7,55	6,85	7,23
1972	11,69	7,45	27,86	14,50	5,36	3,52	1,99	2,50	6,03	6,69	5,46	4,05
1973	10,40	9,47	12,56	10,78	4,95	3,65	2,17	1,92	3,53	7,28	4,83	4,40
1974	8,92	8,08	20,78	13,31	5,88	6,05	2,11	1,84	3,52	5,38	4,92	9,65
1975	11,30	7,92	15,20	8,13	5,86	4,21	2,89	2,82	3,41	5,18	6,36	4,02
1976	7,92	4,61	14,30	7,59	3,42	3,39	1,80	2,07	3,29	6,26	5,90	5,91
1977	5,97	16,31	21,49	15,49	5,19	2,26	1,22	3,24	5,49	9,90	8,42	7,37
1978	5,91	4,51	7,45	6,25	3,32	1,19	1,89	1,66	5,23	9,12	6,88	5,38
1979	4,15	6,67	19,41	9,78	4,97	1,95	1,30	1,75	2,63	5,15	6,19	2,73
1980	11,62	7,19	14,59	7,84	2,69	3,10	1,18	1,35	1,83	3,17	2,70	2,15
1981	11,53	14,22	17,51	5,70	3,37	1,30	1,14	1,22	2,00	2,24	4,01	7,75
1982	5,46	4,08	10,50	5,92	2,76	2,83	1,02	0,63	0,75	11,83	15,28	14,75
1983	15,26	11,27	5,06	2,86	2,70	1,91	1,32	1,10	2,49	4,94	2,45	3,27
1984	8,38	11,56	17,00	10,05	4,28	3,02	1,24	1,44	2,24	5,49	8,88	3,03
1985	11,17	6,88	3,57	3,90	5,01	4,33	2,09	1,73	5,32	4,06	6,78	5,53
1986	6,67	9,31	12,15	6,79	6,86	3,99	2,01	4,07	3,34	0,99	2,71	3,61
1987	6,84	5,75	9,30	7,28	4,25	2,56	1,53	1,84	3,64	4,01	11,80	6,29
1988	8,95	12,99	9,47	7,89	4,80	2,50	1,42	1,58	2,59	3,27	3,37	8,05
1989	9,93	10,98	14,29	9,71	3,71	1,87	0,55	0,38	4,96	7,79	5,88	1,46
1990	9,52	6,67	17,85	7,40	2,13	0,80	0,68	0,73	5,85	7,42	6,51	1,71
1991	7,39	11,35	14,68	6,58	3,06	1,78	1,28	1,76	1,68	4,50	1,53	1,34
1992	1,45	5,60	13,38	4,02	1,32	1,06	0,86	2,15	5,13	8,23	7,50	6,92
1993	5,46	9,42	24,75	10,11	4,69	2,39	1,18	1,14	3,28	8,25	6,03	7,13
1994	5,77	8,42	11,41	11,31	4,68	2,58	1,87	1,03	4,13	5,18	9,29	8,21
1995	4,39	4,63	10,14	5,43	2,33	2,51	1,18	1,21	6,34	5,44	5,03	7,38

Continuación

1996	6,71	7,53	17,44	11,59	4,19	2,15	0,72	1,23	3,64	10,01	4,82	6,36
1997	3,99	14,05	10,19	8,38	5,07	1,72	1,09	1,67	4,98	4,60	4,28	4,93
1998	6,22	7,17	11,32	11,21	5,70	1,88	0,72	1,66	3,98	8,22	4,31	5,45
1999	14,24	14,55	10,29	7,20	6,53	3,91	1,95	2,26	2,91	5,72	9,00	6,76
2000	8,27	9,15	10,85	9,02	3,99	2,71	2,02	2,67	4,96	3,33	2,87	5,27
2001	3,48	7,90	16,89	11,41	6,22	3,11	2,21	1,52	6,49	9,08	8,67	14,16
2002	9,11	8,46	10,08	8,44	6,79	2,15	1,93	1,79	2,07	4,65	5,18	3,87
2003	5,90	7,47	11,25	5,14	4,99	3,70	1,33	1,75	4,19	8,26	4,78	8,22
2004	3,00	5,02	9,71	9,04	5,10	2,35	2,06	1,27	3,07	6,90	6,12	5,89
2005	4,01	8,31	10,03	6,77	4,51	2,01	1,23	1,02	1,39	6,86	10,42	7,54
2006	7,69	7,79	12,15	6,61	2,83	1,89	1,33	1,52	4,39	5,82	4,34	5,93
2007	6,34	2,75	13,63	8,27	4,19	1,30	1,27	1,42	5,43	9,98	9,64	6,12
2008	5,78	10,87	16,90	9,54	4,18	3,54	1,61	1,26	4,50	4,52	5,79	5,71
2009	7,88	7,74	11,43	9,19	4,94	4,78	2,15	1,99	3,44	5,20	4,63	2,97
2010	2,87	8,11	6,27	5,96	3,95	1,79	1,85	0,98	2,55	7,97	6,93	4,64
2011	4,65	5,06	22,84	8,72	4,36	2,07	1,47	1,21	3,25	6,63	6,33	7,71
2012	8,35	9,70	16,62	10,53	5,18	2,73	0,90	0,59	5,24	8,82	5,50	6,81
2013	6,61	4,76	23,92	8,63	4,96	2,17	1,23	2,13	3,83	4,86	6,36	4,13
2014	6,85	8,99	16,73	10,63	4,05	2,56	1,50	1,69	2,75	9,27	13,56	11,63
2015	10,25	11,57	15,94	10,93	6,60	2,95	1,67	1,24	3,55	7,34	8,29	9,15
2016	4,53	9,47	11,51	7,55	4,07	1,97	0,67	0,60	4,01	7,06	3,73	6,02
2017	8,42	12,77	13,79	5,83	5,24	3,93	1,23	2,07	4,39	4,42	4,00	3,89
2018	9,07	7,33	11,77	6,76	4,80	1,65	0,97	1,49	3,85	5,38	5,61	6,08
2019	10,35	13,19	15,07	10,04	6,58	3,39	2,84	2,17	5,27	8,77	3,80	6,39
2020	8,48	11,68	7,71	7,10	4,51	2,76	1,53	0,89	3,88	4,75	7,33	6,46
Prom.	6,79	8,68	13,18	8,56	4,83	2,60	1,50	1,49	4,02	6,63	6,32	6,58
1965-1993	7,94	8,42	14,44	8,48	4,29	2,79	1,54	1,73	3,91	6,39	6,56	5,59
1994-2020	6,79	8,68	13,18	8,56	4,83	2,60	1,50	1,49	4,02	6,63	6,32	6,58

Posteriormente, se calcularon los caudales aceptados para cada año, cuyos resultados se muestran en la Tabla 48.

Tabla 48*Caudales aceptados para la subcuenca del río Gera en m³/s*

Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
1965	4,9	5,6	9,3	9,1	4,5	2,7	2,2	1,8	4,6	6,5	10,4	8,2
1966	1,7	3,9	10,5	8,8	9,3	2,5	1,2	0,8	4,2	6,4	4,0	6,2
1967	5,5	12,0	11,8	8,3	6,1	1,9	1,5	1,2	5,2	9,2	4,5	9,8
1968	4,2	10,3	8,4	8,8	5,2	2,4	1,7	2,0	5,7	9,2	5,6	5,6
1969	3,9	7,2	8,7	6,3	4,1	4,5	1,8	2,1	2,2	8,1	9,2	7,6
1970	5,5	6,5	13,5	14,6	6,9	3,8	2,6	1,4	3,4	9,3	15,3	9,1
1971	7,8	13,7	22,6	10,4	10,4	3,5	2,3	1,4	4,6	7,9	6,9	8,8
1972	8,9	8,5	24,7	15,0	7,4	3,6	2,3	2,4	5,1	7,0	5,5	4,9
1973	7,9	10,8	11,1	11,2	6,8	3,7	2,5	1,8	3,0	7,6	4,8	5,3
1974	6,8	9,2	18,4	13,8	8,1	6,1	2,4	1,7	3,0	5,6	4,9	11,7
1975	8,6	9,0	13,5	8,4	8,1	4,3	3,3	2,7	2,9	5,4	6,4	4,9
1976	6,0	5,2	12,7	7,9	4,7	3,4	2,1	2,0	2,8	6,6	5,9	7,2
1977	4,5	18,5	19,0	16,0	7,1	2,3	1,4	3,1	4,7	10,4	8,4	8,9
1978	4,5	5,1	6,6	6,5	4,6	1,2	2,2	1,6	4,5	9,6	6,9	6,5
1979	3,2	7,6	17,2	10,1	6,8	2,0	1,5	1,7	2,2	5,4	6,2	3,3
1980	8,8	8,2	12,9	8,1	3,7	3,1	1,3	1,3	1,6	3,3	2,7	2,6
1981	8,8	16,2	15,5	5,9	4,6	1,3	1,3	1,2	1,7	2,3	4,0	9,4
1982	4,2	4,6	9,3	6,1	3,8	2,9	1,2	0,6	0,6	12,4	15,3	17,9
1983	11,6	12,8	4,5	3,0	3,7	1,9	1,5	1,0	2,1	5,2	2,5	4,0
1984	6,4	13,1	15,1	10,4	5,9	3,1	1,4	1,4	1,9	5,8	8,9	3,7
1985	8,5	7,8	3,2	4,0	6,9	4,4	2,4	1,6	4,5	4,3	6,8	6,7
1986	5,1	10,6	10,8	7,0	9,4	4,0	2,3	3,9	2,8	1,0	2,7	4,4
1987	5,2	6,5	8,2	7,5	5,8	2,6	1,7	1,7	3,1	4,2	11,8	7,6
1988	6,8	14,8	8,4	8,2	6,6	2,5	1,6	1,5	2,2	3,4	3,4	9,7
1989	7,6	12,5	12,7	10,0	5,1	1,9	0,6	0,4	4,2	8,2	5,9	1,8
1990	7,2	7,6	15,8	7,7	2,9	0,8	0,8	0,7	5,0	7,8	6,5	2,1
1991	5,6	12,9	13,0	6,8	4,2	1,8	1,5	1,7	1,4	4,7	1,5	1,6
1992	1,1	6,4	11,9	4,2	1,8	1,1	1,0	2,0	4,4	8,6	7,5	8,4
1993	4,2	10,7	21,9	10,5	6,5	2,4	1,3	1,1	2,8	8,6	6,0	8,6
1994	4,4	6,4	8,7	8,6	3,6	2,0	1,4	0,8	3,1	3,9	7,1	6,2
1995	3,3	3,5	7,7	4,1	1,8	1,9	0,9	0,9	4,8	4,1	3,8	5,6
1996	5,1	5,7	13,3	8,8	3,2	1,6	0,6	0,9	2,8	7,6	3,7	4,8
1997	3,0	10,7	7,8	6,4	3,9	1,3	0,8	1,3	3,8	3,5	3,3	3,7
1998	4,7	5,5	8,6	8,5	4,3	1,4	0,5	1,3	3,0	6,3	3,3	4,1

Continuación

1999	10,8	11,1	7,8	5,5	5,0	3,0	1,5	1,7	2,2	4,3	6,8	5,1
2000	6,3	7,0	8,3	6,9	3,0	2,1	1,5	2,0	3,8	2,5	2,2	4,0
2001	2,6	6,0	12,8	8,7	4,7	2,4	1,7	1,2	4,9	6,9	6,6	10,8
2002	6,9	6,4	7,7	6,4	5,2	1,6	1,5	1,4	1,6	3,5	3,9	2,9
2003	4,5	5,7	8,6	3,9	3,8	2,8	1,0	1,3	3,2	6,3	3,6	6,3
2004	2,3	3,8	7,4	6,9	3,9	1,8	1,6	1,0	2,3	5,2	4,7	4,5
2005	3,0	6,3	7,6	5,2	3,4	1,5	0,9	0,8	1,1	5,2	7,9	5,7
2006	5,9	5,9	9,2	5,0	2,2	1,4	1,0	1,2	3,3	4,4	3,3	4,5
2007	4,8	2,1	10,4	6,3	3,2	1,0	1,0	1,1	4,1	7,6	7,3	4,7
2008	4,4	8,3	12,9	7,3	3,2	2,7	1,2	1,0	3,4	3,4	4,4	4,3
2009	6,0	5,9	8,7	7,0	3,8	3,6	1,6	1,5	2,6	4,0	3,5	2,3
2010	2,2	6,2	4,8	4,5	3,0	1,4	1,4	0,7	1,9	6,1	5,3	3,5
2011	3,5	3,9	17,4	6,6	3,3	1,6	1,1	0,9	2,5	5,0	4,8	5,9
2012	6,4	7,4	12,6	8,0	3,9	2,1	0,7	0,4	4,0	6,7	4,2	5,2
2013	5,0	3,6	18,2	6,6	3,8	1,7	0,9	1,6	2,9	3,7	4,8	3,1
2014	5,2	6,8	12,7	8,1	3,1	1,9	1,1	1,3	2,1	7,1	10,3	8,9
2015	7,8	8,8	12,1	8,3	5,0	2,2	1,3	0,9	2,7	5,6	6,3	7,0
2016	3,4	7,2	8,8	5,7	3,1	1,5	0,5	0,5	3,1	5,4	2,8	4,6
2017	6,4	9,7	10,5	4,4	4,0	3,0	0,9	1,6	3,3	3,4	3,0	3,0
2018	6,9	5,6	9,0	5,1	3,7	1,3	0,7	1,1	2,9	4,1	4,3	4,6
2019	7,9	10,0	11,5	7,6	5,0	2,6	2,2	1,7	4,0	6,7	2,9	4,9
2020	6,4	8,9	5,9	5,4	3,4	2,1	1,2	0,7	3,0	3,6	5,6	4,9
Máx	11,6	18,5	24,7	16,0	10,4	6,1	3,3	3,9	5,7	12,4	15,3	17,9
Prom.	5,6	8,1	11,5	7,7	4,8	2,4	1,5	1,4	3,2	5,9	5,7	5,9
Mín	1,1	3,9	3,2	3,0	1,8	0,8	0,6	0,4	0,6	1,0	1,5	1,6
1965-1993	6,04	9,57	12,79	8,78	5,90	2,82	1,75	1,64	3,33	6,69	6,56	6,77
1994-2020	5,2	9,9	11,7	8,9	6,6	2,6	1,7	1,4	3,4	7,0	6,3	8,0

Validación de modelos hidrológico

Para una mejor percepción de validación del modelo entre los caudales simulados y observados se realizó nuevamente una la prueba de bondad mediante el criterio estadístico de Nash Sutcliffe. Sin embargo, para una simulación más característica, se tomó la tercera parte del periodo calibrado (1994-2020), lo cual corresponde a 9 años; es decir, se tomó la data de los caudales aceptados del año 2012 al 2020, como se observa en la Tabla 49. Sobre la base de este periodo, se calcularon los factores A (numerador de la fórmula) y B (denominador de la fórmula) del criterio de Eficiencia Nash Sutcliffe (NSE) como se

visualiza en la Tabla 50 y 51. Posteriormente, se procedió a la simulación, en la cual se obtuvo un ajuste muy bueno, tal como se muestra en la Tabla 52.

Tabla 49

Caudales aceptados en m³/s para el periodo 2012-2020

Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
2012	6,4	7,4	12,6	8,0	3,9	2,1	0,7	0,4	4,0	6,7	4,2	5,2
2013	5,0	3,6	18,2	6,6	3,8	1,7	0,9	1,6	2,9	3,7	4,8	3,1
2014	5,2	6,8	12,7	8,1	3,1	1,9	1,1	1,3	2,1	7,1	10,3	8,9
2015	7,8	8,8	12,1	8,3	5,0	2,2	1,3	0,9	2,7	5,6	6,3	7,0
2016	3,4	7,2	8,8	5,7	3,1	1,5	0,5	0,5	3,1	5,4	2,8	4,6
2017	6,4	9,7	10,5	4,4	4,0	3,0	0,9	1,6	3,3	3,4	3,0	3,0
2018	6,9	5,6	9,0	5,1	3,7	1,3	0,7	1,1	2,9	4,1	4,3	4,6
2019	7,9	10,0	11,5	7,6	5,0	2,6	2,2	1,7	4,0	6,7	2,9	4,9
2020	6,4	8,9	5,9	5,4	3,4	2,1	1,2	0,7	3,0	3,6	5,6	4,9
Max	7,9	10,0	18,2	8,3	5,0	3,0	2,2	1,7	4,0	7,1	10,3	8,9
Prom.	6,2	7,6	11,2	6,6	3,9	2,0	1,1	1,1	3,1	5,1	4,9	5,1
Min	3,4	3,6	5,9	4,4	3,1	1,3	0,5	0,4	2,1	3,4	2,8	3,0

Tabla 50

Factor A-Índice de Nash Sutcliffe corregidos para el periodo 2012-2020

Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
2012	8,57	0,14	0,27	20,87	6,21	0,36	0,49	0,51	7,42	8,62	5,49	6,97
2013	2,31	0,26	168,30	6,85	0,46	0,04	0,88	0,04	1,41	1,37	0,00	1,04
2014	1,83	7,20	1,14	1,14	3,39	1,91	0,11	0,11	0,01	0,32	2,39	0,39
2015	8,25	16,61	1,74	4,03	4,19	3,82	0,35	0,47	1,90	10,47	10,02	6,30
2016	1,27	5,31	4,82	0,03	1,34	2,08	1,11	0,62	1,57	5,31	0,45	0,39
2017	11,44	22,51	11,68	3,11	0,00	8,39	5,12	0,01	0,28	3,05	36,04	3,60
2018	0,00	0,30	19,25	20,47	7,00	0,58	0,30	1,46	1,37	6,85	0,06	1,20
2019	0,06	69,85	6,14	2,01	0,15	0,16	0,04	0,19	6,93	14,73	24,00	15,02
2020	0,12	1,76	17,40	0,39	0,17	0,16	0,50	0,33	0,56	0,41	0,10	0,62
Suma	33,85	123,93	230,73	58,91	22,90	17,51	8,89	3,74	21,45	51,14	78,55	35,55

Tabla 51*Factor B-Índice de Nash Sutcliffe corregidos para el periodo 2012-2020*

Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
2012	15,62	5,87	46,13	52,59	1,21	7,01	15,51	17,37	16,55	2,43	12,17	7,77
2013	3,31	4,92	667,81	1,90	4,96	12,10	11,93	15,19	12,95	7,83	0,29	10,29
2014	1,53	17,57	71,66	2,88	0,17	3,99	14,88	13,75	11,21	5,25	11,85	8,42
2015	28,54	57,03	30,05	24,92	3,03	1,27	12,03	13,68	16,06	8,87	4,79	17,16
2016	9,05	0,18	31,61	0,36	1,16	5,70	14,20	16,63	12,45	5,10	10,04	1,90
2017	19,91	83,39	3,03	7,06	1,76	0,32	4,53	13,45	6,34	0,05	13,85	0,22
2018	2,57	0,09	0,57	18,85	0,94	10,94	16,39	8,93	12,73	1,91	0,69	0,15
2019	5,35	170,62	13,41	0,79	0,49	9,91	8,76	16,89	15,64	6,20	6,05	11,62
2020	0,60	4,99	22,14	0,30	2,20	13,15	11,93	16,65	2,65	1,16	0,01	0,14
Suma	86,47	344,66	886,42	109,67	15,95	64,39	110,15	132,55	106,58	38,80	59,72	57,68

Tabla 52*Resultados del índice de eficiencia de Nash Sutcliffe para los caudales aceptados 2012-2020*

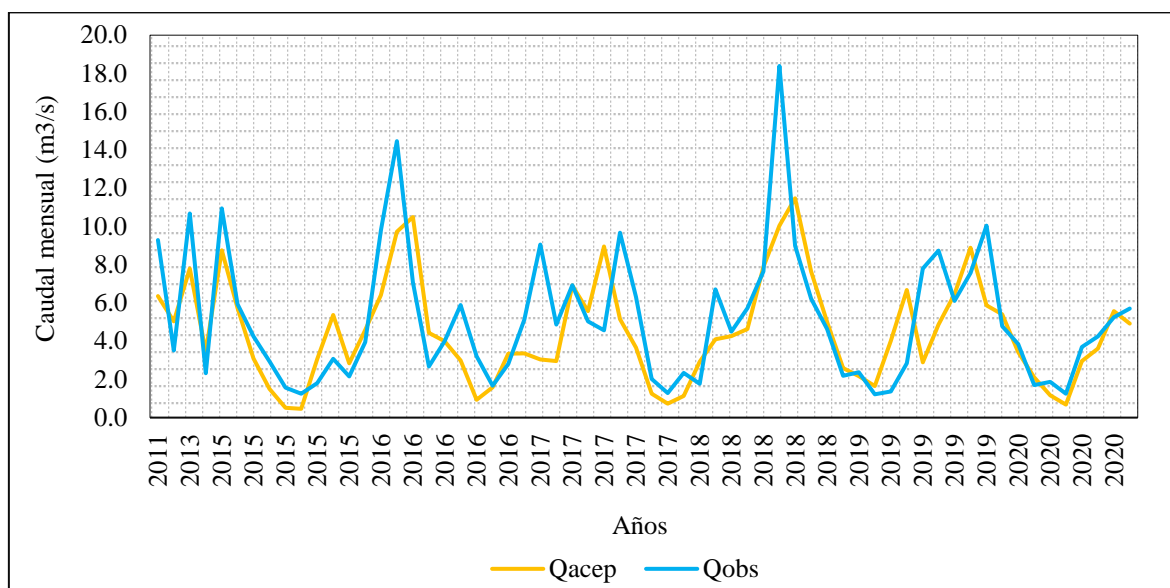
Valor	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Total
A	33,8	123,9	230,7	58,9	22,9	17,5	8,9	3,7	21,5	51,1	78,6	35,5	687,1
B	86,5	344,7	886,4	109,7	15,9	64,4	110,2	132,5	106,6	38,8	59,7	57,7	2013,0
E	0,61	0,64	0,74	0,46	-0,44	0,73	0,92	0,97	0,80	-0,32	-0,32	0,38	0,66
Ajuste	Muy bueno	Muy bueno	Muy bueno	Bueno	insuficiente	Muy bueno	Excelente	Excelente	Excelente	Insuficiente	Insuficiente	Satisfactorio	Muy bueno

Nota. Elaboración propia generada a partir del criterio estadístico de Eficiencia de Nash Sutcliffe (NSE)

Como se observa en la Tabla 52, se obtuvieron de buenos a excelentes resultados durante 8 meses, 1 mes de resultado satisfactorio y 3 meses de resultados insuficientes durante el mes de mayo, octubre y noviembre. Pese a ello, se obtuvo un valor total de 0,66, valor correspondiente a nivel “Muy bueno” según los criterios de la Tabla 44, lo cual indica que hubo un mejor ajuste entre el caudal generado y el caudal observado para ese periodo. En la Figura 12 se muestra la gráfica de los caudales aceptados y observados para el periodo 2012-2020, en la cual se observa un nivel de ajuste muy bueno.

Figura 12

Caudales aceptados y observados para el periodo 2012-2020



Nota. Elaboración propia generada a partir de la data de caudales aceptados y caudales observados obtenido de la Central Hidroeléctrica Gera

2.7. Identificación de variables y su mensuración

Variable dependiente (X)

Esta variable está constituida por los caudales medios mensuales; cuya variable fue calculada y analizada mediante el método de Lutz Scholz, a fin de conocer la disponibilidad hídrica de la subcuenca del río Gera, tal como se observa en la Tabla 50.

Variable independiente (Y)

Son aquellos parámetros utilizados en la aplicación del modelo de Lutz Scholz; estas variables, permitieron estimar los caudales medios mensuales, los cuales fueron comparados con los datos de caudales aforados en la zona de estudio, éstos parámetros fueron: precipitación efectiva, evapotranspiración, coeficiente de escorrentía, retención de la cuenca, coeficiente de agotamiento, almacenamiento hídrico, retención hídrica, gasto de la retención, longitud del cauce principal, entre otros parámetros que se detallan en la Tabla 53.

Tabla 53*Identificación de variables y su mensuración*

Variables	Indicadores	Unidad de Medida
<i>Variable Dependiente:</i> Disponibilidad hídrica	Caudal	m ³ /s
	Temperatura	°C
	Coefficiente de escurrimiento	-
	Precipitación efectiva	mm
	Coefficiente de agotamiento	-
<i>Variable Independiente:</i> Parámetros de Lutz Scholtz	Retención de la subcuenca	mm/mes
	Longitud/distancia del cauce principal	km
	Área de la subcuenca	km ²
	Pendiente de la subcuenca	%
	Longitud	km
	Perímetro	km

2.8. Análisis estadístico de los datos

- ***Análisis de consistencia del parámetro de precipitación***

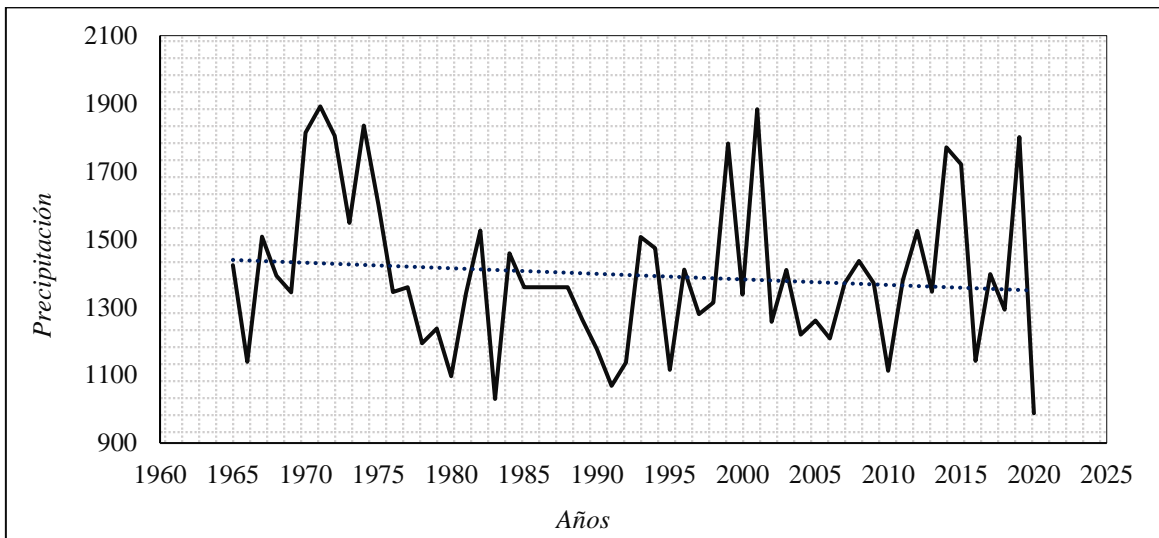
Para analizar la consistencia de datos de precipitación (ver Apéndice 2) se procedió a realizar 3 pasos fundamentales: el análisis de saltos, la cuantificación y la corrección de saltos, para ello se utilizaron fórmulas de la prueba de t-Student y la prueba de Fisher para analizar la media y la variabilidad.

- **Análisis de saltos**

Identificación de saltos. Teniendo en cuenta la data inicial, de la cual se identificaron posibles años con información sesgada se procedió a graficar los datos y verificar la presencia de saltos, tal como se puede visualizar en la Figura 13.

Figura 13

Identificación de saltos mediante el análisis gráfico 1965-2020

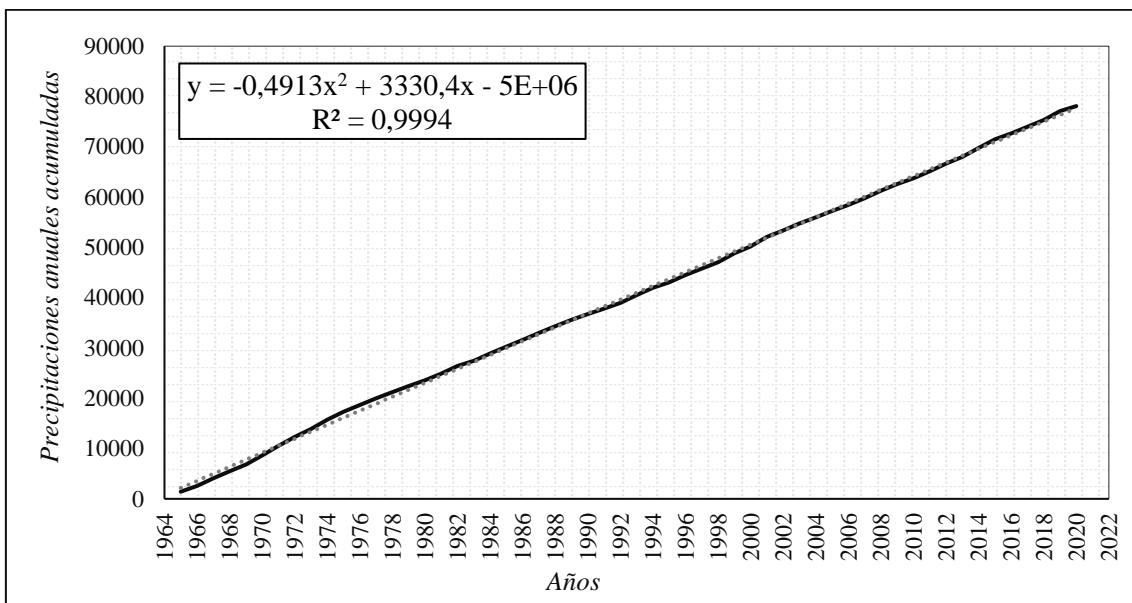


Nota. Elaboración propia a partir de la data meteorológica de SENAMHI

Posterior al análisis gráfico, se realizó el análisis de doble masa. Aquí se observaron puntos de quiebre en los años identificados anteriormente como posibles saltos, tal como se observa en la Figura 14.

Figura 14

Análisis de doble masa para la identificación de saltos periodo 1965-2020

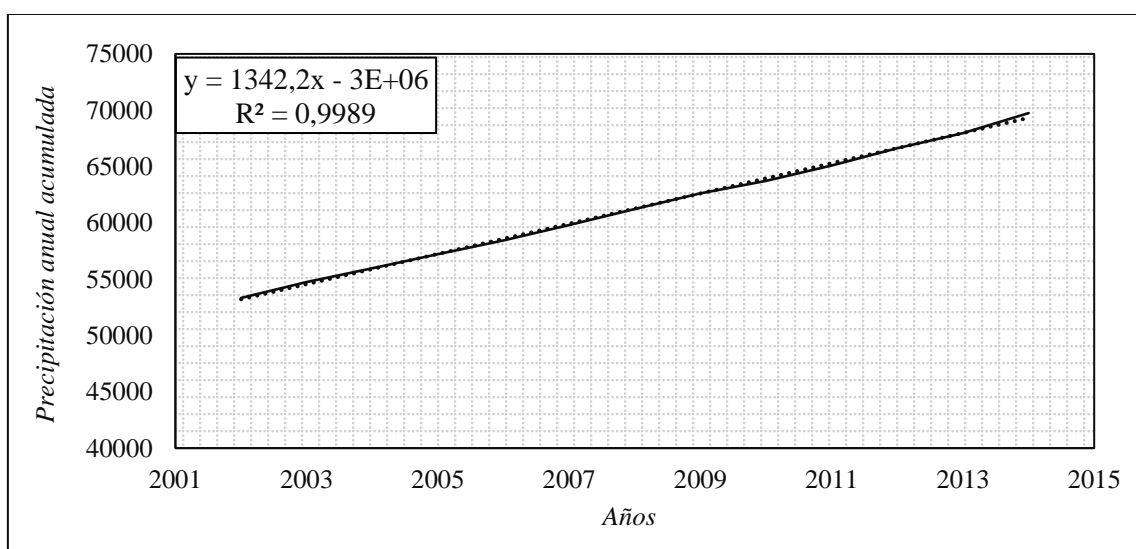


Nota. Elaboración propia a partir de la data meteorológica de SENAMHI

Para el análisis gráfico y de doble masa, los cuales indican la existencia de saltos, se decidió realizar el análisis estadístico a fin de conocer con mayor precisión los años que requieren corrección. Para este proceso, como se cuenta con una sola estación meteorológica, según el marco teórico, se debe elegir un periodo que garantice mayor confiabilidad de la data a fin de calcular la consistencia de su media y desviación estándar. De ese modo, ser comparado con la desviación estándar y media de cada periodo o año de data inconsistente y quedar demostrado mediante la prueba de t-Student y Fisher. Para ello, se procedió a realizar el proceso, y de toda la data existente, se eligió al periodo consistente entre el año 2002 al 2014, la cual presentó un coeficiente de correlación de 0,99, este periodo confiable se utilizó como base para homogenizar la información y garantizar su confiabilidad en su totalidad, como se muestra a continuación en la Figura 15.

Figura 15

Periodo confiable de la data de precipitación media anual existente 2002-2014



Nota. Elaboración propia a partir de la data meteorológica de SENAMHI

Teniendo en cuenta el análisis gráfico, el análisis de doble masa y sabiendo cuál es el periodo confiable, se realizó el análisis estadístico de consistencia de los datos mediante las pruebas de t-Student (t) y de Fisher (F), haciendo uso de las siguientes fórmulas:

Consistencia de la media. Para este parámetro se utiliza, el método t-Student, para verificar si los valores proceden de la misma población (Aliaga, 1983). A continuación, se detalla la

fórmula de la prueba “T” (Villón, 2019).

$$T_c = \frac{(\bar{X}_1 - \bar{X}_2)}{S_d}$$

Donde:

T_c : T calculado

\bar{X}_1 : promedio del periodo no confiable

\bar{X}_2 : promedio del periodo confiable

S_d : desviación estándar del periodo confiable

Criterios de decisión:

- Si $T_c < T_t$ (95 %) ➔Entonces $x_1 = x_2$, la prueba es estadísticamente rechazada.
- Si $T_c > T_t$ (95 %) ➔Entonces $x_1 \neq x_2$, la prueba es significativa y por ende los datos requieren corrección.

Para el T tabular, se utilizará las tablas estadísticas con $\alpha = 5 \%$ de significancia y con grados de libertad $G.N = n_1 + n_2 - 2$

Consistencia de la desviación estándar. Este análisis se desarrolla a través de la prueba “F”, mediante la siguiente fórmula (Aliaga, 1983):

$$S_1^2 = \frac{1}{n_1 - 1} \sum_{i=1}^{n_1} (X_1 - \bar{X}_1)^2 \qquad S_2^2 = \frac{1}{n_2 - 1} \sum_{i=1}^{n_2} (X_2 - \bar{X}_2)^2$$

La estadística “F” entonces, se establece para la hipótesis planteada y alterna, como el nivel de significancia (Villón, 2019).

Donde:

$H_p: \sigma_1^2 = \sigma_2^2$ (variancias poblacionales)

F_c : F calculado

$H_a: \sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$ $\alpha = 0,05$

F_t : F tabular

α : nivel de significancia

G.L: grados libertad

Para el F tabular, se utilizó la tabla estadística de Fisher con $\alpha = 5 \%$ de significancia y con grados de libertad $G. L. = n_1 + n_2 - 2$. Con las fórmulas mostradas tanto para “T” como

para “F” se procedió a realizar el cálculo para los años 1985, 1986, 1987, 1988 y 2020, mediante la siguiente fórmula (Villón, 2019).

$$Y_c = \left(\frac{Y_{pd} - \bar{X}_{pd}}{S_{pd}} \right) (S_{pc}) + (\bar{X}_{pc})$$

A continuación, se muestra el análisis realizado para los cinco años, cuyos resultados se muestran en las Tablas 54, 55, 56, 57y 58.

Tabla 54

Análisis de consistencia para el año 1985

Datos para T		Datos para F		Periodo no confiable		Periodo confiable	
Sp	58,894	GLN	155	Media	37,1917	Media	113,250
Sd	17,643	GLD	11	D est. (S1)	20,579	D est. (S2)	60,701
GL	166,000	α	0,05	n₁	12	n₂	156
α	0,025	Ft	T, Fisher	Varianza	423,504	Varianza	3 684,617
Tt	Tabla t- Student	-	-				
Prueba de		<i>Prueba t-Student</i>		Tc	-4,3110	Tt	1,9744
Consistencia		<i>Prueba de Fisher</i>		Fc	8,700	Ft	2,438

En la Tabla 54, se visualiza el valor de T calculado (Tc), cuyo valor es menor que T tabular (Tt), la cual, responde al criterio: *si Tc < Tt* el análisis es consistente y no requiere corrección, sin embargo, en esta situación Tc es menor, pero con valor negativo, lo cual le convierte en dato inconsistente. Para el caso de la prueba de Fisher se observa que F calculado (Fc) es mayor que F tabular (Ft), lo cual no responde al criterio: *si Fc < Ft*, significa que deben corregirse los datos porque no son consistentes; por lo tanto, el año 1985 debe ser corregido.

Tabla 55*Análisis de consistencia para el año 1986*

Datos para T		Datos para F		Periodo no confiable		Periodo confiable	
Sp	58,993	GLN	155	Media	51,5917	Media	113,250
Sd	17,673	GLD	11	D est. (S1)	24,474	D est. (S2)	60,701
GL	166,000	α	0,05	n₁	12	n₂	156
α	0,025	Ft	Tabla Fisher	Varianza	598,979	Varianza	3 684,617
Tt	Tabla t-Student	-	-	-	-	-	-
Prueba de		Prueba t-Student		Tc	-3,4889	Tt	1,9744
Consistencia		Prueba de Fisher		Fc	6,151	Ft	2,438

Como se observa en la Tabla 55, el valor de T calculado (Tc) es menor que T tabular (Tt), la cual responde al criterio: *si $Tc < Tt$* el análisis es consistente y no requiere corrección, sin embargo, para esta ocasión Tc es menor, pero con valor negativo, lo cual indica que la data es inconsistente. Para el caso de la prueba de Fisher se observa que F calculado (Fc) es mayor que F tabular (Ft), lo cual no responde al criterio: *si $Fc < Ft$* el análisis es consistente y no requiere corrección. Por lo que, el año 1986 también debe ser corregido.

Tabla 56*Análisis de consistencia para el año 1987*

Datos para T		Datos para F		Periodo no confiable		Periodo confiable	
Sp	59,668	GLN	155	Media	41,875	Media	113,250
Sd	17,875	GLD	11	D est. (S1)	42,519	D est. (S2)	60,701
GL	166,00	α	0,05	n₁	12	n₂	156
α	0,025	Ft	Tabla Fisher	Varianza	1 807,849	Varianza	3 684,617
Tt	Tabla t-Student	-	-	-	-	-	-
Prueba de		Prueba t-Student		Tc	-3,9930	Tt	1,9744
Consistencia		Prueba de Fisher		Fc	2,038	Ft	2,438

De acuerdo a la Tabla 56, el valor de T calculado (Tc) es menor que T tabular (Tt), la cual responde al criterio: *si $Tc < Tt$* el análisis es consistente y no requiere corrección, sin

embargo, para esta ocasión T_c es menor, pero con valor negativo, lo cual indica que la data es inconsistente. Para el caso de la prueba de Fisher se observa que F calculado (F_c) es mayor que F tabular (F_t), lo cual responde al criterio: si $F_c < F_t$ el análisis es consistente y no requiere corrección. Pero, del mismo modo para el año 1987 también debe ser corregido para regular el criterio de t-Student (t).

Tabla 57

Análisis de consistencia para el año 1988

Datos para T		Datos para F		Periodo no confiable		Periodo confiable	
Sp	58,951	GLN	155	Media	44,3083	Media	113,250
Sd	17,660	GLD	11	D est. (S1)	22,916	D est. (S2)	60,701
GL	166,000	α	0,05	n₁	12	n₂	156
α	0,025	Ft	Tabla Fisher	Varianza	525,121	Varianza	3 684,617
Tt	Tabla t-Student	-	-	-	-	-	-
Prueba de Consistencia		<i>Prueba t-Student</i>		Tc	-3,9038	Tt	1,9744
		<i>Prueba de Fisher</i>		Fc	7,017	Ft	2,438

Como se visualiza en la Tabla 57, el valor de T calculado (T_c) es menor que T tabular (T_t), la cual responde al criterio: si $T_c < T_t$ la data es consistente y no requiere corrección; sin embargo, para esta ocasión T_c es menor, pero con valor negativo, lo cual indica que la data es inconsistente. Del mismo modo, para la prueba de Fisher se observa que F calculado (F_c) es mayor que F tabular (F_t), lo cual no responde al criterio: si $F_c < F_t$ la data es consistente y no requiere corrección. Por lo que, el año 1988 debe ser corregido.

Tabla 58*Análisis de consistencia para el año 2020*

Datos para T		Datos para F		Periodo no confiable		Periodo confiable	
Sp	60,498	GLN	155	Media	123,4625	Media	113,250
Sd	21,931	GLD	7	Dest. (S1)	55,801	D est. (S2)	60,701
GL	162,000	α	0,05	n₁	8	n₂	156
α	0,025	Ft	Tabla Fisher	Varianza	3 113,788	Varianza	3 684,617
Tt	Tabla t-Student	-	-	-	-	-	-
Prueba de	Prueba t-Student	Tc	0,4657	Tt	1,9747		
Consistencia	Prueba de Fisher	Fc	1,183	Ft	3,259		

De acuerdo con lo observado en la Tabla 58, el valor de las pruebas de t-Student y Fisher cumplen al criterio: si $Tc < Tt$; si $Fc < Ft$, la data es consistente y no requiere corrección.

Sin embargo, en la data recopilada de precipitación para el año 2020, los meses de abril a julio no presentaron registro alguno, si bien según el cálculo estadístico, este año no requiere corrección, pero teniendo en cuenta que los meses antes mencionados se encuentran sin registro se procederá de igual manera a corregir la data y garantizar que los datos sean consistentes.

Cuantificación de saltos. De acuerdo con los resultados mostrados en las Tablas 54, 55, 56, 57 y 58 de los años identificados anteriormente como posibles saltos, solo cuatro de ellos presentan saltos en su data tanto en la media y la variabilidad, sin embargo, como se explica en la Tabla 58, para el año 2020 también se procederá a la corrección de su data ya que presenta 4 meses consecutivos sin registro. Por lo tanto, los años que requieren corrección son: 1985, 1986, 1987, 1988 y 2020 correspondientemente.

Corrección de saltos. Luego de conocer cuántos y cuáles son los años que presentan información inconsistente, se procedió a realizar la corrección, utilizando la siguiente fórmula (Villón, 2019) y cuyos resultados se muestran en las Tablas 59, 60, 61, 62 y 63.

$$Y_c = \left(\frac{Y_{pd} - \bar{X}_{pd}}{S_{pd}} \right) (S_{pc}) + (\bar{X}_{pc})$$

Tabla 59

Proceso de corrección para el año 1985

Datos para T		Datos para F		Periodo no confiable		Periodo confiable	
Sp	60,701	GLN	155	Media	113,2500	Media	113,250
Sd	18,184	GLD	155	D est. (S1)	60,701	D est. (S2)	60,701
GL	166,000	α	0,05	n₁	12	n₂	156
α	0,025	Ft	Tabla de Fisher	Varianza	3 684,617	Varianza	3 684,617
Tt	Tabla t-Student	-	-	-	-	-	-
Prueba de		<i>Prueba t-Student</i>		Tc	0,0000	Tt	1,9744
Consistencia		<i>Prueba de Fisher</i>		Fc	1,000	Ft	2,438

Como se aprecia en la Tabla 59, el valor de T y F calculado es menor que T y F tabular, la cual responde al siguiente criterio: *si Tc < Tt; si Fc < Ft, el análisis es consistente y no requiere corrección.* Por lo tanto, los datos tratados que se muestran en la Tabla 59 para el año 1985, son consistentes y confiables.

Tabla 60

Proceso de corrección para el año 1986

Datos para T		Datos para F		Periodo no confiable		Periodo confiable	
Sp	60,627	GLN	155	Media	113,8096	Media	113,250
Sd	18,162	GLD	11	D est. (S1)	59,569	D est. (S2)	60,701
GL	166,000	α	0,05	n₁	12	n₂	156
α	0,025	Ft	Tabla Fisher	Varianza	3 548,490	Varianza	3 684,617
Tt	Tabla t-Student	-	-	-	-	-	-
Prueba de		<i>Prueba t-Student</i>		Tc	0,0308	Tt	1,9744
Consistencia		<i>Prueba de Fisher</i>		Fc	1,038	Ft	2,438

Como se aprecia en la Tabla 60, el valor de T y F calculado es menor que T y F tabular, la cual responden al siguiente criterio: *si Tc < Tt; si Fc < Ft, el análisis es consistente y no*

requiere corrección. Por lo tanto, los datos tratados que se muestran en la Tabla 60 para el año 1986, son consistentes y confiables.

Tabla 61

Proceso de corrección para el año 1987

Datos para T		Datos para F		Periodo no confiable		Periodo confiable	
Sp	60,701	GLN	155	Media	113,2500	Media	113,250
Sd	18,184	GLD	155	D est. (S1)	60,701	D est. (S2)	60,701
GL	166,000	α	0,05	n₁	12	n₂	156
α	0,025	Ft	Tabla Fisher	Varianza	3 684,617	Varianza	3 684,617
Tt	Tabla t-Student	-	-	-	-	-	-
Prueba de		Prueba t-Student		Tc	0,0000	Tt	1,9744
Consistencia		Prueba de Fisher		Fc	1,000	Ft	2,438

Como se aprecia en la Tabla 61, el valor de T y F calculado es menor que T y F tabular, la cual responde al siguiente criterio: *si $Tc < Tt$; si $Fc < Ft$, el análisis es consistente y no requiere corrección.* Por lo tanto, los datos tratados que se muestran en la Tabla 61 para el año 1987, son consistentes y confiables.

Tabla 62

Proceso de corrección para el año 1988

Datos para T		Datos para F		Periodo no confiable		Periodo confiable	
Sp	60,701	GLN	11	Media	113,2500	Media	113,250
Sd	18,184	GLD	155	D est. (S1)	60,701	D est. (S2)	60,701
GL	166,000	α	0,05	n₁	12	n₂	156
α	0,025	Ft	Tabla Fisher	Varianza	3 684,617	Varianza	3 684,617
Tt	Tabla t-Student	-	-	-	-	-	-
Prueba de		Prueba t-Student		Tc	0,0000	Tt	1,9744
Consistencia		Prueba de Fisher		Fc	1,000	Ft	1,851

Como se aprecia en la Tabla 62, el valor de T y F calculado es menor que T y F tabular; la cual, responde al siguiente criterio: *si $T_c < T_t$; si $F_c < F_t$, el análisis es consistente y no requiere corrección*. Por lo tanto, los datos tratados que se muestran en la Tabla 62 para el año 1988, son consistentes y confiables para su utilización.

Tabla 63

Proceso de corrección para el año 2020

Datos para T		Datos para F		Periodo no confiable		Periodo confiable	
Sp	60,012	GLN	155	Media	114,5664	Media	113,250
Sd	17,978	GLD	11	D est. (S1)	49,292	D est. (S2)	60,701
GL	166,000	α	0,05	n_1	12	n_2	156
α	0,025	Ft	Tabla Fisher	Varianza	2 429,674	Varianza	3 684,617
Tt	Tabla t-Student	-	-	-	-	-	-
Prueba de Consistencia		Prueba t-Student		Tc	0,0732	Tt	1,9744
		Prueba de Fisher		Fc	1,517	Ft	2,438

Como se aprecia en la Tabla 63, el valor de T y F calculado es menor que T y F tabular, la cual responden al siguiente criterio: *si $T_c < T_t$; si $F_c < F_t$, el análisis es consistente y no requiere corrección*. Por lo tanto, los datos tratados que se muestran en la Tabla 63 para el año 2020, son consistentes y confiables para su utilización.

● **Análisis de tendencias de datos hidrometeorológicos**

Análisis de tendencia en la media. Para el siguiente análisis primero se procesó la información de la precipitación total mensual (mm) de la estación de Jepelacio y se ordenaron los datos por mes durante el periodo 1965 - 2020 (ver Apéndices 15 y 16), obteniendo una suma total de 672 meses. Posteriormente se calcularon los parámetros utilizando las siguientes fórmulas (Villón, 2019):

$$T_m = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n T_{mi} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x(\hat{t})_i \quad \overline{t \cdot T_m} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n t_i \cdot T_{mi} \quad \bar{t} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n t_i$$

Posterior a ello, se calcularon los siguientes parámetros para el análisis de tendencia, cuyos resultados se muestran a continuación en la Tabla 64.

Tabla 64

Parámetros calculados para el análisis de tendencia en la media

i	=	672 meses
t prom	=	336,500
St	=	194,134
Tm prom	=	117,71
Stm	=	66,85
(t*Tm) prom	=	39 161,18

Luego se procedió a encontrar el valor de R, cuyo resultado fue de -0,034, utilizando la fórmula siguiente (Villón, 2019):

$$R = \frac{tT_m - tT_m}{S_t \cdot S_{tm}} \quad R = -0,034$$

Posterior a ello, se realizó la prueba de t-Student. Para T calculado se trabajó con la fórmula que se muestra a continuación (Villón, 2019):

$$t_c = \frac{R\sqrt{n-2}}{\sqrt{1-R^2}} \quad T_c = 0,8920$$

Para T tabular se hizo uso de la tabla para T tabular considerando los grados de libertad el grado de significancia.

$$\begin{aligned} \mathbf{G.L} &= 670,000 & T_t &= \mathbf{1,9600} \\ & & \alpha/2 &= 0,025 \end{aligned}$$

Posteriormente, se realizó la comparación de Tc y Tt, donde se obtuvo:

$$\mathbf{T_c = 0,8920} \quad \mathbf{T_t = 1,9600}$$

De acuerdo con los criterios establecidos $T_t > T_c$, por lo tanto, los datos son consistentes.

Análisis de tendencias en la varianza

Tabla 65

Dispersión de datos para cada periodo anual

Año	Periodo (t)	Sp	t*Sp
1965	1	50,949	50,949
1966	2	60,972	121,944
1967	3	59,149	177,448
1968	4	45,071	180,283
1969	5	49,857	249,284
1970	6	89,429	536,576
1971	7	85,582	599,074
1972	8	98,072	784,578
1973	9	49,425	444,825
1974	10	78,174	781,738
1975	11	43,800	481,804
1976	12	46,961	563,527
1977	13	91,781	1 193,156
1978	14	46,608	652,518
1979	15	68,342	1 025,130
1980	16	74,075	1 185,208
1981	17	92,931	1 579,830
1982	18	116,525	2 097,454
1983	19	71,194	1 352,680
1984	20	69,695	1 393,900
1985	21	60,701	1 274,722
1986	22	59,569	1 310,522
1987	23	60,701	1 396,124
1988	24	60,701	1 456,825
1989	25	76,271	1 906,777
1990	26	89,563	2 328,639
1991	27	65,435	1 766,736
1992	28	66,752	1 869,054
1993	29	88,400	2 563,611
1994	30	56,515	1 695,454
1995	31	51,310	1 590,616
1996	32	74,329	2 378,539
1997	33	66,437	2 192,425

Continuación

1998	34	57,506	1 955,198
1999	35	71,065	2 487,287
2000	36	41,677	1 500,387
2001	37	84,033	3 109,209
2002	38	45,201	1 717,639
2003	39	49,602	1 934,487
2004	40	44,200	1 768,019
2005	41	61,933	2 539,243
2006	42	40,320	1 693,459
2007	43	68,532	2 946,856
2008	44	56,249	2 474,976
2009	45	39,374	1 771,841
2010	46	48,779	2 243,853
2011	47	82,166	3 861,800
2012	48	64,972	3 118,661
2013	49	85,749	4 201,699
2014	50	85,934	4 296,716
2015	51	60,987	3 110,326
2016	52	55,104	2 865,428
2017	53	56,907	3 016,080
2018	54	47,261	2552,107
2019	55	56,411	3 102,622
2020	56	49,292	2 760,337

Posteriormente, se calcularon los siguientes parámetros necesarios para obtener los valores de t-Student.

t prom	=	336,500
St	=	194,134
Tm prom	=	117,71
Stm	=	66,85
(t*Tm) prom=		39 161,18

Luego, proseguimos a calcular el valor de R, aplicando la misma fórmula anterior que se muestra a continuación (Villón, 2019):

$$R = \frac{\overline{tT_m} - \overline{t} \overline{T_m}}{S_t \cdot S_{tm}}$$

$$R = -0,186$$

Seguidamente, se aplicó la prueba de t-Student y para T calculado utilizamos la misma fórmula, cuyo resultado se muestra a continuación (Villón, 2019):

$$t_c = \frac{R\sqrt{n-2}}{\sqrt{1-R^2}} \quad T_c = 1,3925$$

Finalmente se procedió a calcular T tabular con el apoyo de la tabla considerando los valores de Grados Libertad y el nivel de significancia de 0,025.

G.L =	54,000
$\alpha/2$ =	0,025
T_t =	2,0049

Como se puede observar, el valor de T calculado es menor a T tabular, lo cual responde al criterio si $T_c < T_t$, los datos son consistentes y por tanto no requieren corrección.

$$T_c = 1,3925 \quad T_t = 2,0049$$

- **Completación y extensión de datos hidrometeorológicos**

Para el año 2020, cuya característica particular fueron los datos faltantes en cuatro meses consecutivos, se procedió a realizar la completación de datos mediante la fórmula de regresión lineal simple. Luego de la completación de datos se realizó nuevamente la prueba estadística de t-Student y Fisher para verificar la consistencia de la data y llegar al nivel de significancia confiable. La completación de datos se realizó previo a la corrección de datos y los resultados se muestran en el acápite anterior de corrección de datos.

Fórmula de regresión lineal utilizada (Villón, 2019):

$$Y = \frac{\bar{Y}}{\bar{X}} X$$

Donde:

Y: variable dependiente

\bar{Y} : promedio del periodo no confiable

\bar{X} : promedio del periodo confiable

X: variable independiente

Análisis de consistencia de temperatura

Para este proceso se analizó la data de temperatura existente a partir del 2010 - 2020 otorgada por la estación meteorológica de Japelacio (ver Apéndices 3 y 4). Luego, en la data de temperaturas mínimas se identificaron datos faltantes para mayo, junio, octubre y noviembre del año 2019 y, los meses de abril a julio del 2020. Asimismo, en el periodo de temperaturas máximas se identificaron datos faltantes en los meses de octubre y noviembre para el año 2019 y de abril a julio del año 2020. Por lo tanto, para garantizar la consistencia de los datos de temperatura mínimas y máximas, se procedió a realizar la completación de datos mediante la siguiente fórmula, cuyos resultados se muestran en las Tablas 66 y 67.

$$Y = \frac{\bar{Y}}{\bar{X}} X$$

Donde:

Y: variable dependiente

\bar{Y} : promedio del periodo no confiable

\bar{X} : promedio del periodo confiable

X: variable independiente

Tabla 66

Temperaturas mínimas corregidas para el periodo 2010-2020

Temperatura mínima promedio mensual (°C)													
Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Promedio
2010	17,6	18,1	17,8	17,9	17,9	16,6	16,4	14,9	16	17,1	18,2	18,1	17,2
2011	17,9	17,4	18,1	17,2	17,3	16,9	15,5	14,8	16	17,7	17,8	18,1	17,1
2012	17,6	17,4	17,1	17,6	16,3	15,3	15,1	15,7	15,3	17,3	17,8	18,7	16,8
2013	17,9	17,9	18,6	16,7	17,8	16,6	14,9	16	16	17,4	18	18,1	17,2
2014	18,2	18,1	18,5	17,7	18,1	17,4	16,3	16,1	15,1	16,3	17,8	17,5	17,3
2015	17,2	18	17,3	17,1	17,2	15,6	17	16,7	17	18,1	19	18	17,4
2016	18,7	19,1	18,9	18,5	17,5	16,6	14,7	16,7	16,4	18,1	17,4	17,1	17,5
2017	17,1	17,6	17,1	16,9	16,8	16,1	13,9	14,7	15,2	15,3	15,2	15,3	15,9
2018	15,4	15,3	15,4	14,8	15,7	15,7	15,7	15,8	15,9	15,8	15,7	15,9	15,6
2019	16	16,6	17,1	17,2	16,9	16,0	16,2	15,9	16,1	16,7	17,1	17,6	16,6
2020	18,1	18,5	18,4	18,1	18,1	17,2	16,3	17,4	17,3	17,5	17,3	17,5	17,6
Prom	17,43	17,64	17,66	17,24	17,23	16,36	15,64	15,88	16,03	17,03	17,39	17,45	16,92

Como se aprecia en la Tabla 66, se logró completar los datos faltantes tanto para el año 2019 y 2020. Este mismo procedimiento se realizó para las temperaturas máximas que se muestran a continuación, en la Tabla 67.

Tabla 67

Temperaturas máximas corregidas para el periodo 2010-2020

Temperatura máxima promedio mensual (°C)													
Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Promedio
2010	28,2	29	29,4	28,7	28,2	28,1	27,6	29,7	30	29,9	28,8	28,6	28,9
2011	27,8	27,4	27,1	28	27,9	27,8	27,9	29,2	28,9	28,8	28,8	27,9	28,1
2012	27,3	25,8	27,6	27,7	27,8	27,6	28	29,5	29,1	28,6	29,5	27,8	28,0
2013	27,6	27,3	28,2	29	28,1	27,6	27,7	27,8	29,3	29	29,2	28	28,2
2014	27	26,1	25,2	25,5	24,5	24,2	25	25,1	25	26,2	28,3	27	25,8
2015	26,6	27,8	27,4	27,3	27,1	27,3	27,5	28,5	29,1	29,3	29,2	27	27,8
2016	29	27,3	27,3	27,9	27,6	26	27,5	29,1	29,3	29	29,6	27,7	28,1
2017	26,6	26,5	26,5	26,6	27,3	26,6	26,6	28	27,4	26,4	26,9	26,3	26,8
2018	26	26,4	25,7	26	26,9	26,3	26,3	26,9	27,2	26,1	26	26,4	26,4
2019	25,9	25,3	26,4	26,8	26,8	26,9	26,9	27,1	27,6	27,23	27,55	27	26,8
2020	26,9	27,4	27,5	26,88	26,74	26,32	26,60	27,2	26,3	26,9	27,6	26,5	26,9
Prom	27,17	26,94	27,12	27,31	27,18	26,79	27,05	28,01	28,11	27,95	28,31	27,29	27,44

En la Tabla 68 se presenta las temperaturas promedio mensuales y el promedio total con la que se trabajó para esta investigación.

Tabla 68

Promedios de temperatura máxima y mínima mensual para un año promedio (2010-2020)

Promedios	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Promedio
Prom-Máx	27,2	26,9	27,1	27,3	27,2	26,8	27,1	28,0	28,1	28,0	28,3	27,3	27,4
Prom-Mín	17,4	17,6	17,7	17,2	17,2	16,4	15,6	15,9	16,0	17,0	17,4	17,5	16,9

Análisis de consistencia para la evapotranspiración

Para el análisis de este parámetro, se trabajó en base a la humedad relativa que se muestra en la Tabla 69, con el cual se logró calcular la evapotranspiración potencial haciendo uso de la fórmula descrita en las bases teóricas, correspondiente al método de Hargreaves. Para ello, primero se analizó la data existente desde 2017 hasta el 2020; la cual, no era consistente, por ello, se verificó la ausencia de datos en el mes de noviembre del 2019 y de abril a junio del 2020. Por lo tanto, se procedió a realizar la completación de datos con el método de promedios aritméticos apoyándose de la herramienta Excel. A continuación, se muestra la Tabla 69 con los respectivos años completados:

Tabla 69

Data de humedad relativa para la determinación de la evapotranspiración potencial

Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
2017	88,56	86,32	87,12	86,37	87,83	87,11	88,62	88,50	89,52	90,68	91,57	91,96
2018	91,15	91,64	91,21	90,91	90,31	90,33	90,23	89,15	87,56	87,03	88,23	87,51
2019	87,12	89,66	88,63	89,26	89,00	89,03	88,48	88,53	89,28	91,44	90,00	90,34
2020	90,41	90,46	89,03	88,85	89,05	88,82	89,58	90,75	90,75	90,93	90,20	91,35
Prom	89,31	89,52	89,00	88,85	89,05	88,82	89,23	89,23	89,28	90,02	90,00	90,29
Mín	87,12	86,32	87,12	86,37	87,83	87,11	88,48	88,50	87,56	87,03	88,23	87,51
Máx	91,15	91,64	91,21	90,91	90,31	90,33	90,23	90,75	90,75	91,44	91,57	91,96

Posteriormente, haciendo uso de la fórmula de Hargreaves, se logró calcular la evapotranspiración potencial que se presenta la Tabla 70.

Tabla 70*Valores de la evapotranspiración para el año promedio*

Mes	DM	T	TMF	HR	CH	CE	MF	ETP
	días	°C	°F	%	factor.HR	factor. E	mm/mes	mm/mes
Enero	31	22,30	72,14	89,31	0,54	0,98	2,447	93,79
Febrero	28	22,29	72,12	89,52	0,54	0,98	2,205	83,65
Marzo	31	22,39	72,30	89,00	0,55	0,98	2,363	92,07
Abril	30	22,27	72,09	88,85	0,55	0,98	2,117	82,83
Mayo	31	22,21	71,97	89,05	0,55	0,98	1,980	76,64
Junio	30	21,58	70,84	88,82	0,55	0,98	1,820	70,04
Julio	31	21,35	70,42	89,23	0,54	0,98	1,976	74,22
Agosto	31	21,95	71,50	89,23	0,54	0,98	2,103	80,18
Setiembre	30	22,07	71,72	89,28	0,54	0,98	2,226	84,95
Octubre	31	22,49	72,48	90,02	0,52	0,98	2,422	90,12
Noviembre	30	22,85	73,14	90,00	0,52	0,98	2,371	89,11
Diciembre	31	22,37	72,26	90,29	0,52	0,98	2,442	89,35
Promedio	30.42	22,18	71,92	89,38	0,54	0,98	2,21	83,91
Total año	365							1 006,96

CAPÍTULO III: RESULTADOS

3.1. Características morfométricas de la subcuenca del río Gera

A partir del procesamiento de la información cartográfica digital y con apoyo del software ArcGIS y Microsoft Excel, se logró determinar las características morfométricas de la subcuenca del río Gera, dentro de los cuales se subdivide en parámetros generales, de forma, relieve y drenaje, tal como se muestra en la Tabla 71 y en el Apéndice 20.

Tabla 71

Parámetros geomorfológicos de la subcuenca del río Gera

Grupo	Parámetros Geomorfológicos	Unidad	Valor
General	Área	km ²	204,07
	Perímetro	km	86,97
Centro de gravedad	Coordenada UTM - Centroide X	m	289324,14
	Coordenada UTM Centroide Y	m	9313390,97
	Centroide Z	m s.n.m.	1 605,23
Relaciones de Forma	Ancho promedio	km	7,20
	Factor de forma		0,25
	Coeficiente de Compacidad o Índice de Gravelius		1,72
	Rectángulo equivalente Lado Mayor	km	38,13
	Lado Menor	km	5,35
	Cota Mínima	m s.n.m.	1 028,00
	Cota Máxima	m s.n.m.	2 149,00
Relieve	Desnivel total de la subcuenca	m s.n.m.	1 121,00
	Altitud media de la subcuenca	m s.n.m.	1 398,01
	Altitud de frecuencia media	m s.n.m.	1 521,49
	Altitud más frecuente	m s.n.m.	1 100 – 1 200
	Índice de pendiente	%	15,58
	Pendiente media	Criterio Rectángulo equivalente	%
cuenca	Criterio Topográfico	%	38,29
	Criterio de Alvord	%	28,99

Continuación

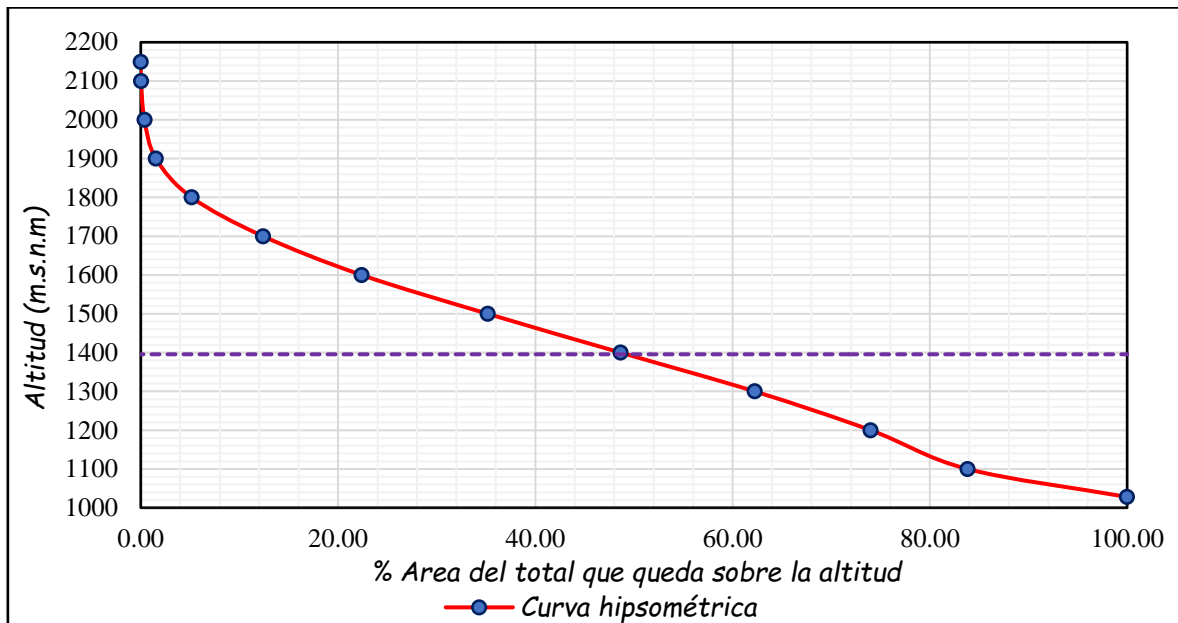
	Orden de la red hídrica		4	
	Orden 1	km	87,15	
Longitud total de ríos	Orden 2	km	30,39	
	Orden 3	km	21,00	
	Orden 4	km	5,52	
	Orden 1		32	
Número de ríos	Orden 2		7	
	Orden 3		3	
	Orden 4		1	
Drenaje	Longitud de cauce principal	km	28,33	
	Longitud de corrientes	km	144,07	
	Densidad de drenaje	km/km ²	0,71	
	Frecuencia de ríos	ríos/km ²	0,21	
	Extensión media de escurrimiento	km	0,35	
	Relación de bifurcación		3,14	
	Coeficiente de torrencialidad	ríos/km ²	0,16	
	Pendiente	Pendiente uniforme	%	3,958
	media-cauce	Ecuación Taylor y Schwarz	%	7,56

Nota. Elaboración propia a partir de la data meteorológica de la ZEE del gobierno regional San Martín

De acuerdo a lo mostrado en la Tabla 71, el valor de la zona de estudio es 204,07 km² y de acuerdo con la clasificación de Ortiz (2004), según el tamaño del sistema hidrográfico, se define al área en su totalidad del río Gera como “subcuenca”, criterio respaldado por la Autoridad Local del Agua en el informe realizado por la Hidroeléctrica del Gera, quien solicitó autorización para el aprovechamiento hídrico. Asimismo, los parámetros indican que la subcuenca adopta una forma alargada, pendiente moderadamente empinada y una red de drenaje de baja densidad. Parte de los parámetros de relieve en la Figura 16 se muestra la gráfica de la curva hipsométrica y en la Figura 17 la gráfica de frecuencia de altitudes.

Figura 16

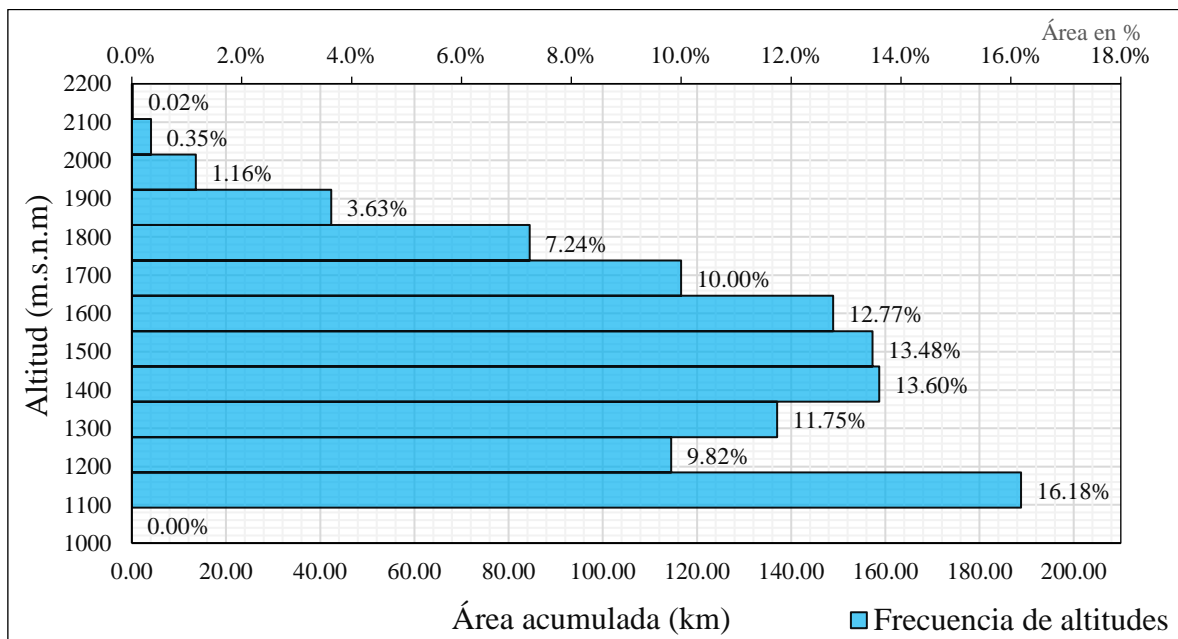
Curva hipsométrica de la subcuenca del río Gera



Nota. Elaboración propia a partir de la data meteorológica de SENAMHI.

Figura 17

Frecuencia de altitudes para la subcuenca del río Gera



Nota. Elaboración propia a partir de la data meteorológica de SENAMHI.

3.2. Estimación de caudales para el año promedio por el modelo determinístico estocástico de Lutz Scholz

Para la estimación de caudales se realizaron los cálculos de parámetros propios del modelo Lutz Scholz, para ello, se trabajó con tres parámetros meteorológicos muy importantes: precipitación, temperatura y Humedad relativa. Para el caso de la precipitación, independiente de las correcciones estadísticas realizadas y considerando la ubicación de la estación meteorológica (parte media y al límite de la subcuenca) se regionalizó la data utilizando la metodología de grillado de Pisco, un método propuesto por la Autoridad Nacional del Agua. A través de este método fue posible la regionalización de la precipitación para la zona de estudio periodo (1965-2020) con promedio total anual de 1839,41 mm (Tabla 19), con la cual se trabajó la precipitación efectiva. Luego se realizó el análisis estadístico de la temperatura periodo 2010-2020, cuyo promedio anual fue de 22,18 °C. La evapotranspiración potencial fue calculada a partir de con la fórmula de Hargreaves cuyo valor total anual fue de 1006,96 mm/mes. Asimismo, se calculó el coeficiente de escorrentía a través de cuatro métodos: L. Turc 0,38; misión alemana 0,31; método de la ONERN 0,33 y método de Prevert 0,38; obteniendo un promedio de 0,35. Sin embargo, durante el proceso de calibración se corrigió y ajustó a 0,50, valor con la cual se trabajó y validó el modelo. Del mismo modo, se obtuvo una precipitación efectiva anual de 919,7 mm, una retención hídrica de 73,56, un coeficiente de agotamiento de 0,0166 y un gato de la retención y abastecimiento hídrico que se especifica en la Tabla 32 y 72. Con estos parámetros calculados se procedió a calcular mediante la fórmula de balance hídrico (parte determinística del modelo) los caudales para el año promedio, cuyos valores de enero a diciembre fueron: 6,966; 7,723; 14,139; 9,137; 4,749; 2,885; 1,605; 1,896; 4,855; 6,550; 5,661 y 5,379 m³/s. En la Tabla 73 y la Figura 18, se observan los caudales generados o estimados para el año promedio en la subcuenca del río Gera.

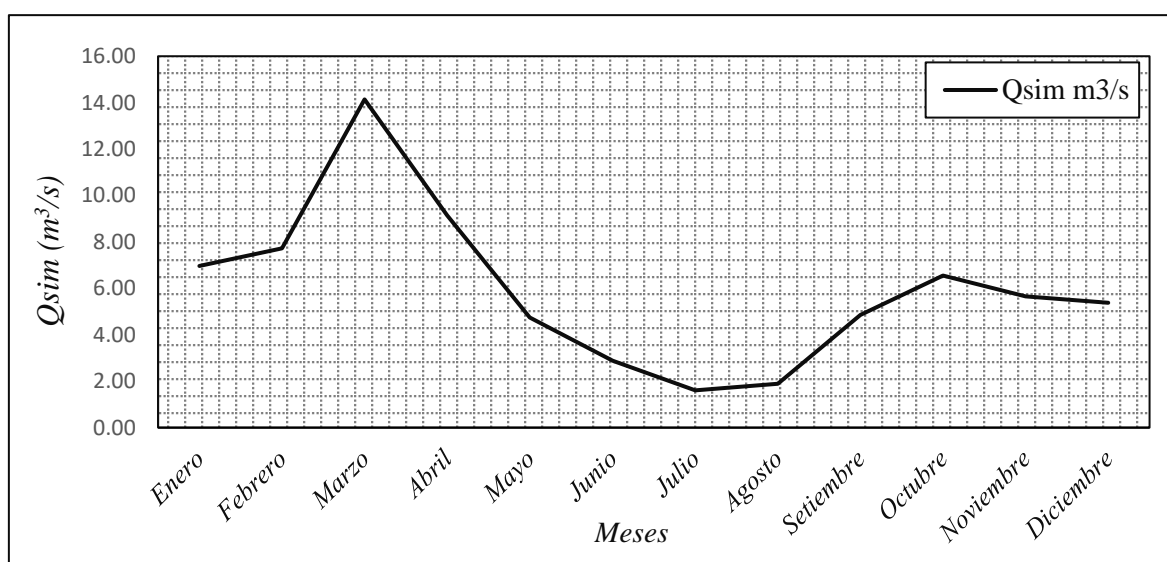
Tabla 72

Caudales medios mensuales estimados para el año promedio

Mes	N° días mes	Precipitación promedio mensual					Contribución de la retención				Q generado		Q aforado
		Precipitación n	Curva I	Curva II	Curva III	PE	Q base (mm/mes)		Abastecimiento (mm/mes)		Q	Q	Q
							bi	Gi	ai	Ai	mm/mes	m ³ /s	m ³ /s
Enero	31	184,7	65,7	102,1	130,5	102,7			0,153	11,3	91,4	6,966	5,288
Febrero	28	184,8	65,9	102,2	130,6	102,8			0,153	11,3	91,6	7,723	10,464
Marzo	31	250,0	184,2	208,0	227,3	208,4			0,311	22,9	185,6	14,139	12,403
Abril	30	170,1	49,9	84,5	112,6	85,1	0,6	31,0			116,1	9,137	8,997
Mayo	31	127,3	19,1	43,6	67,3	44,1	0,4	18,2			62,3	4,749	6,961
Junio	30	98,8	8,4	24,8	43,5	25,2	0,2	11,4			36,6	2,885	3,044
Julio	31	76,8	3,8	14,3	28,6	14,6	0,1	6,5			21,1	1,605	2,008
Agosto	31	90,9	6,4	20,6	37,8	21,0	0,1	3,9			24,9	1,896	1,795
Setiembre	30	144,9	29,3	58,5	84,6	59,1	0,1	2,6			61,7	4,855	2,644
Octubre	31	179,8	60,1	96,0	124,3	96,6			0,144	10,6	86,0	6,550	6,756
Noviembre	30	166,3	46,3	80,2	108,0	80,8			0,120	8,9	71,9	5,661	6,802
Diciembre	31	165,0	45,0	78,7	106,5	79,3			0,118	8,7	70,6	5,379	6,963
Año	365	1 839,4	584,2	913,6	1 201,5	919,7	1,44	73,56	1,000	73,56	919,7		
C	0,50		0,15	0,30	0,45								

Tabla 73*Caudales medios estimados para el año promedio en la subcuenca del río Gera*

Meses	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Q (m^3/s)	6,966	7,723	14,139	9,137	4,749	2,885	1,605	1,896	4,855	6,550	5,661	5,379

Figura 18*Caudales estimados para el año promedio en la subcuenca del río Gera*

3.3. Generación de caudales para un periodo extendido

Los caudales extendidos sintéticos para la subcuenca del río Gera, se generaron para todo el periodo de estudio (1965-2020). Para la generación de estos datos se hizo uso de la precipitación efectiva y los coeficientes estadísticos de regresión lineal: $B_0 = 0,91651$; $B_1 = 0,23803$; $B_2 = 0,75001$; $S = 7,079$ y $R^2 = 0,97$; mediante esta metodología, se calcularon los caudales sintéticos cuyos promedios mensuales 1965-2020 de enero a diciembre fueron: 7,4; 8,5; 13,8; 8,5; 4,6; 2,7; 1,5; 1,6; 4; 6,5; 6,4 y 6,1 m^3/s . En la Tabla 74 se visualizan los caudales sintéticos para todo el periodo de estudio de la subcuenca del río Gera y en la Tabla 75 se muestran los **promedios** mensuales multianuales y el promedio total. Asimismo, la Figura 19, muestra los caudales sintéticos generados para el periodo 1965-2020 con los caudales observados para el periodo 1994-2020 sin calibrar.

Tabla 74*Caudales generados en m³/s para el periodo extendido - subcuenca del río Gera*

Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
1965	6,5	4,9	10,4	8,8	3,3	2,7	1,9	1,9	5,3	6,2	10,4	6,8
1966	2,3	3,4	11,8	8,5	6,8	2,5	1,1	0,8	4,9	6,1	4,0	5,1
1967	7,3	10,5	13,3	8,0	4,4	1,9	1,3	1,3	6,1	8,8	4,5	8,1
1968	5,6	9,0	9,4	8,5	3,8	2,4	1,5	2,1	6,7	8,8	5,6	4,7
1969	5,1	6,3	9,8	6,0	3,0	4,4	1,6	2,2	2,6	7,8	9,2	6,3
1970	7,2	5,7	15,2	14,1	5,0	3,8	2,3	1,5	3,9	8,9	15,3	7,5
1971	10,2	12,0	25,6	10,1	7,6	3,5	2,0	1,4	5,3	7,6	6,8	7,2
1972	11,7	7,5	27,9	14,5	5,4	3,5	2,0	2,5	6,0	6,7	5,5	4,0
1973	10,4	9,5	12,6	10,8	5,0	3,7	2,2	1,9	3,5	7,3	4,8	4,4
1974	8,9	8,1	20,8	13,3	5,9	6,1	2,1	1,8	3,5	5,4	4,9	9,7
1975	11,3	7,9	15,2	8,1	5,9	4,2	2,9	2,8	3,4	5,2	6,4	4,0
1976	7,9	4,6	14,3	7,6	3,4	3,4	1,8	2,1	3,3	6,3	5,9	5,9
1977	6,0	16,3	21,5	15,5	5,2	2,3	1,2	3,2	5,5	9,9	8,4	7,4
1978	5,9	4,5	7,5	6,2	3,3	1,2	1,9	1,7	5,2	9,1	6,9	5,4
1979	4,1	6,7	19,4	9,8	5,0	2,0	1,3	1,7	2,6	5,1	6,2	2,7
1980	11,6	7,2	14,6	7,8	2,7	3,1	1,2	1,4	1,8	3,2	2,7	2,2
1981	11,5	14,2	17,5	5,7	3,4	1,3	1,1	1,2	2,0	2,2	4,0	7,8
1982	5,5	4,1	10,5	5,9	2,8	2,8	1,0	0,6	0,7	11,8	15,3	14,7
1983	15,3	11,3	5,1	2,9	2,7	1,9	1,3	1,1	2,5	4,9	2,5	3,3
1984	8,4	11,6	17,0	10,0	4,3	3,0	1,2	1,4	2,2	5,5	8,9	3,0
1985	11,2	6,9	3,6	3,9	5,0	4,3	2,1	1,7	5,3	4,1	6,8	5,5
1986	6,7	9,3	12,1	6,8	6,9	4,0	2,0	4,1	3,3	1,0	2,7	3,6
1987	6,8	5,8	9,3	7,3	4,2	2,6	1,5	1,8	3,6	4,0	11,8	6,3
1988	9,0	13,0	9,5	7,9	4,8	2,5	1,4	1,6	2,6	3,3	3,4	8,0
1989	9,9	11,0	14,3	9,7	3,7	1,9	0,5	0,4	5,0	7,8	5,9	1,5
1990	9,5	6,7	17,8	7,4	2,1	0,8	0,7	0,7	5,9	7,4	6,5	1,7
1991	7,4	11,4	14,7	6,6	3,1	1,8	1,3	1,8	1,7	4,5	1,5	1,3
1992	1,5	5,6	13,4	4,0	1,3	1,1	0,9	2,1	5,1	8,2	7,5	6,9
1993	5,5	9,4	24,8	10,1	4,7	2,4	1,2	1,1	3,3	8,2	6,0	7,1
1994	5,8	8,4	11,4	11,3	4,7	2,6	1,9	1,0	4,1	5,2	9,3	8,2
1995	4,4	4,6	10,1	5,4	2,3	2,5	1,2	1,2	6,3	5,4	5,0	7,4
1996	6,7	7,5	17,4	11,6	4,2	2,2	0,7	1,2	3,6	10,0	4,8	6,4
1997	4,0	14,1	10,2	8,4	5,1	1,7	1,1	1,7	5,0	4,6	4,3	4,9

Continuación

1998	6,2	7,2	11,3	11,2	5,7	1,9	0,7	1,7	4,0	8,2	4,3	5,4
1999	14,2	14,6	10,3	7,2	6,5	3,9	1,9	2,3	2,9	5,7	9,0	6,8
2000	8,3	9,2	10,9	9,0	4,0	2,7	2,0	2,7	5,0	3,3	2,9	5,3
2001	3,5	7,9	16,9	11,4	6,2	3,1	2,2	1,5	6,5	9,1	8,7	14,2
2002	9,1	8,5	10,1	8,4	6,8	2,2	1,9	1,8	2,1	4,7	5,2	3,9
2003	5,9	7,5	11,2	5,1	5,0	3,7	1,3	1,7	4,2	8,3	4,8	8,2
2004	3,0	5,0	9,7	9,0	5,1	2,3	2,1	1,3	3,1	6,9	6,1	5,9
2005	4,0	8,3	10,0	6,8	4,5	2,0	1,2	1,0	1,4	6,9	10,4	7,5
2006	7,7	7,8	12,2	6,6	2,8	1,9	1,3	1,5	4,4	5,8	4,3	5,9
2007	6,3	2,8	13,6	8,3	4,2	1,3	1,3	1,4	5,4	10,0	9,6	6,1
2008	5,8	10,9	16,9	9,5	4,2	3,5	1,6	1,3	4,5	4,5	5,8	5,7
2009	7,9	7,7	11,4	9,2	4,9	4,8	2,1	2,0	3,4	5,2	4,6	3,0
2010	2,9	8,1	6,3	6,0	4,0	1,8	1,8	1,0	2,5	8,0	6,9	4,6
2011	4,6	5,1	22,8	8,7	4,4	2,1	1,5	1,2	3,3	6,6	6,3	7,7
2012	8,4	9,7	16,6	10,5	5,2	2,7	0,9	0,6	5,2	8,8	5,5	6,8
2013	6,6	4,8	23,9	8,6	5,0	2,2	1,2	2,1	3,8	4,9	6,4	4,1
2014	6,9	9,0	16,7	10,6	4,0	2,6	1,5	1,7	2,8	9,3	13,6	11,6
2015	10,2	11,6	15,9	10,9	6,6	3,0	1,7	1,2	3,5	7,3	8,3	9,1
2016	4,5	9,5	11,5	7,5	4,1	2,0	0,7	0,6	4,0	7,1	3,7	6,0
2017	8,4	12,8	13,8	5,8	5,2	3,9	1,2	2,1	4,4	4,4	4,0	3,9
2018	9,1	7,3	11,8	6,8	4,8	1,7	1,0	1,5	3,9	5,4	5,6	6,1
2019	10,4	13,2	15,1	10,0	6,6	3,4	2,8	2,2	5,3	8,8	3,8	6,4
2020	8,5	11,7	7,7	7,1	4,5	2,8	1,5	0,9	3,9	4,7	7,3	6,5
Máx	15,3	16,3	27,9	15,5	7,6	6,1	2,9	4,1	6,7	11,8	15,3	14,7
Prom.	7,4	8,5	13,8	8,5	4,6	2,7	1,5	1,6	4,0	6,5	6,4	6,1
Min	1,5	2,8	3,6	2,9	1,3	0,8	0,5	0,4	0,7	1,0	1,5	1,3
Std	2,9	3,1	5,1	2,6	1,3	1,0	0,5	0,7	1,4	2,2	3,0	2,6

Tabla 75

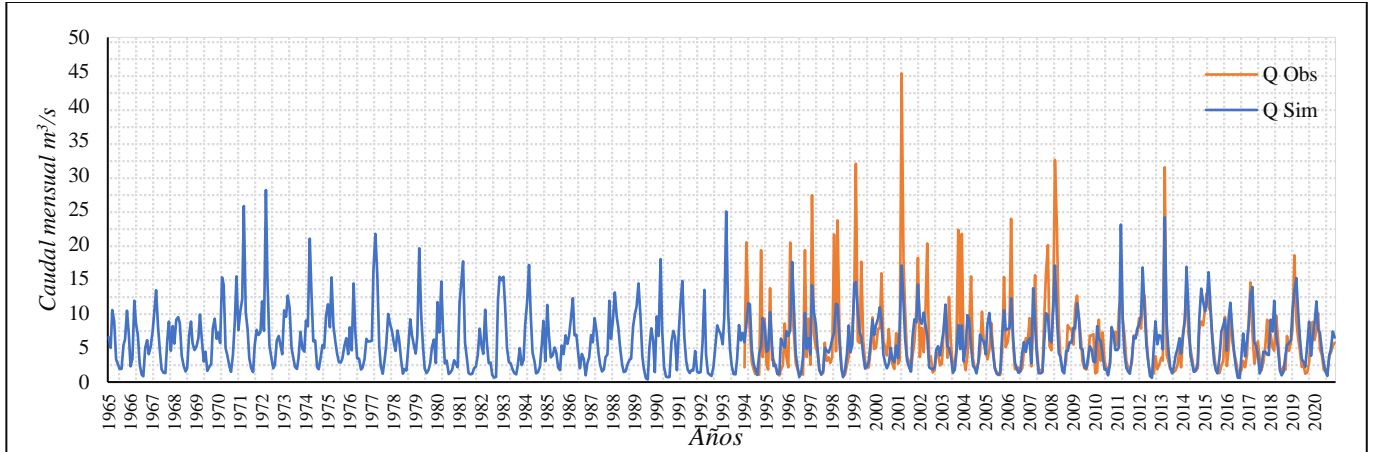
Caudales promedios mensuales para un periodo extendido en el área de estudio m³/s.

Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Promedio Total
Media	7,4	8,5	13,8	8,5	4,6	2,7	1,5	1,6	4,0	6,5	6,4	6,1	5,97

Nota. Los caudales generados son para el periodo extendido 1965-2020

Figura 19

*Simulación de caudales observados y sintéticos para un periodo extendido sin calibrar
1965-2020*



Nota. Elaboración propia generada a partir de la data hidrometeorológica de SENAMHI y la Central Hidroeléctrica Gera

Posteriormente, a fin de verificar el nivel de ajuste entre el caudal sintético generado para un periodo extendido y el caudal observado, se procedió aplicar el índice de Eficiencia de Nash Sutcliffe (NSE), la cual arrojó un valor de 0,47, valor que se sitúa en un nivel de ajuste “Bueno” según la clasificación que se muestra en la Tabla 44 del acápite de la metodología. En la Tabla 76 se muestra la primera simulación de ajuste entre los caudales para un periodo extendido y caudales observados sin calibrar.

Tabla 76

Primera simulación del índice de Nash Sutcliffe para caudales extendidos y observados

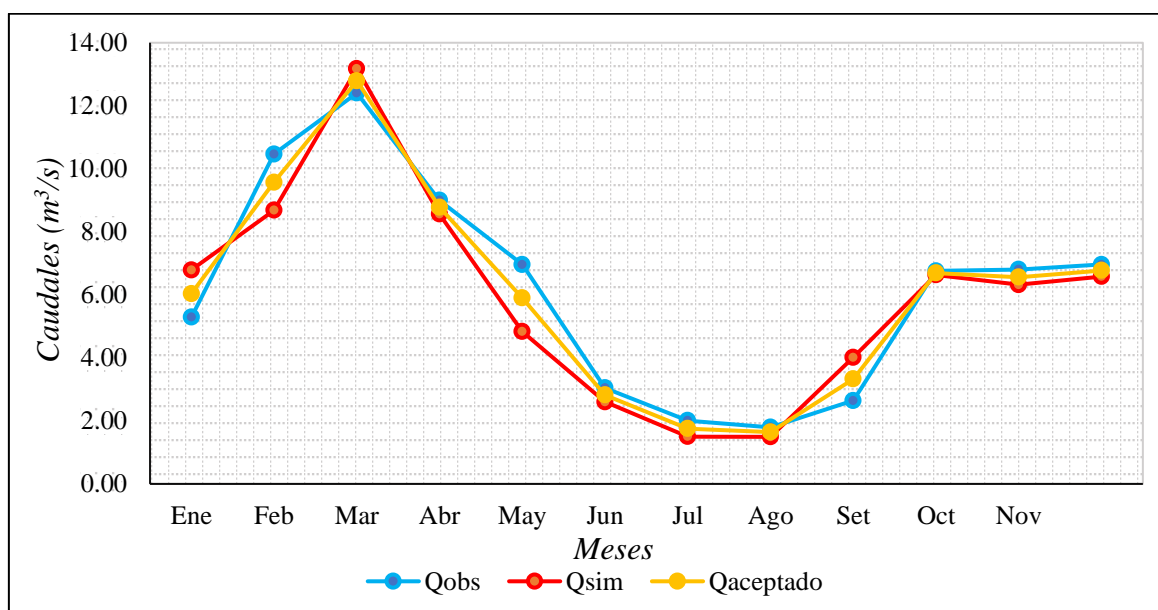
Valor	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Total
A	160,1	1 203,8	1 786,4	604,2	539,4	33,1	17,3	32,3	122,0	690,9	327,4	313,0	5829,8
B	258,9	2 188,6	3 477,5	1 029,2	551,4	308,2	484,8	559,1	409,4	808,6	432,8	496,1	11 004,7
E	0,38	0,45	0,49	0,41	0,02	0,89	0,96	0,94	0,70	0,15	0,24	0,37	0,47
Ajuste	Satisfactorio	Bueno	Bueno	Bueno	Insuficiente	Exce-lente	Exce-lente	Exce-lente	Muy bueno	Insuficiente	Satisfactorio	Satisfactorio	Bueno

3.4. Calibración y validación de la efectividad del modelo propuesto con información hidrométrica observada

Para lograr los resultados de este objetivo se trabajó con los caudales sintéticos generados en el periodo de 1965-2020 y los caudales observados durante el periodo 1994-2020 (ver Apéndice 6). Aunque los caudales extendidos fueron generados para todo el periodo, solo se calibró y validó los datos generados para el periodo desde 1994-2020, debido a la inexistencia de registros de caudales observados hasta el año 1965. Posterior a ello, se aplicó el criterio estadístico del índice de eficiencia de Nash Sutcliffe con el fin de evaluar la efectividad del modelo durante el periodo 2012-2020, la cual se situó en un nivel “Muy bueno”, posterior a la calibración. La calibración para el año promedio se muestra a continuación en la Figura 20, la cual tuvo una correlación de 0,9 según la Figura 11.

Figura 20

Caudales observados, simulados y aceptados para el año promedio



Nota. Elaboración propia generada a partir de la data de caudales simulados y los caudales observados, obtenida de la Central Hidroeléctrica Gera

Los caudales aceptados para la zona de estudio, calibrados entre los caudales simulados y observados periodo 1994-2020 se muestran a continuación en la Tabla 77, cuyo valor promedio total anual fue de 6,1 m³/s. Seguidamente en la Figura 21, se muestra la gráfica de caudales simulados y observados calibrados para el periodo 1994-2020.

Tabla 77*Caudales mensuales aceptados en m³/s*

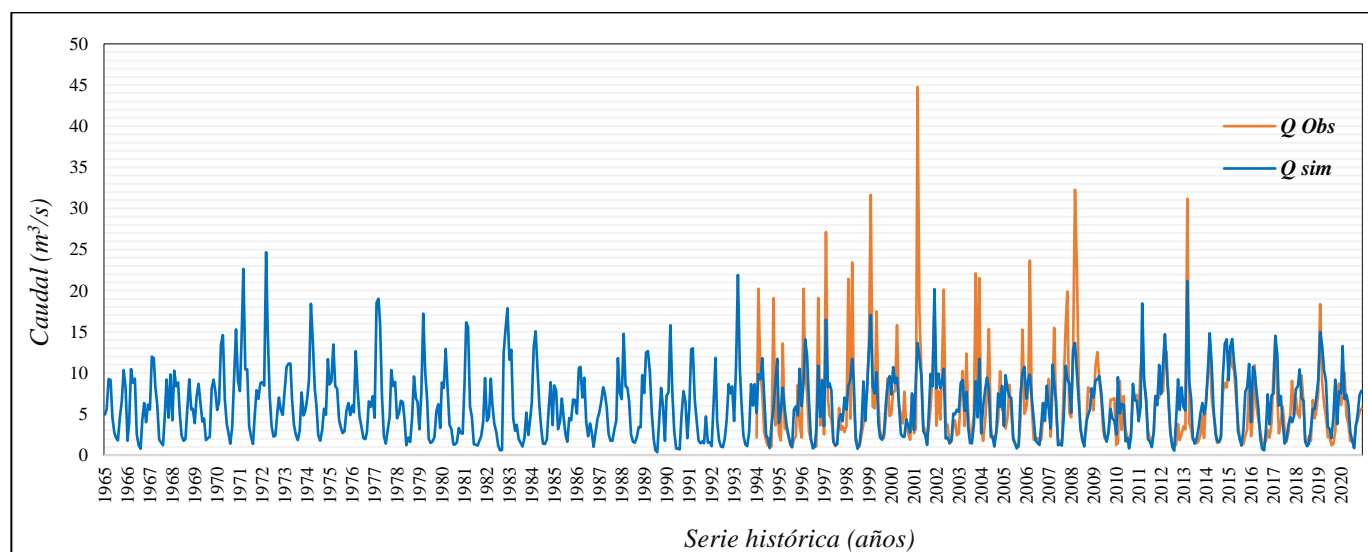
Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
1965	4,9	5,6	9,3	9,1	4,5	2,7	2,2	1,8	4,6	6,5	10,4	8,2
1966	1,7	3,9	10,5	8,8	9,3	2,5	1,2	0,8	4,2	6,4	4,0	6,2
1967	5,5	12,0	11,8	8,3	6,1	1,9	1,5	1,2	5,2	9,2	4,5	9,8
1968	4,2	10,3	8,4	8,8	5,2	2,4	1,7	2,0	5,7	9,2	5,6	5,6
1969	3,9	7,2	8,7	6,3	4,1	4,5	1,8	2,1	2,2	8,1	9,2	7,6
1970	5,5	6,5	13,5	14,6	6,9	3,8	2,6	1,4	3,4	9,3	15,3	9,1
1971	7,8	13,7	22,6	10,4	10,4	3,5	2,3	1,4	4,6	7,9	6,9	8,8
1972	8,9	8,5	24,7	15,0	7,4	3,6	2,3	2,4	5,1	7,0	5,5	4,9
1973	7,9	10,8	11,1	11,2	6,8	3,7	2,5	1,8	3,0	7,6	4,8	5,3
1974	6,8	9,2	18,4	13,8	8,1	6,1	2,4	1,7	3,0	5,6	4,9	11,7
1975	8,6	9,0	13,5	8,4	8,1	4,3	3,3	2,7	2,9	5,4	6,4	4,9
1976	6,0	5,2	12,7	7,9	4,7	3,4	2,1	2,0	2,8	6,6	5,9	7,2
1977	4,5	18,5	19,0	16,0	7,1	2,3	1,4	3,1	4,7	10,4	8,4	8,9
1978	4,5	5,1	6,6	6,5	4,6	1,2	2,2	1,6	4,5	9,6	6,9	6,5
1979	3,2	7,6	17,2	10,1	6,8	2,0	1,5	1,7	2,2	5,4	6,2	3,3
1980	8,8	8,2	12,9	8,1	3,7	3,1	1,3	1,3	1,6	3,3	2,7	2,6
1981	8,8	16,2	15,5	5,9	4,6	1,3	1,3	1,2	1,7	2,3	4,0	9,4
1982	4,2	4,6	9,3	6,1	3,8	2,9	1,2	0,6	0,6	12,4	15,3	17,9
1983	11,6	12,8	4,5	3,0	3,7	1,9	1,5	1,0	2,1	5,2	2,5	4,0
1984	6,4	13,1	15,1	10,4	5,9	3,1	1,4	1,4	1,9	5,8	8,9	3,7
1985	8,5	7,8	3,2	4,0	6,9	4,4	2,4	1,6	4,5	4,3	6,8	6,7
1986	5,1	10,6	10,8	7,0	9,4	4,0	2,3	3,9	2,8	1,0	2,7	4,4
1987	5,2	6,5	8,2	7,5	5,8	2,6	1,7	1,7	3,1	4,2	11,8	7,6
1988	6,8	14,8	8,4	8,2	6,6	2,5	1,6	1,5	2,2	3,4	3,4	9,7
1989	7,6	12,5	12,7	10,0	5,1	1,9	0,6	0,4	4,2	8,2	5,9	1,8
1990	7,2	7,6	15,8	7,7	2,9	0,8	0,8	0,7	5,0	7,8	6,5	2,1
1991	5,6	12,9	13,0	6,8	4,2	1,8	1,5	1,7	1,4	4,7	1,5	1,6
1992	1,1	6,4	11,9	4,2	1,8	1,1	1,0	2,0	4,4	8,6	7,5	8,4
1993	4,2	10,7	21,9	10,5	6,5	2,4	1,3	1,1	2,8	8,6	6,0	8,6
1994	4,4	6,4	8,7	8,6	3,6	2,0	1,4	0,8	3,1	3,9	7,1	6,2
1995	3,3	3,5	7,7	4,1	1,8	1,9	0,9	0,9	4,8	4,1	3,8	5,6
1996	5,1	5,7	13,3	8,8	3,2	1,6	0,6	0,9	2,8	7,6	3,7	4,8
1997	3,0	10,7	7,8	6,4	3,9	1,3	0,8	1,3	3,8	3,5	3,3	3,7

Continuación

1998	4,7	5,5	8,6	8,5	4,3	1,4	0,5	1,3	3,0	6,3	3,3	4,1
1999	10,8	11,1	7,8	5,5	5,0	3,0	1,5	1,7	2,2	4,3	6,8	5,1
2000	6,3	7,0	8,3	6,9	3,0	2,1	1,5	2,0	3,8	2,5	2,2	4,0
2001	2,6	6,0	12,8	8,7	4,7	2,4	1,7	1,2	4,9	6,9	6,6	10,8
2002	6,9	6,4	7,7	6,4	5,2	1,6	1,5	1,4	1,6	3,5	3,9	2,9
2003	4,5	5,7	8,6	3,9	3,8	2,8	1,0	1,3	3,2	6,3	3,6	6,3
2004	2,3	3,8	7,4	6,9	3,9	1,8	1,6	1,0	2,3	5,2	4,7	4,5
2005	3,0	6,3	7,6	5,2	3,4	1,5	0,9	0,8	1,1	5,2	7,9	5,7
2006	5,9	5,9	9,2	5,0	2,2	1,4	1,0	1,2	3,3	4,4	3,3	4,5
2007	4,8	2,1	10,4	6,3	3,2	1,0	1,0	1,1	4,1	7,6	7,3	4,7
2008	4,4	8,3	12,9	7,3	3,2	2,7	1,2	1,0	3,4	3,4	4,4	4,3
2009	6,0	5,9	8,7	7,0	3,8	3,6	1,6	1,5	2,6	4,0	3,5	2,3
2010	2,2	6,2	4,8	4,5	3,0	1,4	1,4	0,7	1,9	6,1	5,3	3,5
2011	3,5	3,9	17,4	6,6	3,3	1,6	1,1	0,9	2,5	5,0	4,8	5,9
2012	6,4	7,4	12,6	8,0	3,9	2,1	0,7	0,4	4,0	6,7	4,2	5,2
2013	5,0	3,6	18,2	6,6	3,8	1,7	0,9	1,6	2,9	3,7	4,8	3,1
2014	5,2	6,8	12,7	8,1	3,1	1,9	1,1	1,3	2,1	7,1	10,3	8,9
2015	7,8	8,8	12,1	8,3	5,0	2,2	1,3	0,9	2,7	5,6	6,3	7,0
2016	3,4	7,2	8,8	5,7	3,1	1,5	0,5	0,5	3,1	5,4	2,8	4,6
2017	6,4	9,7	10,5	4,4	4,0	3,0	0,9	1,6	3,3	3,4	3,0	3,0
2018	6,9	5,6	9,0	5,1	3,7	1,3	0,7	1,1	2,9	4,1	4,3	4,6
2019	7,9	10,0	11,5	7,6	5,0	2,6	2,2	1,7	4,0	6,7	2,9	4,9
2020	6,4	8,9	5,9	5,4	3,4	2,1	1,2	0,7	3,0	3,6	5,6	4,9
Máx	11,6	18,5	24,7	16,0	10,4	6,1	3,3	3,9	5,7	12,4	15,3	17,9
Prom.	5,6	8,1	11,5	7,7	4,8	2,4	1,5	1,4	3,2	5,9	5,7	5,9
Min	1,1	3,9	3,2	3,0	1,8	0,8	0,6	0,4	0,6	1,0	1,5	1,6
1965-1993	6,04	9,57	12,79	8,78	5,90	2,82	1,75	1,64	3,33	6,69	6,56	6,77
1994-2020	5,2	9,9	11,7	8,9	6,6	2,6	1,7	1,4	3,4	7,0	6,3	8,0

Figura 21

Simulación de caudales para un periodo extendido calibrados, 1994-2020



Posterior a ello, para una mayor caracterización y visibilidad del modelo; con los caudales aceptados 1994 -2020 y considerando la tercera parte de la data, es decir la tercera parte de los 27 años del periodo calibrado que corresponde al periodo de 2012 al 2020; se realizó la prueba estadística de Nash Sutcliffe a este nuevo periodo, considerándole como el periodo de validación. Los resultados de buen ajuste en los meses de enero, febrero, marzo, abril, junio, julio, agosto, setiembre y diciembre dieron como resultado final un valor de 0,66 correspondiente a un nivel de ajuste “Muy bueno”, la cual se muestra en la Tabla 78.

Tabla 78

Índice de Nash Sutcliffe para la validación de los caudales simulados en el área de estudio

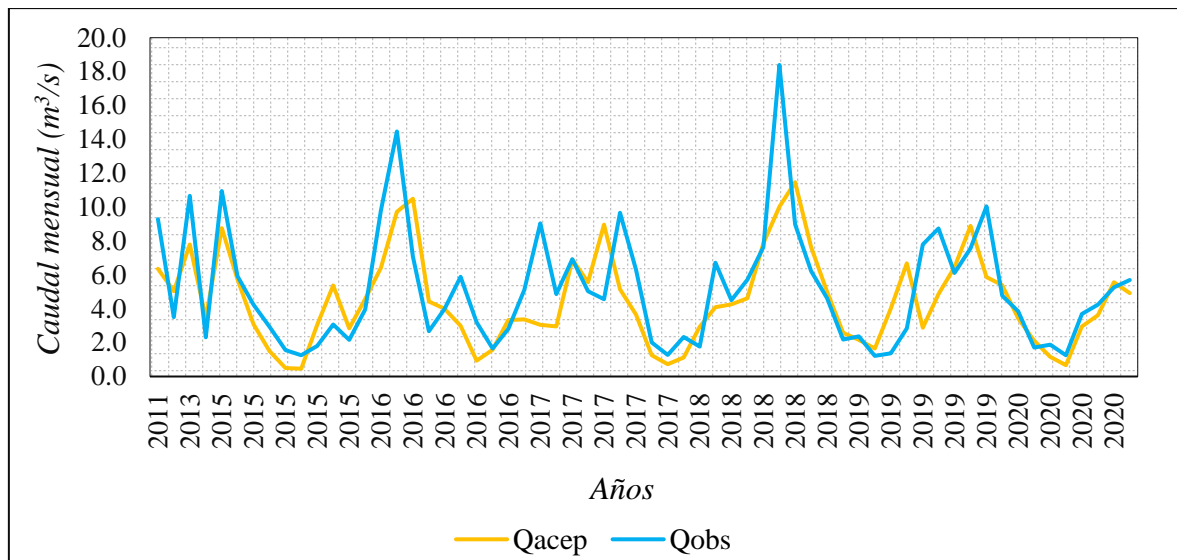
Valor	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Total
A	33,8	123,9	230,7	58,9	22,9	17,5	8,9	3,7	21,5	51,1	78,6	35,5	687,1
B	86,5	344,7	886,4	109,7	15,9	64,4	110,2	132,5	106,6	38,8	59,7	57,7	2013,0
E	0,61	0,64	0,74	0,46	-0,44	0,73	0,92	0,97	0,80	-0,32	-0,32	0,38	0,66
Ajuste	Muy bueno	Muy bueno	Muy bueno	Bueno	insuficiente	Muy bueno	Excelente	Excelente	Excelente	Insuficiente	Insuficiente	Satisfactorio	Muy bueno

En la Figura 22 se muestra la gráfica del caudal aceptado y el caudal observado para el periodo de validación 2012-2020. Sin embargo, es necesario resaltar que el modelo fue

diseñado para calcular y simular caudales mensuales y para el año promedio, y en este estudio se abarcado un largo periodo de 1994-2020, es por eso que la primera simulación sin calibrar el modelo tuvo un ajuste bueno, pero posterior a la calibración y considerando el periodo de validación 2012-2020, se observa que tiende a un ajuste muy bueno, justamente por la naturaleza de su diseño que se ajusta a periodos cortos. Asimismo, se ha podido observar que el ajuste de calibración para el año promedio mostrado en la Figura 20 fue muy bueno cuya correlación fue de 0,9.

Figura 22

Caudales aceptados y observados validados con un ajuste “Muy bueno”



De la Figura 21 y 22, se puede observar que los caudales observados y simulados presentan un buen ajuste, nivel “Muy Bueno”, con 0,5 de coeficiente de escorrentía, ya que inicialmente, el coeficiente de escorrentía se calculó mediante 4 métodos, cuyo promedio fue 0,35; sin embargo, durante la calibración se realizó la corrección y un ajuste a fin de evitar eventos subestimado o super estimado entre los caudales observados y simulados, luego de realizar ese análisis, se trabajó con el valor de 0,5.

CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN

4.1. Determinar la disponibilidad hídrica del río Gera a escala mensual, mediante la aplicación del modelo hidrológico determinístico-estocástico Lutz Scholz

A través de la aplicación de este modelo hidrológico, el cual fue desarrollado solo en Perú en los años 80' para los departamentos de Cusco, Huancavelica y Cajamarca, se logró aplicar por primera vez en la región selva, específicamente en el distrito de Japelacio, provincia de Moyobamba del departamento San Martín. Dadas las investigaciones, realizadas a nivel nacional para la región sierra con ajustes muy buenos como se muestra en los antecedentes, también través de esta investigación queda demostrado que es factible la aplicación de este modelo hidrológico, siempre y cuando el análisis se realice de manera cautelosa, tanto en el tratamiento de los datos hidrometeorológicos como la data a considerar para la zona de estudio.

4.2. Determinar las principales características morfométricas de la subcuenca del río Gera, San Martín

4.2.1. Parámetros de forma

Entre los parámetros de forma representativos en el presente estudio, focalizado en la subcuenca del río Gera, tuvo el área con un valor de 204,065 km², dicha área corresponde a la clasificación de subcuenca (Ortiz, 2004) y su perímetro de 86,97 km. Asimismo, se obtuvo un factor de forma de 0,25, índice de gravelius 1,72, índice de pendiente 15,58 %, pendiente media de la subcuenca por criterio de Alvord 28,99 % y una longitud de cauce principal 28,33 km. A comparación de la investigación realizada por Solano (2019) quién obtuvo un área de 114 km² indicando que es una cuenca, un perímetro de 52,30 km, factor de forma 0,42 y un coeficiente de Gravelius 1,38. Por otro lado, Gamarra (2018) en su estudio de la subcuenca del río Quiróz, provincia de Ayabaca, Piura, obtuvo un área de 3134,72 km², perímetro 359,52 km, factor de forma 0,24 y un índice de Gravelius de 1,8. Del mismo modo,

Terán (2014), en su estudio para determinar el volumen de agua aprovechable en la microcuenca Tres Ríos en el departamento de Cajamarca, obtuvo un área de 40, 17 km², un factor de forma de 0,43, índice de Gravelius 1,37 y una pendiente de la microcuenca 19,8%. Por su parte, Díaz (2017), en su investigación realizada en el río Cumbaza, en la cual, se disponía a determinar la disponibilidad hídrica superficial, obtuvo un área de 571,2 km², un factor de forma de 0,35 y un índice de Gravelius de 1,52.

En ese contexto, teniendo en cuenta el criterio de Ortiz (2004) para la clasificación de las unidades hidrográficas, el área del presente estudio se clasifica como subcuenca, característica que Solano (2019), no tomó en cuenta para la clasificación de su área, cuyo valor fue 114 km², la cual, tomando el mismo criterio de Ortiz (2004), clasificaría para subcuenca. Sin embargo, el autor lo trabajó a esta unidad hidrográfica como cuenca, al igual que Díaz (2017), cuya área correspondería a la clasificación de subcuenca. Asimismo, para este estudio, a través de los valores del factor de forma y coeficiente de Gravelius, se evidencia que la subcuenca adopta una forma alargada. Por lo tanto, tiene bajas probabilidades de presentar crecidas intensas a causa de las fuertes precipitaciones, a comparación de lo indicado por Solano (2019) quién caracterizó a la cuenca Amojú como una cuenca ni ensanchada ni alargada, sino que, mediante el valor del factor de forma e índice de Gravelius evidenciaron una forma oval redonda u oval oblonga, lo cual, indica que presentan un nivel de bajo a moderado potencial a crecidas. Gamarra (2018), por su parte, obtuvo un área de 3134,72 km², clasificada como subcuenca y de acuerdo con los valores obtenidos del factor de forma y el índice de Gravelius, la subcuenca adopta un forma alargada y casi rectangular y con una densidad de drenaje baja y con una pendiente baja, lo cual, indica que es una zona poco erosionable. Del mismo modo, Terán (2014) en su investigación, obtuvo un área de 40, 17 km² la cual, se clasifica como microcuenca cuyo valor del factor de forma e índice de Gravelius evidencian que la microcuenca adopta una forma oval redonda con una densidad de drenaje baja. Los resultados diferidos tanto de este estudio como de los antecedentes con quienes se ha realizado una comparación hacen evidente la relación directa que existe entre el factor de forma y el índice de Gravelius, ya que, para todas las zonas de estudio mencionadas, el valor de estos parámetros determina una forma particular que adopta cada unidad hidrográfica y se asemejan a la realidad.

4.2.2. Parámetros de relieve

Uno de los factores más importantes para la caracterización del relieve de una unidad hidrográfica es la pendiente media de la misma, en este estudio se utilizaron tres métodos de cálculo para este parámetro; sin embargo, se consideró el criterio de Alvord 28,99 % el cual, clasificó a la subcuenca del río Gera con pendiente empinada, asimismo, presentó una curva hipsométrica en fase de equilibrio y con una altitud más frecuente entre 1100-1200 m.s.n.m. Mientras que, la cuenca del río Amojú mantiene una pendiente de 8 %, que define al área moderadamente inclinada, esto debido a las diferentes características geográficas del terreno. Referente a la curva hipsométrica, cuyo valor permite conocer las fases evolutivas de las unidades hidrográficas, la subcuenca del río Gera estuvo definida por encontrarse en una fase de madurez, es decir, en una fase de equilibrio (Brieva, 2018), lo cual, indica que es una cuenca ya erosionada y sedimentada de manera proporcional (Meza *et al.*, 2014) al igual que Solano (2019) quién determinó que la cuenca del río Amojú se encontraba en una fase de equilibrio. Del mismo modo Gamarra (2018), obtuvo una pendiente media de 29,82 %, pendiente empinada y una curva hipsométrica en fase de madurez, indicando que la zona de estudio se encontraba en fase de equilibrio. Asimismo, Terán (20224) obtuvo una pendiente media en la microcuenca de 19, 8 % con una fase en estado de madurez, indicando que la pendiente para la zona de estudio fue moderadamente empinada, susceptible a erosiones. Díaz (2017) por su parte obtuvo una pendiente media de la subcuenca del río Cumbaza de 17, 18 %, la cual presenta una pendiente moderadamente empinada según lo descrito en las bases teóricas. De esta manera se evidencia la relación de la pendiente con la erosionabilidad de las unidades hidrográficas, de acuerdo con sus características climatológicas, geológicas y topográficas que presenta cada lugar.

4.2.3. Parámetros de drenaje

Entre los parámetros representativos de drenaje, se tiene a la longitud del cauce principal de la subcuenca del río Gera, cuyo parámetro está referido a la distancia que recorre el río de mayor trayectoria, cuyo valor fue de 28,33 km, la misma que al ser comparada con los resultados de los parámetros de forma, se puede precisar que la subcuenca en estudio definitivamente adopta una forma alargada. Del mismo modo, la subcuenca del río Gera cuenta con una ramificación orden cuatro (4), una densidad de drenaje de 0,71 km/km² y una pendiente media del cauce principal de 3,958 % calculado mediante el método de pendiente

uniforme y 7,56 % mediante la fórmula de Taylor Schwarz. Mientras que Solano (2019) obtuvo un valor de longitud del río principal de 13,98 km de orden 5 y una densidad de drenaje de 2,04 km/km². Asimismo, Gamarra (2018) en su estudio de investigación obtuvo una densidad de drenaje de 0,36 km/km² y una pendiente media del cauce principal 0,88 %. Terán (2014) en su zona de estudio obtuvo una densidad de drenaje de 0,75 km/km², pendiente del cauce principal 11,79 % y una longitud del cauce 9,75 km. En ese sentido, el número de orden y densidad de drenaje que presenta el río Gera, significa que, las nacientes tributarias se ramifican en cuatro generaciones y el valor de la densidad de drenaje se cataloga como bajo, de acuerdo a los criterios descritos en las bases teóricas. Esto significa que, la subcuenca del río Gera presenta una pendiente baja y poco erosionable, ya que su valor estimado de la densidad es menor a la unidad, caracterizándose así, como un río de pendiente que varía entre suave a mediano y por ende la velocidad de sus corrientes son suaves (Camino *et al.*, 2018). Mientras que, Solano (2019), obtuvo un número de orden con ramificaciones de cinco generaciones y una densidad de drenaje alta y, por tanto, el área es más susceptible a erosiones porque su pendiente es mayor. Por otro lado, Gamarra (2018) y Terán (2014), obtuvieron una densidad de drenaje bajo, ya que su valor no alcanzó la unidad, lo cual, indica que las unidades hidrográficas son de pendientes suaves y por ende menos susceptibles a erosiones fuertes. Por lo tanto, las variaciones existentes entre una y otra zona de estudio, aun considerando ciertas similitudes climatológicas con la zona de estudio del río Gera, se debe a las características determinantes propias del sitio de estudio, entre ellas características que topográficas y geológicas de cada área de estudio. Luego de realizar las comparaciones y disertaciones referente a la investigación, se determina que el estudio realizado muestra fiabilidad en los parámetros calculados debido a que para algunos parámetros se ha utilizado ha calculado con más de un método considerando que se ajusten a la realidad de la zona y trabajar con los promedios.

4.3. Estimar el valor del caudal promedio mensual mediante el modelo determinístico - estocástico de Lutz Scholz

En el departamento de San Martín, existe solo un estudio sobre la aplicación del método determinístico-estocástico de Lutz Scholz. El modelo se extendió para ser aplicado en estudios hidrológicos. Durante el desarrollo del modelo; el cual nació a partir de la ausencia de registros hidrometeorológicos en la sierra peruana en 4 departamentos específicos: Cusco, Huancavelica, Junín y Cajamarca; se consideró parámetros meteorológicos y físicos de las

mismas cuencas en estudio y, parámetros determinantes como: coeficientes para la precipitación efectiva, coeficiente de escorrentía, abastecimiento, retención y agotamiento. Sin embargo, y a raíz de la problemática de la escasez de información hidrometeorológica a nivel de país; se ha considerado conveniente la aplicación del modelo de Lutz Scholz para otras zonas del Perú; como es el caso del río Cumbaza (Díaz, 2017) río Amojú (Solano, 2019), río Shullcas (Quintana, 2018), río Bigote (Burguña, 2019), río Quiroz (Gamarra, 2018), río Huacané (Blanco, 2020), río Coata (Tito, 2018) y tres río (Terán, 2014); cada uno de ellos desarrollaron la metodología en zonas y en realidades diferentes; por lo que, algunos de ellos realizaron correcciones y ajustes acorde a la realidad de su zona de estudio. De esa manera, muchas de estas investigaciones han logrado un buen grado de aceptabilidad. Hacer hincapié además que, para ser un modelo adaptado en otros ámbitos del país, ya que originalmente se creó para solo 4 departamentos específicos, debe considerarse la geología y las características climáticas propias de la zona.

Ente los principales parámetros representativos calculados en este estudio, se obtuvo los siguientes: coeficiente de escorrentía 0,50; precipitación media anual 1839,4 mm/año; temperatura media anual de 22,2 °C; evapotranspiración potencial de 1006,96 mm/año; retención hídrica 73,56 mm/año; coeficiente de agotamiento 0,0166; precipitación efectiva promedio anual 76,64 mm/año y los caudales promedios mensuales generados de enero a diciembre fueron: 6,966; 7,723; 14,139; 9,137; 4,749; 2,885; 1,605; 1,896; 4,855; 6,550; 5,661 y 5,379 m³/s cuyo promedio final fue de 5,97 m³/s. Igualmente, Solano (2019) consideró a los parámetros: coeficiente de escorrentía 0,39; precipitación media anual 3765,75 mm/año; evapotranspiración media mensual 929,6 mm/mes; temperatura promedio 17,39 °C; retención de la cuenca 59,98 mm/año; precipitación para el año promedio 59,75 mm/año; precipitación efectiva promedio 56,91 mm/año y sus caudales generados desde enero a diciembre fueron: 2,87; 3,1; 0,86; 3,29; 3,15; 1,86; 1,59; 1; 1,21; 2,23, 3,11 y 3,20 m³/s cuyo promedio anual fue de 2,29 m³/s. Asimismo, Gamarra (2018), obtuvo un coeficiente de escorrentía promedio de 0,41; precipitación media anual 895,88 mm/año; temperatura media anual 12,8 °C; evapotranspiración potencial anual con el método de Penman 1,057 mm/año; retención anual de la cuenca 139,41; coeficiente de agotamiento 0,0027; precipitación efectiva promedio 43,12 mm/año y un caudal promedio anual de 41,25 m³/s. Por su parte Terán (2014) obtuvo un coeficiente de escorrentía de 0,32; precipitación total anual de 858,10 mm/año; temperatura media anual 11,12 °C; retención hídrica 88,68 mm/año;

coeficiente de agotamiento 0,0167; precipitación promedio anual de 71,5 mm/año; precipitación efectiva promedio de 23,04 mm/año y los caudales obtenidos para los meses de setiembre a agosto fueron: 0,170; 0,222; 0,202; 0,293; 0,380; 0,635; 0,688; 0,741; 0,385; 0,270; 0,162 y 0,168 m³/s, cuyo promedio final fue de 0,36 m³/s.

De los parámetros calculados y la generación de caudales estimados de esta investigación en comparación a los antecedentes quienes utilizaron el mismo método para la estimación de caudales, se ha evidenciado similitudes en el proceso de cálculo, así como diferencias en los valores obtenidos de los parámetros meteorológicos como es el caso de la precipitación, por ejemplo: en la investigación realizada en el río Amojú (Solano, 2019), obtuvo una precipitación de 3765,75 mm/año a comparación de la precipitación obtenida en el río Gera cuyo valor fue 1839,4 mm/año. Asimismo, la precipitación para la zona de estudio se realizó un proceso similar a la trasposición de datos utilizando el promedio de la precipitación generada por el método Grillado de Pisco, de manera similar a lo que realizó Terán (2014), trasposición de caudales a la microcuenca tres ríos. Para la determinación del coeficiente de escorrentía en esta investigación se realizó con cuatro metodologías: L Turc cuyo valor fue 0,38, método de la Misión Alemana con un valor de 0,31, método de la ONERN cuyo valor fue 0,33 y método de Prevert con un valor de 0,38, arrojando un valor promedio de 0,35; sin embargo, al momento de realizar la calibración, el coeficiente de escorrentía se corrigió y ajustó a fin de evitar subestimaciones y super estimaciones entre los caudales generados y observados y teniendo en cuenta que inicialmente la data se sometió a tratamiento hidrometeorológico a fin de evitar inconsistencias y tendencias en la data. Para la corrección del coeficiente de escorrentía, se consideró las similitudes climáticas de la zona de estudio con otra unidad hidrográfica que tenga valores establecidos; para este caso, la subcuenca del río Gera guardaba similitudes en zonas de vida con la cuenca de río Huallaga, específicamente “Bosque húmedo - Tropical (bh – T)”, dato determinado en el “Inventario y Evaluación Nacional de Aguas Superficiales” de la ONERN (1980). Sobre la base de esta información, se consideró el factor de corrección establecida por la Autoridad Nacional del Agua para la cuenca Huallaga cuyo valor fue 0,64, de esa manera se obtuvo un coeficiente de escorrentía teórico de 0,5, con el cual se calibró el modelo. El valor obtenido fue mucho mayor, en comparación a los estudios realizados por Solano (2019), Gamarra (2018) y Terán (2014); esta diferencia notoria entre que se evidencia para el coeficiente de escorrentía, suelen estar sujetas a las características geológicas y geográficas que presenta el lugar, por

ello, es necesario compilar toda a información oportuna de la zona de estudio, debido a que, se está adaptando un modelo validado para la sierra peruana; ello implica que al momento de utilizar el modelo se debe considerar sus particularidades para disminuir el margen de error y poder trabajar con data lo más verídico posible. Referente al caudal promedio anual obtenido, el estudio realizado por Gamarra (2018), obtuvo un valor de 41,25 m³/s, un valor elevado a comparación de esta investigación, de Solano (2029) y Terán (2014), el cual, difiere en el tamaño de la unidad hidrográfica, por ende, es una unidad hidrográfica mayor en la cual podría abarcar mayor cantidad de ríos tributarios, otro factor podría ser la cobertura vegetal de la zona y otros factores que determinan la cantidad de caudal que acoge la subcuenca. Asimismo, el coeficiente de abastecimiento para el presente estudio en enero, febrero y marzo fue de: 11,3; 11,3 y 22,9, época de fuertes lluvias en la zona del Alto Mayo del departamento San Martín. Posterior a ello, pasando la época de estiaje que comprende entre el mes de mayo hasta setiembre aproximadamente, los acuíferos se vuelven a recargar en los meses de octubre, noviembre y diciembre. Finalmente, con la salvedad de los caudales observados, para el presente estudio se trabajó con data corregida y consistente a través del a fin evitar inconsistencias y tendencias que susciten error y evidenciar información verídica, además de ello para mayor veracidad de los datos obtenidos se realizó el proceso de trasposición de datos de precipitación a fin de trabajar con data lo más real posible. Por ello, el hecho de haber corregido el coeficiente de escorrentía no significa que invalide el modelo o haya habido alguna alteración intencionada, las correcciones y justes son normales y se sustenta en la geomorfología, condiciones climáticas, zonas de vida y la ubicación geográfica, sin estas correcciones se estaría generando una información equívoca debido a que los parámetros establecidos del modelo fueron generados para la sierra peruana.

4.4. Generar los caudales medios mensuales para la subcuenca del río Gera, para un periodo extendido

Para la generación de caudales en un periodo extendidos, se utilizó la data de caudales observados en el periodo 1994-2020, considerando que los registros de caudales solo existen desde 1994, detalle que no permitió la calibración de la data durante todo el periodo de estudio (1965-2020). Sin embargo, se ha logrado calcular los caudales extendidos para todos los años del periodo en estudio. Esto se debió a varios factores relacionados a la medición de caudales y a la existencia de las estaciones meteorológicas. Para la subcuenca del río Gera, solo se cuenta con una estación que se ubica en la parte baja y casi fuera del área de la

subcuenca Gera y las estaciones vecinas se encuentran muy distantes, todo lo contrario, a la investigación que realizó Gamarra (20289 en la subcuenca del río Quiróz, en la cual, se contó con la información de once estaciones meteorológicas que facilitaron su tratamiento.

La generación de caudales para un periodo extendido, en el presente estudio, desde enero a diciembre fue de: 7,4; 8,5; 13,8; 8,5; 4,6; 2,7; 1,5; 1,6;4; 6,5; 6,4 y 6,1 m³/s, cuyo promedio total fue de 5,97 m³/s. Mientras que Solano (2019) obtuvo un caudal de enero a diciembre de: 3,29; 3,69, 1,74; 3,17; 3,05; 1,64; 1,52; 1; 1,21, 2,81, 2,90 y 3,11 m³/s, cuyo promedio total fue de 2,43 m³/s. Asimismo, Gamarra (2018), tuvo un caudal generado estocásticamente para un periodo extendido de enero a diciembre de: 43,22; 61,35; 65,73; 62,76; 39,42; 25,32; 18,57; 17,66; 16,54; 23,72; 24,61 y 26,90 m³/s, cuyo promedio total fue de 35,48 m³/s. Por su parte Terán (2014), obtuvo un caudal para un periodo extendido, periodo 2008-2012, fue 12,08 MMC. Como se evidencia en, los resultados obtenidos para un periodo extendido varían de acuerdo con la data tratada, en este caso la subcuenca del río Quiróz es el que mayor caudal arroja a comparación de Río Gera, Río Amojú y la microcuenca Tres Ríos. Sin embargo, para el estudio realizado en el río Amojú el modelo aplicado fue viable y aplicable, con un buen grado de aceptabilidad, para el río Quiróz, el modelo tuvo un coeficiente de correlación del 92 % y un alto grado de aceptabilidad, mientras que para la microcuenca Tres Ríos, el caudal para un periodo extendido tuvo un ajuste bajo de 89,6 % especialmente en los meses de febrero, marzo y abril mientras que para la generación de caudales tuvo un ajuste de 99,6%. En ese sentido, el presente estudio ha estudiado minuciosamente los datos obtenidos, se ha realizado la comparación de los caudales generados y se ha ajustado utilizando tres métodos, el índice de Nash Sutcliffe, la correlación lineal y la prueba estadístico que avala la inexistencia de saltos y tendencias.

4.5. Calibrar y validar la efectividad del modelo propuesto con información hidrométrica observada

Posterior a la obtención de los caudales extendidos y antes de su calibración; de la data de caudales extendidos y los caudales observados se sometieron a la prueba estadística de Nash Sutcliffe; en la cual, se obtuvo un valor de 0,47, un nivel de ajuste “Bueno”. Posterior a la calibración de los caudales generados, se volvió a realizar la prueba por segunda vez, pero esta vez, solo se tomó la tercera parte del total de los años de calibración, es decir del periodo

1994-2020 que corresponde a 27 años. En tal caso, se tomó un periodo de nueve años para la validación, es decir 2012-2020, la cual al aplicar el criterio estadístico de Nash Sutcliffe, arrojó un valor de 0,66 correspondiente a un nivel de ajuste “Muy bueno”. El realizar dos veces la prueba de Nash Sutcliffe, logró ajustar mejor los valores del periodo 2012-2020, debido a que este método fue diseñado para simulación de caudales mensuales para el año promedio, por ello, se ajusta mejor en periodos cortos, tal como es el caso de Inoue (2018), quien utilizó el método de Lutz Scholz para la estimación de caudales extendidos, logró corregir el error en el segundo ajuste en la cual obtuvo muy buen resultado. En tanto, para lograr la validación de los caudales aceptados, independientemente del índice de Nash Sutcliffe, se realizó el análisis de correlación, en la cual se obtuvo un valor de 0,9, lo cual indica que los caudales estimados y aceptados se ajustan a la realidad de la zona de estudio; al igual que, Solano (2019) y Gamarra (2018), quienes concluyeron que el modelo de Lutz Scholz tuvo un buen grado de aceptabilidad para sus zonas de estudio; mientras que para Terán (2014), tuvo un buen grado de aceptabilidad en la generación de caudales promedios, mas no en la generación de caudales para un periodo extendido.

El caudal promedio final de los caudales aceptados de esta investigación fue de 6,058 m³/s. Sin embargo, si se desea hacer un comparativo para conocer la disminución o no aproximada del caudal, es importante referirse al caudal observado periodo 1994-2020, en la cual el promedio anual de caudal para el año 1994 fue de 6,697 m³/s, mientras que para el año 2020 se obtuvo un promedio de 4,671 m³/s en la cual, si se hace un comparativo entre estos dos años existe una disminución de 2,026 m³/s. Esta diferencia del caudal podría estar relacionada a las múltiples actividades antrópicas que se han ido realizando en la parte alta de la subcuenca del río Gera y pese al desarrollo de proyectos de reforestación, actualmente es una de las cuencas más deforestadas en el departamento de San Martín. Además, considerando que el modelo está diseñado para estimar caudales promedio para el año promedio, lo cual se ajusta bastante bien para este caso, también se ajustó muy bien para el periodo 1994-2020, lo cual significa que puede utilizarse esta investigación como base para la generación de caudales en otros puntos de la subcuenca a fin de proporcionar información adecuada para la administración, manejo y gestión de la subcuenca Gera.

CAPÍTULO V: CONCLUSIONES

Determinar la disponibilidad hídrica del río Gera a escala mensual, mediante la aplicación del modelo hidrológico determinístico estocástico Lutz Scholz

Se logró determinar la disponibilidad hídrica del río Gera a escala mensual, mediante la aplicación del modelo hidrológico determinístico – estocástico Lutz Scholz; los resultados de caudales aceptados obtenidos para el periodo 1994-2020 se muestran en la Tabla 77, dónde los promedios mensuales de enero a febrero fueron: 5,2; 9,9; 11,7; 8,9; 6,6; 2,6; 1,7; 1,4; 3,4; 7,0; 6,3 y 8,0 m³/s respectivamente, obteniendo un promedio final de 6,058 m³/s. Sobre la base de estos resultados, y teniendo en cuenta que la subcuenca del río Gera es una de las zonas más deforestadas del departamento San Martín, no se encuentra en déficit, pero si se evidencia una considerable disminución de caudal de 2,026 m³/s contabilizando la diferencia entre el año 1994 y el 2020 según la data de caudales observados y registrados por la Central Hidroeléctrica del río Gera.

Determinar las principales características morfométricas de la subcuenca del río Gera, San Martín

Se lograron determinar las principales características morfométricas de la subcuenca del río Gera siendo estos: área con un valor estimado de 204, 07 km², perímetro 86,97 km, ancho promedio 7,20 km², factor de forma 0,25, índice de Gravelius 1,72, pendiente de la subcuenca mediante el método de Alvort de 28,99 %, curva hipsométrica en fase de madurez, longitud de cauce principal de 28,33 km, densidad de drenaje baja y número de orden 4. En conclusión, la subcuenca del río Gera adopta una forma alargada, con una pendiente empinada la cual ha facilitado la erosión de suelos y por su tipo y clasificación de suelos es una zona de drenaje bajo y albergan tres tipos de zonas de vida (Ver Apéndice 20: mapa topográfico de la zona de estudio).

Estimar el valor del caudal promedio mensual mediante el modelo determinístico – estocástico de Lutz Scholz

Se logró estimar y/o generar el caudal promedio mensual para el año promedio en la zona de estudio mediante el modelo determinístico – estocástico de Lutz Scholz, cuyo valor promedio anual fue de 5,96 m³/s.

Generar los caudales medios mensuales para la subcuenca del río Gera, para un periodo extendido

Se lograron generar los caudales medios mensuales para un periodo extendido en la zona de estudio de la subcuenca del río Gera, cuyos valores promedios de enero a diciembre para el periodo 1965 - 2020 fueron: 7,4; 8,5; 13,8; 8,5; 4,6; 2,7; 1,5; 1,6; 4; 6,5; 6,4 y 6,1 m³/s, obteniendo un promedio final de 5,97 m³/s.

Calibrar y validar la efectividad del modelo propuesto con información hidrométrica observado

Se lograron calibrar los caudales simulados para un periodo extendido y validar la efectividad del modelo propuesto con información hidrométrica observada, utilizando un coeficiente de escorrentía de 0,50. La prueba de bondad se realizó con el índice estadístico de Nash Sutcliffe Eficiencia (NSE), con el cual se obtuvo un nivel de ajuste “Bueno” con 0,47 antes de la calibración y posterior a la calibración se tuvo un valor de 0,66 determinándose un ajuste “Muy Bueno” entre los caudales simulados y observados. Asimismo, se realizó el análisis de correlación cuyo valor fue de 0,9 y su coeficiente de determinación fue también de 0,9 lo cual indica que los caudales simulados y observados tienen una buena correlación de ajuste.

CAPÍTULO IV: RECOMENDACIONES

- Se recomienda al Gobierno Regional San Martín que en coordinación el gobierno local competente, la Autoridad Administrativa del Agua-Huallaga y la Administración Local del Agua Alto Mayo, soliciten a SENAMHI la instalación de una estación hidrometeorológica en la subcuenca del río Gera ubicada en el distrito de Jepelacio, provincia Moyobamba del departamento San Martín, que favorezcan la medición y registro diario de datos hidrometeorológicos, para la estimación de caudales por día, mes y año. La disponibilidad de información facilitará una buena gestión y manejo integrado del agua, considerando que es una fuente vital para diversos usos de la población aledaña y brinda el servicio energético al Alto Mayo y Tarapoto.
- En situaciones similares a la presente investigación, se recomienda utilizar la precipitación del grillado de Pisco (método trabajado por la ANA) para la trasposición de datos, siempre y cuando haya estaciones meteorológicas cercanas o dentro de la unidad hidrográfica de estudio. Para esta investigación, resultó efectivo en la transposición de datos de precipitación a la parte media y alta de la subcuenca del río Gera.
- Se recomienda la aplicación del método de Lutz Scholz, para zonas donde no se cuenta con data hidrometeorológica suficiente para realizar estudios hidrológicos. Sin embargo, es importante tener en cuenta que, este método fue establecido para cuatro zonas específicas de la sierra peruana, por ende, al aplicarse en otras zonas particulares, debe realizarse ciertos ajustes y/o calcularse algunos parámetros del método, tales como: coeficiente de esorrentía y coeficiente abastecimiento de acuerdo con las características geomorfológicas y climáticas de la zona de estudio.

- Realizar estudios hidrológicos a escala mensual y diaria en las unidades hidrológicas, que son fuentes de abastecimiento de agua para el consumo humano, actividades agrícolas y otros servicios como la energía; con la finalidad de conservar las cabeceras de cuenca y el caudal ecológico.
- Promover con todas las autoridades, la decisión política de tomar acción para conservación del recurso hídrico de la subcuenca del río Gera, ya que es una de las áreas con mayor deforestación en el departamento San Martín y la que brinda servicio de alumbrado a toda la zona del Alto Mayo y abastece de agua las comunidades aledañas

REFERENCIAS

- Aliaga, S.V. (1983). *Tratamiento de datos Hidrometeorológicos*. Hidrología. <https://es.scribd.com/document/509867488/tratamientos-de-datos-hidrometeorologicos-Vito-Aliaga-rotado>
- Aparicio, F. J. (1989). *Fundamentos de Hidrología de Superficie*. © 1992, EDITORIAL LIMUSA, S. A. de C.V. GRUPO NORIEGA EDITORES, México. Registro N° 121. ISBN 968-18-3014-8.
- http://webdelprofesor.ula.ve/ingenieria/adamoren/HIDRO/Fundamentos_de_hidrologia_de_superficie_-_Aparicio.pdf
- Aparicio, F. J. (1992). *Fundamentos de Hidrología de superficie*. Grupo Noriega Editores. http://webdelprofesor.ula.ve/ingenieria/adamoren/HIDRO/Fundamentos_de_hidrologia_de_superficie_-_Aparicio.pdf
- Aquino, S.M. (2019). *Regionalización morfométrica adimensional de cuencas hidrográficas de la sierra de Piura-Perú, con fines de transferencia de información hidrológica* [Trabajo de pregrado, Universidad Nacional de Cajamarca]. <https://repositorio.unc.edu.pe/handle/20.500.14074/3372>
- Bateman, A. (2007). *Hidrología Básica y Aplicada*. Grupo de Investigación en Transporte de Sedimentos. <https://www.upct.es/~minaees/hidrologia.pdf>
- Blanco, E. (2020). *Estimación de la Oferta Hídrica del Río Huancané Mediante la Generación de Descargas Medias Mensuales Aplicando el Modelo Determinístico Estocástico de Lutz Scholz* [Trabajo de pregrado, Universidad Nacional del Altiplano]. <https://renati.sunedu.gob.pe/handle/sunedu/3223207>
- Brieva, C. (2018). *Caracterización de cuencas. PNAGUA-PE 1133022* “Caracterización y análisis multidisciplinario de la información hidrológicas en cuencas” versión 1. https://inta.gob.ar/sites/default/files/caracterizacion_de_cuencas_0.pdf
- Burguña, N. (2019). *Aplicación de Modelos Hidrológicos para la estimación de Caudales Mensuales en la Subcuenca del Río Bigote* [Trabajo de pregrado, Universidad de Piura, Perú]. https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/4016/MAS_ICIH_1901.pdf?sequence=4&isAllowed=y

- Calderón, M. J. (2018). *Oferta Hídrica, almacenamiento de agua y carbono en dos escenarios altoandinos del páramo de Mojanda – Ecuador*. [Tesis de postgrado Universidad Nacional de La Plata, La Plata – Buenos Aires]
http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/69324/Documento_completo.pdf-PDFA.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Camino, M., Bó, M., Cionchi, J., López, A., Del Río, J. y De Marco, S. (2018). *Estudio morfométrico de las cuencas de drenaje de la vertiente sur del sudeste de la provincia de Buenos Aires - Argentina*. *Revista Universitaria de Geografía*, 27(1), 73-97.
http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1852-42652018000100005&lng=es&tlng=es.
- Campos, A., Konstantinovich, E. y Igorevich I. (2016). *Hidráulica e Hidrología para Ingeniería – Manual de diseño*. Universidad de La Amistad de Los Pueblos de Rusia – Moscú.
- Carvajal, Y., Arango L. D. y Jiménez E, H. (2007). Estimación de caudales promedios mensuales por subcuencas hidrológicas mediante modelación con HEC-HMS. *Tecnura*, 11(21), 14-28.
- Chereque, W. (1989). Hidrología. <http://repositorio.pucp.edu.pe/index/bitstream/handle/123456789/28689/hidrologia.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- Chow V. T. (2004). *Hidráulica de Canales Abiertos* (University of Illinois. © 1994, por McGRAW-HILL INTERAMERICANA S.A. Transversal 42B N° 19-77 Santafé de Bogotá, Colombia).
- Chow V. T., Maidment, D. y Mays, L. (1994). *Hidrología Aplicada*. © 1994, por McGRAW-HILL INTERAMERICANA S.A. Transversal 42B N° 19-77 Santafé de Bogotá, Colombia.
- Córdova M. (30 de abril de 2016). Parámetros geomorfológicos de cuencas hidrográficas. *Prontubeam*. https://www.prontubeam.com/articulos/articulos.php?Id_articulo=26
- Crespo, C. (10 de agosto de 2018). ¿Qué es la textura del suelo y cómo se mide? *Portalfruticola.com*. <https://www.portalfruticola.com/noticias/2018/08/10/que-es-la-textura-del-suelo-y-como-se-mide/>
- Decreto Supremo N° 016-2009-AG. Decreto que aprueba régimen excepcional para promover la competitividad del sector forestal frente a la crisis externa para el periodo 2009 – 2011. 2 de setiembre de 2009. D. O. N° 401818.

- Díaz, J. P. E. (2017). *Determinación de la disponibilidad hídrica superficial mediante balance hídrico en la cuenca del río Cumbaza – San Martín, 2016* [Tesis de grado, Universidad Peruana Unión, Tarapoto, Perú]. https://repositorio.upeu.edu.pe/bitstream/handle/UPEU/957/Jhan_Tesis_Bachiller_2017.pdf?sequence=3&isAllowed=y
- Díaz, V. R. Y. (2020). *Productividad de la Central Hidroeléctrica Gera ante variaciones de la cobertura forestal en Moyobamba, Perú* [Tesis de postgrado, Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú]. <https://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12996/4450/diaz-vegaroxana-janett.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Dourado - Neto, D., García y García, A., Fancelli, A. L., Frizzone, J. A., y Reichardt, K. (1999). Balance hídrico cíclico y secuencial: estimación de almacenamiento de agua en el suelo. *Scientia Agricola*, 56(3). <https://doi.org/10.1590/S0103-90161999000300005>
- Fattorelli, S. y Fernández, P. C. (2011). *Diseño Hidrológico*. Water Assessment y Advisory Global Network. http://siar.minam.gob.pe/puno/sites/default/files/archivos/public/docs/libro_diseno_hidrologico_edicion_digital_2.pdf
- Gamarra, H. R. (2018). *Aplicación del modelo hidrológico Lutz Scholz para determinar caudales medios mensuales en la Sub Cuenca del río Quiroz* [Tesis de grado, Universidad Nacional de Piura, Piura, Perú]. Repositorio institucional <https://repositorio.unp.edu.pe/bitstream/handle/UNP/1278/AGR-GAM-CHU-18.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Gárnica, F. (2015). *Recursos Hidráulicos: Evapotranspiración*. Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann. <https://es.slideshare.net/xXiOmItAxX/clase-10-evapotranspiracion>
- Gaspari, F., Rodríguez V., A. M., Senisterra, G. E., Denegri, G., Delgado, M. I., y Besteiro, S. (2012). Caracterización morfométrica de la cuenca alta del río Sauce Grande, Buenos Aires, Argentina. *AUGMDOMUS*, 4, 143 - 158. <https://revistas.unlp.edu.ar/domus/issue/view/937>
- Gobierno del Estado de México. Coordinación General de Protección Civil y Gestión Integral del Riesgo. (2018). *¿Qué hacer ante una emergencia? – Hidrometeorológicos*. <https://cgproteccioncivil.edomex.gob.mx/hidrometeorologicos>

Gómez-Lora, J.W. y Gallo-Ramos V.H. (2022). *Guía de Hidrología*. Jhon Walter Gómez Lora Av. Paseso de la República 1224, Chorrillos. Lima-Perú
<https://sites.google.com/view/ikamyumi/inicio>

Grupo Banco Mundial. (1 de diciembre de 2017). *Servicios Hidrometeorológicos*.
<https://www.bancomundial.org/es/results/2017/12/01/hydromet>

Hernández, R., Fernández, C. y Baptista, P. (2014). *Metodología de la investigación* (6ta. Ed.). México D.F. McGraw-Hill. <https://www.esup.edu.pe/wp-content/uploads/2020/12/2.%20Hernandez,%20Fernandez%20y%20Baptista- Metodolog%C3%ADa%20Investigacion%20Cientifica%206ta%20ed.pdf>

Holdridge, L. R. (1982). *Ecología basada en las zonas de vida*. ©IICA LME-34 HOLDRIDGE, 1978. ISBN-92-9039-039-5. Título IV.
<http://www.cct.or.cr/contenido/wp-content/uploads/2017/11/Ecologia-Basada-en-Zonas-de-Vida-Libro-IV.pdf>

Ibáñez, S., Moreno, H. y Gisbert, J. (2011). *Morfología de las cuencas hidrográficas* [Artículo Docente, Universidad Politécnica de Valencia]. Repositorio Institucional.
<https://riunet.upv.es/handle/10251/10782>

Ibáñez, S., Moreno, H. y Gisbert, J. M. (2007). *Métodos para la Determinación del Coeficiente de Escorrentía (c)*. Universidad Pontificia de Valencia.
<https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/10781/Coeficiente%20de%20escorrent%C3%ADa.pdf>

Inoue Velarde, J. H. (2018). *Evolución de la cobertura glaciaria y su influencia en la disponibilidad hídrica de la Subcuenca Blanco – Río Santa*. [Tesis de bachiller, Universidad Nacional Federico Villarreal]

Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana [IIAP]. (2014). *Elaboración del diagnóstico y marco estratégico para la gestión integrada de dos cuencas de la región San Martín*. Proyecto “Mejoramiento de la oferta del servicio de transferencia tecnológica en el IIAP – San Martín”.
<http://www.iiap.org.pe/Upload/Publicacion/PUBL1389.pdf>

Instituto Nacional de Innovación Agraria [INIA]. (2015). *Semana de la Ciencia y Tecnología: Jornada de puertas abiertas-INIA Tacuarembó*.
<http://inia.uy/Documentos/P%C3%BAblicos/INIA%20Tacuaremb%C3%B3/2015/El%20Suelo%20de%20mayo.pdf>

Ley N° 29338 de 2009. Ley de Recursos Hídricos en el Perú. 31 de marzo de 2019. D. O. N° 393473.

Loaiza, J. C. y Valentijn, R. N. (2011). Desarrollo de modelos hidrológicos y modelación de procesos superficiales. *Revista Gestión y Ambiente*, 14(3), 23 – 32. <https://revistas.unal.edu.co/index.php/gestion/article/view/29732/29971>

López V. H., Balderas, M. A., Chávez, M. C., Juan, J. I. y Gutiérrez, J. G. (2014). Cambio de uso de suelo e implicaciones socioeconómicas en un área mazahua del altiplano mexicano. *CIENCIA ergo-sum, Revista Científica Multidisciplinaria de Prospectiva*, 22(2), 136-144. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=10439327004>

Lubertkin, M. (2023). Crisis Hídrica, un problema de todos. *Diario Oficial del Bicentenario*. <https://www.elperuano.pe/noticia/208333-crisis-hidrica-un-problema-de-todos>

Lux, B. (2015). *Conceptos básicos de Morfometría de Cuencas Hidrográficas*. Repositorio Institucional de la Universidad de San Carlos de Guatemala. https://core.ac.uk/display/35294551?utm_source=pdf&utm_medium=banner&utm_campaign=pdf-decoration-v1

Martínez de Asagra, A. (2007). *Método de los coeficientes de escorrentía. Mauco Generalizado*. <http://www.oasification.com/archivos/Coefficientes%20de%20escorrent%C3%ADa.pdf>

Medina, J.E. y Blas, K. (2021). *Modelamiento hidrológico e hidráulico del río Yuracyacu para identificar zonas vulnerables por máximas avenidas, ciudad Nueva Cajamarca – San Martín* [Tesis para optar pr el título de ingeniero ambiental, Universidad Católica Sedes Sapientiae]. https://repositorio.ucss.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14095/1073/Medina_Blas_tesis_2021.pdf?sequence=6&isAllowed=y

Meza, M., Rodríguez, A., Corvacho, O. y Tapia, A. (2014). *Análisis Morfométrico de Microcuencas afectadas por flujos de detritos bajo precipitación intensa en la quebrada de Camiña, Norte Grande de Chile. Artículo “Diálogo Andino” versión Online ISSN 0719-2681. Dialogo Andino N°. 44 Arica 2014.* <http://dx.doi.org/10.4067/S0719-26812014000200003>. https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0719-26812014000200003

Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo de España [MOPU]. (1987). *Cálculo hidrometeorológico de caudales máximos en pequeñas cuencas naturales*. <http://normativa.itafec.com/drenaje/ES.06.01.004.OT.pdf>

- Ministerio de Agricultura-MINAGRI, Autoridad Nacional el Agua-ANA, Administración Local del Agua-ALA Chillón Rímac Lurín y Dirección de Conservación y Planeamiento de Recursos Hídricos. (2010). *Evaluación de recursos hídricos de la cuenca del río Rímac*. http://sigrid.cenepred.gob.pe/docs/PARA%20PUBLICAR/ANA/Estudio_hidrologico_Cuenca_Rimac_volumen_I_texto_final_2010.pdf
- Moll, M, 2013. *Aplicaciones Cartográficas para la valoración de superficies de escorrentía*. Rui Girona (Alicante). Investigaciones Geográficas del Instituto Interuniversitario de Geografía, Universidad de Alicante, 60, 101-116: https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/34747/1/Investigaciones_Geograficas_60_06.pdf.
- Monforte. G y Cantú P. C. (2009). *Escenario del Agua en México*. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3238728>
- Monsalve, G. (1999). *Hidrología en la Ingeniería*. © 1999 ALFAOMEGA GRUPO EDITOR, S. A. de C. V. Segunda edición. Registro N° 23 17. ISBN 970-15-0404-6. https://www.academia.edu/43983559/Hidrolog%C3%ADa_en_la_Ingenier%C3%ADa_2_ed_Germ%C3%A1n_Monsalve_S%C3%A1enz
- Ñaupas, H., Mejía, E., Novoa, E. y Villagómez, A. (2014). *Metodología de la investigación cuantitativa-cualitativa y redacción de la tesis*. Bogotá: Ediciones de la U. <https://fdiazca.files.wordpress.com/2020/06/046.-mastertesis-metodologicc81a-de-la-investigacioc81n-cuantitativa-cualitativa-y-redaccioc81n-de-la-tesis-4ed-humberto-ncc83aupas-paitacc81n-2014.pdf>
- Obando, W. (2016). *Propuesta de Herramientas Hidrológicas en la Normatividad Vigente para el Aprovechamiento de los Recursos Hídricos*. [Tesis para optar por el grado de maestro, Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima – Perú] <http://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/UNALM/2760/P10-O23-T.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Ochoa, B. F., Cuadros, J., Arapa, E., Aste, N., Ochoa, E., y Bonnesoeur, V. (2022). *Guía de modelación hidrológica para la infraestructura natural*. USAID, Forest Trends, Lima, Perú. <https://www.forest-trends.org/wp-content/uploads/2022/01/Guia-de-Modelacion-Hidrologica-para-la-IN-2.pdf>
- OECD. (2023). *Gobernanza del agua en Perú*. <https://www.oecd-ilibrary.org/sites/467536b0-es/index.html?itemId=/content/component/467536b0-es#:~:text=Las%20tensiones%20relacionadas%20con%20el,al%20deshielo%20de%20los%20glaciares.>

Oficina Nacional de Evaluación de Recursos Naturales [ONERN]. República del Perú (1976). *Mapa Ecológico del Perú*. <https://repositorio.ana.gob.pe/handle/20.500.12543/1052>

Oficina Nacional de Evaluación de Recursos Naturales [ONERN]. República del Perú (1980). *Inventario y Evaluación Nacional de Aguas Superficiales*. Registro N° 002242. file:///C:/Users/Lenovo/Downloads/ANA0000707.pdf

Organización de las Naciones Unidas. (24 de noviembre de 2014). *Decenio Internacional para la acción “El agua, fuente de vida 2005-2025”*. https://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/water_and_sustainable_development.shtml

Organización de las Naciones Unidas para la alimentación y la Agricultura. (2023). *Portal de suelos de la FAO*. <https://www.fao.org/soils-portal/about/definiciones/es/>

Ortiz, O. (2004). Evaluación Hidrológica. *Hidrored (1)*. <http://pdfhumanidades.com/sites/default/files/apuntes/HIDRORED.pdf>

Proyecto Especial Regional - Plan MERISS (2015). *Manual de Operaciones*. Gobierno Regional de Cusco. <http://www.meriss.gob.pe/plan/wp-content/uploads/docgest/MOPE2015.pdf>

Pineda Loli, J., R. (2015). Generación de Caudales mensuales mediante el método de Lutz Scholz en la microcuenca del río Pira, Huaraz, 1999 – 2013 [Tesis para optar por el título de ingeniero Agrícola, Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo, Perú]. <http://repositorio.unasam.edu.pe/bitstream/handle/UNASAM/874/GERACION%20DE%20CAUSALES%20MENSUALES%20MEDIANTE%20EL%20METODO%20DE%20LUTZ%20SCHOLZ%20EN%20LA%20MICROCUCENCA%20DEL%20RIO%20PIRA%2cHUARAZ%20%2c19992013.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Quevedo, L. (10 de febrero de 2016). El Gera languidece por incremento de deforestación. *Diario Digital VOCES*. <https://diariovoces.com.pe/53072/gera-languidece-incremento-deforestacion>

Quintana, P. D. (2018). *Aplicación de los Modelos Hidrológicos para Estimar el Caudal Promedio Mensual en la Subcuenca del Río Shullcas*. Universidad Peruana Los Andes. <https://repositorio.upla.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12848/768/QUINTANA%20YUPANQUI%20PERCY%20DANIEL.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- Ramos, L. B. (2019). *Análisis Comparativo entre el método Determinístico y el probabilístico en la evaluación financiera de un proyecto* [Tesis para optar por el grado de maestro, Universidad Nacional del Centro del Perú]. http://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/UNCP/5471/T010_19815114_M.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Reyes, E. (2018). *Disponibilidad de agua de la microcuenca Chailhuagón, utilizando el modelo determinístico estocástico Lutz Scholz y el volumen transpuesto de la cuenca tres ríos*. Universidad Nacional de Cajamarca. https://repositorio.unc.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14074/2039/T016_46348395_T.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Reyes, L. V. (1992). *Hidrología Básica*. Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, Lima-Perú
- Rocha, F. A. (1993). Recursos Hidráulicos. 40 - 46. Perú, Lima: Marconi. Consejo Departamental de Lima, Colegio de Ingenieros del Perú.
- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (2016). *Caracterización Hidrológica de los distritos de Pampas y Tucuma*. <https://www.senamhi.gob.pe/load/file/01401SENA-37.pdf>
- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (2019). Estimación de las zonas de vida de Holdridge en el Perú. <https://www.senamhi.gob.pe/load/file/01401SENA-87.pdf>
- Sellers, C., Buján, E., Corbelle, S. y Miranda, D. (2017). *Métodos y análisis con tecnologías de la información geográfica, universidad de Azuay: Morfología interpretativa de alta resolución usando datos LiDAR en la cuenca hidrográfica del río Pute en Ecuador*. <https://revistas.uazuay.edu.ec/index.php/memorias/article/view/87/81>
- Sahagún, F. y Reyes, H. (2018). *Impactos por cambio de uso de suelo en las áreas naturales protegidas de la región central de la sierra Madre Oriental, México*, Universidad de Guadalajara, México. <https://www.scielo.org.mx/pdf/cuat/v12n2/2007-7858-cuat-12-02-6.pdf>
- Solano, L. (2019). *Disponibilidad hídrica de la cuenca del río Amaju aplicando el modelo determinístico - estocástico de Lutz Scholz* [Tesis para optar por el título de ingeniero civil, Universidad Nacional de Jaén]. <https://1library.co/document/zgger7vz-disponibilidad-hidrica-cuenca-aplicando-modelo-deterministico-estocastico-scholz.html>

- Tarazona, N. (2005). *Generación de descargas mensuales en subcuencas de la cuenca del río Santa utilizando el método de Lutz Scholz*. [Tesis de bachiller, Universidad Nacional Agraria La Molina]. Repositorio institucional. file:///D:/Downloads/Tesis_finaltarazona.pdf
- Terán, C. N. (2014). *Volumen de agua aprovechable en la microcuenca del río tres ríos, usando el modelo determinístico estocástico Lutz Scholz validado, para los años hidrológicos 2008- 2012*. Universidad Nacional de Cajamarca. <https://repositorio.unc.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14074/74/T%20532%20T315%202014.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Tito, D.S. (2018). *Generación de caudales medios mensuales de la cuenca del río Coata utilizando el modelo hidrológico de Lutz Scholz* [Tesis para optar por el título de Ingeniero Civil, Universidad Peruana Unión]. https://repositorio.upeu.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12840/1566/Dennis_Tesis_Licenciatura_2018.pdf?sequence=5&isAllowed=y
- Torres, S.P. (2022). *Caracterización y evaluación morfológica de la subcuenca del río Chipillico en la región Piura, mediante la aplicación del software ArcGis* [Tesis para optar por el título de Ingeniero Agrícola, Universidad Nacional de Piura]. <https://repositorio.unp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12676/3967/AGRI-TOR-SAL-2022.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Vega, X. (2020). *Ingeniería Hidráulica y Ambiental: Diferentes soluciones para la delimitación y codificación de cuencas superficiales cubanas*, Vol XLI N° 2, p. 75-84, Universidad Tecnológica de la Habana José Antonio Echevarría. <http://scielo.sld.cu/pdf/riha/v41n2/1680-0338-riha-41-02-75.pdf>
- Villón, M. (2002). *Hidrología*. Segunda Edición. Editorial Villón, febrero del 2022, Lima - Perú.
- Villón, M. (2019). *Hidrología estadística*. Instituto Tecnológico de Costa Rica. <http://infocivilweb.blogspot.com/2019/01/hidrologia-estadistica-maximo-villon.html>
- Zhicay, J. I. (2020). *Caracterización Morfológica y Estudio Hidrológico de la Microcuenca del Río San Francisco, Cantón Gualaceo* [Tesis para optar por el título de ing. Ambiental, Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca]. <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/18364/1/UPS-T008684.pdf#page=76&zoom=100,90,9>

TERMINOLOGÍA

Almacenamiento hídrico. Corresponde a la cantidad de agua disponible en el perfil del suelo, cuya zona está comprendida entre la superficie y el sistema radicular de las plantas, (Dourado *et al.*, 1999), manteniendo una reserva para el desarrollo de la vegetación, ser humano y del clima (Calderón, 2018).

Caudal promedio mensual. Es el promedio de los caudales mensuales en un periodo de años, estos datos son obtenidos por información proporcionada por los instrumentos de medición (Carvajal *et al.*, 2007).

Coefficiente de escorrentía. Es la unidad o valor, producto de la relación entre la precipitación total, la cantidad que se infiltra y lo que discurre en la superficie (Ibáñez *et al.*, 2007). Este coeficiente toma valores entre 0 y 1 (Martínez de Azagra, 2006).

Estrés hídrico. Se refiere a que la disponibilidad del recurso agua no es suficiente para compensar una demanda mayor a la capacidad de una fuente hídrica para abastecer a una población (Monforte y Cantú, 2009).

Índice de déficit. Es la relación entre la cantidad de agua disponible en un área o espacio delimitado, y las necesidades demandadas por una determinada población, a la que se alcance a abastecer. “Representa la diferencia entre la demanda y el abastecimiento” (Obando, 2016) (pág. 93).

Información hidrometeorológica. Es el conjunto de datos meteorológicos, hidrológicos y climáticos, que proporcionan información en tiempo real sobre cuestiones climáticas e hidrometeorológicas al usuario final (Banco Mundial, 2017).

Modelo determinístico. Es un modelo hidrológico, tiene sus propios parámetros fijos y preestablecidos (Ochoa-Tocachi *et al.*, 2022), según las circunstancias donde se realiza la investigación; éste permite evaluar, predecir y simular caudales mensuales para el año promedio, generando información verídica y validada mediante criterios estadísticos (Ramos, 2019).

Modelo Estocástico. Es un sistema dinámico variable con resultados e incertidumbres y/o aleatorización. Es un modelo que se utiliza generalmente cuando el objeto de la investigación o de utilidad, varía en función a una variable determinista como el tiempo, para esta investigación ha permitido simular caudales para un periodo extendido (Zacarías, s. f.).

Modelo Hidrológico. Es un sistema que representa de manera simplificada el ciclo del agua, comparando un escenario real y un escenario alternativo para estimar cuantitativamente los beneficios hídricos (Ochoa-Tocachi *et al.*, 2022); estos modelos permiten predecir fenómenos que podrían ocurrir en los diferentes sistemas hidrológicos, (Loaiza y Valentjn, 2011).

Oferta hídrica. Es la cantidad de agua que un cuerpo de agua dispone para abastecer o satisfacer una demanda originada, gracias al desarrollo de numerosas actividades socio-económicas y ambientales (Díaz (2017).

Plan MERISS. Es un proyecto que pertenece al Ministerio de Agricultura y su ámbito jurisdiccional es el departamento de Cusco, cuyo objetivo principal es disminuir la pobreza rural mediante la gestión integral de riego (Plan MERISS, 2015).

Retención hídrica. Es la cantidad de agua que se acumula en los acuíferos, subsuelo, superficie terrestre y otros orificios que disponga de la capacidad para absorber líquido, a fin de a bastecer a los ríos y vertientes en épocas de sequía o estiaje (Solano, 2019).

APÉNDICES

Apéndice 1

Visita de campo a la subcuenca del río Gera (punto de aforo)



Apéndice 2

Data inicial de precipitaciones medias anuales para la serie histórica de 1965-2020, otorgada por el SENAMHI

Promedios anuales de precipitaciones (1965-2020)			
Serie	Precipitación	años	Precipitación acumulada
1965	1424,2	1	1424,2
1966	1139,1	2	2563,3
1967	1508	3	4071,3
1968	1393	4	5464,3
1969	1344,3	5	6808,6
1970	1814,1	6	8622,7
1971	1891,7	7	10514,4
1972	1804,6	8	12319
1973	1548,5	9	13867,5
1974	1835,3	10	15702,8
1975	1600,3	11	17303,1
1976	1344,4	12	18647,5
1977	1971,1	13	20006,5
1978	1193,8	14	21200,3
1979	1237,5	15	22437,8
1980	1096,8	16	23534,6
1981	1339,9	17	24874,5
1982	1525,6	18	26400,1
1983	1030,3	19	27430,4
1984	1459,2	20	28889,6

Continuación

1985	446,3	21	30248,6
1986	619,1	22	31607,6
1987	502,5	23	32966,6
1988	531,7	24	34325,6
1989	1262,4	25	35588
1990	1177,3	26	36765,3
1991	1069	27	37834,3
1992	1137,2	28	38971,5
1993	1507,1	29	40478,6
1994	1474	30	41952,6
1995	1116	31	43068,6
1996	1410,5	32	44479,1
1997	1280	33	45759,1
1998	1314,1	34	47073,2
1999	1782,8	35	48856
2000	1337,6	36	50193,6
2001	1882,9	37	52076,5
2002	1257,1	38	53333,6
2003	1409,7	39	54743,3
2004	1219	40	55962,3
2005	1260,8	41	57223,1
2006	1207,7	42	58430,8
2007	1370,4	43	59801,2
2008	1436,5	44	61237,7
2009	1371,3	45	62609
2010	1113	46	63722
2011	1379,5	47	65101,5
2012	1525,3	48	66626,8
2013	1345,5	49	67972,3
2014	1771,2	50	69743,5
2015	1721,5	51	71465
2016	1141,7	52	72606,7
2017	1397,3	53	74004
2018	1293,4	54	75297,4
2019	1800,9	55	77098,3
2020	987,7	56	78086

Como se puede observar en la data de precipitación 1965-2020 se logró identificar algunas irregularidades en la data registrada, en la cual, se procedió a graficar y tratar la data que se asume equívoca para su corrección, debido al brusco cambio de registro entre los años de 1985 al 1988. Si se observa la data anterior al año 1985, es decir en 1984 registra una data de 1459,2 mm y para el año 1985 la precipitación baja bruscamente a 446,3 mm, siendo los años consecutivos. Del mismo modo, para los años 1986, 1987 y 1988 donde se registra una data de 619,1; 502,5; 531,7 respectivamente hasta el año 1989 que vuelve el registro a 1262,4 mm y consecutivamente con los demás años. Por otro lado, se observa que para el año 2020 se tiene un valor de 987,7 mm a diferencia del año anterior que se registró 1800,9 mm. Todos estos años con cambios irregulares: 1985, 1986, 1987, 1988 y 2020 fueron graficados a fin de identificar y corregir los saltos existentes. Además, se realizó un análisis gráfico con un r^2 o coeficiente de 0,999, el cual indicaba que la identificación de saltos ha sido acertada casi al 100%, las razones de los saltos pueden ser múltiples ya sea porque la precipitación en esos años fue mínima o la data porque fue alterada por otro factor.

Apéndice 3

Temperaturas máximas promedio mensuales en °C periodo 2010-2020.

Temperatura máxima promedio mensual (°C)														
Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Prom	Suma
2010	28,2	29	29,4	28,7	28,2	28,1	27,6	29,7	30	29,9	28,8	28,6	28,9	346,2
2011	27,8	27,4	27,1	28	27,9	27,8	27,9	29,2	28,9	28,8	28,8	27,9	28,1	337,5
2012	27,3	25,8	27,6	27,7	27,8	27,6	28	29,5	29,1	28,6	29,5	27,8	28,0	336,3
2013	27,6	27,3	28,2	29	28,1	27,6	27,7	27,8	29,3	29	29,2	28	28,2	338,8
2014	27	26,1	25,2	25,5	24,5	24,2	25	25,1	25	26,2	28,3	27	25,8	309,1
2015	26,6	27,8	27,4	27,3	27,1	27,3	27,5	28,5	29,1	29,3	29,2	27	27,8	334,1
2016	29	27,3	27,3	27,9	27,6	26	27,5	29,1	29,3	29	29,6	27,7	28,1	337,3
2017	26,6	26,5	26,5	26,6	27,3	26,6	26,6	28	27,4	26,4	26,9	26,3	26,8	321,7
2018	26	26,4	25,7	26	26,9	26,3	26,3	26,9	27,2	26,1	26	26,4	26,4	316,2
2019	25,9	25,3	26,4	26,8	26,8	26,9	26,9	27,1	27,6	S/D	S/D	27	26,7	266,7
2020	26,9	27,4	27,5	S/D	S/D	S/D	S/D	27,2	26,3	26,9	27,6	26,5	27,0	216,3

Apéndice 4

Temperaturas mínimas medias mensuales °C periodo 2010-2020.

Temperatura mínima promedio mensual (°C)														
Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Prom	Suma
2010	17,6	18,1	17,8	17,9	17,9	16,6	16,4	14,9	16	17,1	18,2	18,1	17,2	206,6
2011	17,9	17,4	18,1	17,2	17,3	16,9	15,5	14,8	16	17,7	17,8	18,1	17,1	204,7
2012	17,6	17,4	17,1	17,6	16,3	15,3	15,1	15,7	15,3	17,3	17,8	18,7	16,8	201,2
2013	17,9	17,9	18,6	16,7	17,8	16,6	14,9	16	16	17,4	18	18,1	17,2	205,9
2014	18,2	18,1	18,5	17,7	18,1	17,4	16,3	16,1	15,1	16,3	17,8	17,5	17,3	207,1
2015	17,2	18	17,3	17,1	17,2	15,6	17	16,7	17	18,1	19	18	17,4	208,2
2016	18,7	19,1	18,9	18,5	17,5	16,6	14,7	16,7	16,4	18,1	17,4	17,1	17,5	209,7
2017	17,1	17,6	17,1	16,9	16,8	16,1	13,9	14,7	15,2	15,3	15,2	15,3	15,9	191,2
2018	15,4	15,3	15,4	14,8	15,7	15,7	15,7	15,8	15,9	15,8	15,7	15,9	15,6	187,1
2019	16	16,6	17,1	17,2	S/D	S/D	16,2	15,9	16,1	S/D	S/D	17,6	16,6	132,7
2020	18,1	18,5	18,4	S/D	S/D	S/D	S/D	17,4	17,3	17,5	17,3	17,5	17,8	142

Apéndice 5

Caudales mensuales observados para la subcuenca media y alta del río Gera en m³/s.

Caudales mensuales observados (m ³ /s)												
Región:	San Martín						Altitud:	4 311,6	m s.n.m.			
Provincia:	Moyobamba						PMA:	1 158,0	(mm)			
Distrito:	Jepelacio						Área:	204,1	km ²			
Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
1994	2,1	20,3	10,4	7,4	2,8	1,8	1,2	1,3	1,1	19,1	3,6	9,2
1995	2,5	1,8	13,6	3,2	3,2	2,3	1,2	1,0	1,9	2,4	8,5	3,6
1996	2,1	20,3	10,4	7,4	2,8	1,8	1,2	1,3	1,1	19,1	3,6	9,2
1997	2,5	27,1	6,9	4,9	4,4	1,9	1,1	1,3	5,7	3,1	3,6	2,8
1998	3,6	21,4	4,5	23,5	7,0	2,3	1,2	1,0	2,4	3,8	6,4	7,6
1999	12,9	31,7	5,9	5,7	17,5	6,0	2,9	2,3	2,1	4,6	9,4	4,8
2000	5,0	7,7	7,8	15,8	6,0	5,0	3,9	7,7	3,7	2,7	1,9	7,1
2001	2,7	3,2	44,8	17,3	10,4	3,7	3,1	1,5	3,8	5,8	10,2	18,0
2002	3,6	7,8	4,3	9,6	20,1	3,4	3,7	1,4	1,7	3,8	4,2	2,4
2003	2,7	7,4	10,3	3,6	12,4	5,6	2,2	2,8	4,8	22,1	5,0	21,5
2004	3,3	1,7	4,1	7,5	15,3	3,4	2,2	1,7	2,9	4,3	10,2	5,5
2005	5,3	3,3	4,6	8,6	5,1	2,2	1,5	1,1	1,0	4,5	15,3	5,0
2006	5,8	7,9	23,7	6,0	1,9	1,9	2,1	1,6	2,0	4,4	6,4	5,8
2007	9,3	2,3	7,9	15,5	5,3	1,9	1,7	1,5	8,7	15,8	19,9	5,2
2008	4,6	12,4	32,3	22,6	8,2	3,1	2,1	2,0	3,0	8,2	7,7	7,7
2009	5,4	10,8	12,5	9,2	7,0	3,0	2,0	1,8	2,6	6,7	6,8	6,9
2010	1,3	1,5	9,0	3,1	7,2	3,1	2,1	1,8	2,8	7,0	7,0	7,3
2011	5,3	10,5	12,4	9,0	7,0	3,0	2,0	1,8	2,6	6,8	6,8	7,0
2012	9,3	7,8	12,1	12,6	6,4	2,7	1,4	1,2	1,3	3,8	1,8	2,5
2013	3,5	3,1	31,2	4,0	3,1	1,9	1,9	1,4	1,7	2,5	4,8	2,1
2014	6,6	9,5	13,8	7,0	4,9	3,3	1,5	1,6	2,0	7,6	8,8	8,2
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	7,6	10,0	4,8	3,8	1,7	1,9	1,2	3,7	4,2	5,3	5,7
Máx	12,9	31,7	44,8	23,5	20,1	6,0	3,9	7,7	8,7	22,1	19,9	21,5
Media	5,3	10,5	12,4	9,0	7,0	3,0	2,0	1,8	2,6	6,8	6,8	7,0
Min	1,3	1,5	4,1	2,7	1,9	1,7	1,1	1,0	1,0	2,4	1,8	2,1
Std	3,0	8,1	9,7	5,6	4,5	1,3	0,8	1,3	1,7	5,5	4,0	4,3

Nota. Promedio final = **6,18 m³/s.**

Apéndice 6

Precipitación corregida en mm - Estación de Japelacio.

Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Total
1965	121,3	71	154,1	160,3	44,5	86,2	84,2	77,7	149,6	120,8	232,2	122,3	1424,2
1966	13	61	177,5	143,8	183,9	41,2	35,8	26,5	147,2	122,2	67,4	119,6	1139,1
1967	143,5	185,3	177,3	121,9	95,9	49,3	54	60,1	184,7	180	59,7	196,3	1508
1968	87,5	162,9	120,1	156,8	68,1	73,4	73,4	95	193,6	179,6	91,1	91,5	1393
1969	98,9	104,7	129,5	89,9	58,9	179,7	39,3	102,1	60,5	176,1	194,3	110,4	1344,3
1970	135,5	81,5	224,2	265,4	68,1	127,9	88	54,2	114	200,2	346,3	108,8	1814,1
1971	201	201,6	370,7	95,6	206,4	73,2	69,9	59,1	162,1	161	133,9	157,2	1891,7
1972	238,8	92,6	418,2	194	82,2	106,3	80,4	119,4	166,3	129,6	98,3	78,5	1804,6
1973	228,8	143	169,5	193,9	90,7	121,2	92	83,5	95,7	159,1	78,3	92,8	1548,5
1974	192	125,3	303	205,4	109,9	229,6	54,1	78,3	94,8	111	91,4	240,5	1835,3
1975	213,9	102,7	214,9	112,7	150,9	139,2	136,2	121,4	90,7	111,9	134,3	71,5	1600,3
1976	169,3	54	212,5	104	57,1	126,5	64,7	93,9	83,6	136,9	115	126,9	1344,4
1977	110,1	319,2	289	262,2	65,3	48,5	44,9	167	141,6	213,3	159	151	1971,1
1978	98,4	65,7	102,7	111,4	69	10,3	109,8	61,7	149,1	196,8	114,6	104,3	1193,8
1979	68,3	119,4	289,2	126,8	110,2	29,6	57,9	82,1	71,5	111,1	136,2	35,2	1237,5
1980	262,1	91,7	211,9	104,5	34,4	110,1	23,5	59,1	47,9	62,8	53	35,8	1096,8
1981	262,1	246,5	232,9	31,2	69,4	20,5	50,1	53,9	46,6	42,5	92,5	191,7	1339,9
1982	84,3	56,2	154,7	85,9	50,6	106	27,7	13,1	21,6	284,3	329	312,2	1525,6
1983	284,1	153,2	42,4	40,1	77,3	58,6	48,9	40,4	67,9	109,9	34,7	72,8	1030,3
1984	182,8	199,9	233	154,3	84,6	90,5	42,5	64,7	56,4	122,5	197,3	30,7	1459,2
1985	250,1	82,9	33,3	74,0	152,5	152,2	66,1	63,1	151,6	69,3	154,9	108,9	1359
1986	127,4	158,2	161,9	95,7	201,6	110,3	70,4	206,0	80,5	5,4	65,9	82,5	1365,7
1987	141,4	79,2	125,7	128,8	103,7	71,0	66,7	75,5	103,3	75,9	289,3	98,4	1359
1988	177,1	227,4	106,3	142,4	111,1	65,0	57,3	67,7	66,3	65,5	67,7	205,1	1359
1989	188,9	181,5	189,4	158,4	52,4	43,6	11,4	10,1	152,8	167	105,3	1,6	1262,4
1990	219,9	93	263,5	80,9	8,1	15	15,6	29,1	177,8	153,7	118,9	1,8	1177,3
1991	164,8	203,5	195,2	72,7	59,1	46,4	66,1	86,9	37,3	102,6	5,1	29,3	1069
1992	24,2	111,4	193,9	16,9	11,1	33,2	34,9	105,3	145,6	170,4	144,9	145,4	1137,2
1993	92,2	175,3	363	103,4	82,9	55,9	42,4	47,4	97,9	186,3	104,6	155,8	1507,1
1994	97,8	144,6	153,8	216,2	78,8	67,1	87,7	29,9	117,6	107,3	209,4	163,8	1474
1995	56,6	75,3	147,7	69,9	40,1	95,7	32,6	46,6	187,5	96,2	95,8	172	1116
1996	115,5	125,7	253,9	186,6	58,8	51,4	11	63,5	105	225,5	66,8	146,8	1410,5

Continuación

1997	58,2	279,6	112,9	148	119,7	22,8	40	83,7	141,9	85	80,9	107,3	1280
1998	117	118	155	214,9	113,6	22	22,6	83,7	107,4	178,7	61,7	119,5	1314,1
1999	312,3	231,9	114,9	120,5	185,5	115,7	79,8	101,5	67	122,5	201,5	129,7	1782,8
2000	160,8	155,8	142,5	158,8	72,2	79,8	79	122,7	132	53,6	50,8	129,6	1337,6
2001	52,1	147,9	244	184,8	138,9	75,5	92,4	50,7	195,1	190	172,8	338,7	1882,9
2002	137,2	128,8	131,6	152,6	181	20	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	182,2	75,7	196,8	1409,7
2004	24	88,6	135,3	170,3	109,3	58,7	104,2	43	87,5	158,2	116,2	123,7	1219
2005	62	152,6	131,4	113,2	111	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	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	203	236,9	136,8	78,3	121	45	49,9	134	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	89,4	49	1371,3
2010	49,4	162	70	114,6	96,4	34,1	93,4	24	72,6	184,2	130,6	81,7	1113
2011	85	80,6	350,2	79,4	87	50,8	64,6	53,8	91,5	145,9	122,4	168,3	1379,5
2012	154,9	161,9	232,9	165	103,4	75,5	25,6	22,3	161,1	188,6	84,1	150	1525,3
2013	117,2	63,9	368,5	70,7	111,7	45,9	51	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	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	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	84,4	70,6	81,5	1397,3
2018	193,2	106,6	163,6	99,3	122,8	24,6	39	71,5	111,5	113,2	111,4	136,7	1293,4
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	135,2	110,2	74,1	67,5	32,2	112,1	92,3	165,1	128,7	1374,8
Mín	13	21,1	33,340	16,9	8,1	10,3	11	10,1	21,6	5,4	5,1	1,6	1030,3
Máx	312,3	319,2	418,2	265,4	206,4	229,6	138,5	206	195,1	284,3	346,3	338,7	1971,1
Prom	141,8	141,9	192,0	130,6	97,7	75,9	59,0	69,8	111,3	138,0	127,7	126,7	1412,4
Desv. Est.	68,8	61,8	81,8	53,1	45,8	46,3	29,1	35,7	43,7	53,2	73,5	65,9	233,7

Apéndice 7

Complementación de datos faltantes para las temperaturas máximas mediante regresión lineal para el año 2019 y 2020.

Año	2019	2020
Enero	25,9	26,9
Febrero	25,3	27,4
Marzo	26,4	27,5
Abril	26,8	26,88
Mayo	26,8	26,74
Junio	26,9	26,32
Julio	26,9	26,60
Agosto	27,1	27,2
Setiembre	27,6	26,3
Octubre	27,23	26,9
Noviembre	27,55	27,6
Diciembre	27	26,5

Apéndice 8

Complementación de datos de las temperaturas mínimas, mediante método de regresión lineal para el año 2019 y 2020.

Año	2019	2020
Enero	16	18,1
Febrero	16,6	18,5
Marzo	17,1	18,4
Abril	17,2	18,1
Mayo	16,9	18,1
Junio	16,0	17,2
Julio	16,2	16,3
Agosto	15,9	17,4
Setiembre	16,1	17,3
Octubre	16,7	17,5
Noviembre	17,1	17,3
Diciembre	17,6	17,5

Apéndice 9

Periodo confiable (2010-2018) para la completación de datos de temperaturas máximas para el año 2019 y 2020.

Meses	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	Prom
Enero	28,2	27,8	27,3	27,6	27	26,6	29	26,6	26	27,34
Febrero	29	27,4	25,8	27,3	26,1	27,8	27,3	26,5	26,4	27,07
Marzo	29,4	27,1	27,6	28,2	25,2	27,4	27,3	26,5	25,7	27,16
Abril	28,7	28	27,7	29	25,5	27,3	27,9	26,6	26	27,41
Mayo	28,2	27,9	27,8	28,1	24,5	27,1	27,6	27,3	26,9	27,27
Junio	28,1	27,8	27,6	27,6	24,2	27,3	26	26,6	26,3	26,83
Julio	27,6	27,9	28	27,7	25	27,5	27,5	26,6	26,3	27,12
Agosto	29,7	29,2	29,5	27,8	25,1	28,5	29,1	28	26,9	28,20
Setiembre	30	28,9	29,1	29,3	25	29,1	29,3	27,4	27,2	28,37
Octubre	29,9	28,8	28,6	29	26,2	29,3	29	26,4	26,1	28,14
Noviembre	28,8	28,8	29,5	29,2	28,3	29,2	29,6	26,9	26	28,48
Diciembre	28,6	27,9	27,8	28	27	27	27,7	26,3	26,4	27,41

Apéndice 10

Periodo confiable (2010-2018) para la completación de datos de temperaturas mínimas para el año 2019 y 2020.

Meses	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	Prom
Enero	17,6	17,9	17,6	17,9	18,2	17,2	18,7	17,1	15,4	17,51
Febrero	18,1	17,4	17,4	17,9	18,1	18	19,1	17,6	15,3	17,66
Marzo	17,8	18,1	17,1	18,6	18,5	17,3	18,9	17,1	15,4	17,64
Abril	17,9	17,2	17,6	16,7	17,7	17,1	18,5	16,9	14,8	17,16
Mayo	17,9	17,3	16,3	17,8	18,1	17,2	17,5	16,8	15,7	17,18
Junio	16,6	16,9	15,3	16,6	17,4	15,6	16,6	16,1	15,7	16,31
Julio	16,4	15,5	15,1	14,9	16,3	17	14,7	13,9	15,7	15,50
Agosto	14,9	14,8	15,7	16	16,1	16,7	16,7	14,7	15,8	15,71
Setiembre	16	16	15,3	16	15,1	17	16,4	15,2	15,9	15,88
Octubre	17,1	17,7	17,3	17,4	16,3	18,1	18,1	15,3	15,8	17,01
Noviembre	18,2	17,8	17,8	18	17,8	19	17,4	15,2	15,7	17,43
Diciembre	18,1	18,1	18,7	18,1	17,5	18	17,1	15,3	15,9	17,42

Apéndice 11

Temperaturas máximas corregidas para el periodo 2010-2020.

Temperatura máxima promedio mensual (°C)													
Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Prom
2010	28,2	29	29,4	28,7	28,2	28,1	27,6	29,7	30	29,9	28,8	28,6	28,9
2011	27,8	27,4	27,1	28	27,9	27,8	27,9	29,2	28,9	28,8	28,8	27,9	28,1
2012	27,3	25,8	27,6	27,7	27,8	27,6	28	29,5	29,1	28,6	29,5	27,8	28,0
2013	27,6	27,3	28,2	29	28,1	27,6	27,7	27,8	29,3	29	29,2	28	28,2
2014	27	26,1	25,2	25,5	24,5	24,2	25	25,1	25	26,2	28,3	27	25,8
2015	26,6	27,8	27,4	27,3	27,1	27,3	27,5	28,5	29,1	29,3	29,2	27	27,8
2016	29	27,3	27,3	27,9	27,6	26	27,5	29,1	29,3	29	29,6	27,7	28,1
2017	26,6	26,5	26,5	26,6	27,3	26,6	26,6	28	27,4	26,4	26,9	26,3	26,8
2018	26	26,4	25,7	26	26,9	26,3	26,3	26,9	27,2	26,1	26	26,4	26,4
2019	25,9	25,3	26,4	26,8	26,8	26,9	26,9	27,1	27,6	27,23	27,55	27	26,8
2020	26,9	27,4	27,5	26,88	26,74	26,32	26,60	27,2	26,3	26,9	27,6	26,5	26,9
Prom	27,17	26,94	27,12	27,31	27,18	26,79	27,05	28,01	28,11	27,95	28,31	27,29	27,44

Apéndice 12

Temperaturas mínimas corregidas para el periodo 2010-2020.

Temperatura mínima promedio mensual (°C)													
Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Prom
2010	17,6	18,1	17,8	17,9	17,9	16,6	16,4	14,9	16	17,1	18,2	18,1	17,2
2011	17,9	17,4	18,1	17,2	17,3	16,9	15,5	14,8	16	17,7	17,8	18,1	17,1
2012	17,6	17,4	17,1	17,6	16,3	15,3	15,1	15,7	15,3	17,3	17,8	18,7	16,8
2013	17,9	17,9	18,6	16,7	17,8	16,6	14,9	16	16	17,4	18	18,1	17,2
2014	18,2	18,1	18,5	17,7	18,1	17,4	16,3	16,1	15,1	16,3	17,8	17,5	17,3
2015	17,2	18	17,3	17,1	17,2	15,6	17	16,7	17	18,1	19	18	17,4
2016	18,7	19,1	18,9	18,5	17,5	16,6	14,7	16,7	16,4	18,1	17,4	17,1	17,5
2017	17,1	17,6	17,1	16,9	16,8	16,1	13,9	14,7	15,2	15,3	15,2	15,3	15,9
2018	15,4	15,3	15,4	14,8	15,7	15,7	15,7	15,8	15,9	15,8	15,7	15,9	15,6
2019	16	16,6	17,1	17,2	16,9	16,0	16,2	15,9	16,1	16,7	17,1	17,6	16,6
2020	18,1	18,5	18,4	18,1	18,1	17,2	16,3	17,4	17,3	17,5	17,3	17,5	17,6
Prom	17,43	17,64	17,66	17,24	17,23	16,36	15,64	15,88	16,03	17,03	17,39	17,45	16,92

Apéndice 13

Precipitación utilizada para el análisis de tendencia.

Análisis de Tendencia Estación Japelacio												
Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
1965	121,3	71	154,1	160,3	44,5	86,2	84,2	77,7	149,6	120,8	232,2	122,3
1966	13	61	177,5	143,8	183,9	41,2	35,8	26,5	147,2	122,2	67,4	119,6
1967	143,5	185,3	177,3	121,9	95,9	49,3	54	60,1	184,7	180	59,7	196,3
1968	87,5	162,9	120,1	156,8	68,1	73,4	73,4	95	193,6	179,6	91,1	91,5
1969	98,9	104,7	129,5	89,9	58,9	179,7	39,3	102,1	60,5	176,1	194,3	110,4
1970	135,5	81,5	224,2	265,4	68,1	127,9	88	54,2	114	200,2	346,3	108,8
1971	201	201,6	370,7	95,6	206,4	73,2	69,9	59,1	162,1	161	133,9	157,2
1972	238,8	92,6	418,2	194	82,2	106,3	80,4	119,4	166,3	129,6	98,3	78,5
1973	228,8	143	169,5	193,9	90,7	121,2	92	83,5	95,7	159,1	78,3	92,8
1974	192	125,3	303	205,4	109,9	229,6	54,1	78,3	94,8	111	91,4	240,5
1975	213,9	102,7	214,9	112,7	150,9	139,2	136,2	121,4	90,7	111,9	134,3	71,5
1976	169,3	54	212,5	104	57,1	126,5	64,7	93,9	83,6	136,9	115	126,9
1977	110,1	319,2	289	262,2	65,3	48,5	44,9	167	141,6	213,3	159	151
1978	98,4	65,7	102,7	111,4	69	10,3	109,8	61,7	149,1	196,8	114,6	104,3
1979	68,3	119,4	289,2	126,8	110,2	29,6	57,9	82,1	71,5	111,1	136,2	35,2
1980	262,1	91,7	211,9	104,5	34,4	110,1	23,5	59,1	47,9	62,8	53	35,8
1981	262,1	246,5	232,9	31,2	69,4	20,5	50,1	53,9	46,6	42,5	92,5	191,7
1982	84,3	56,2	154,7	85,9	50,6	106	27,7	13,1	21,6	284,3	329	312,2
1983	284,1	153,2	42,4	40,1	77,3	58,6	48,9	40,4	67,9	109,9	34,7	72,8
1984	182,8	199,9	233	154,3	84,6	90,5	42,5	64,7	56,4	122,5	197,3	30,7
1985	250,1	82,9	33,3	74,0	152,5	152,2	66,1	63,1	151,6	69,3	154,9	108,9
1986	127,4	158,2	161,9	95,7	201,6	110,3	70,4	206,0	80,5	5,4	65,9	82,5
1987	141,4	79,2	125,7	128,8	103,7	71,0	66,7	75,5	103,3	75,9	289,3	98,4
1988	177,1	227,4	106,3	142,4	111,1	65,0	57,3	67,7	66,3	65,5	67,7	205,1
1989	188,9	181,5	189,4	158,4	52,4	43,6	11,4	10,1	152,8	167	105,3	1,6
1990	219,9	93	263,5	80,9	8,1	15	15,6	29,1	177,8	153,7	118,9	1,8
1991	164,8	203,5	195,2	72,7	59,1	46,4	66,1	86,9	37,3	102,6	5,1	29,3
1992	24,2	111,4	193,9	16,9	11,1	33,2	34,9	105,3	145,6	170,4	144,9	145,4
1993	92,2	175,3	363	103,4	82,9	55,9	42,4	47,4	97,9	186,3	104,6	155,8
1994	97,8	144,6	153,8	216,2	78,8	67,1	87,7	29,9	117,6	107,3	209,4	163,8
1995	56,6	75,3	147,7	69,9	40,1	95,7	32,6	46,6	187,5	96,2	95,8	172
1996	115,5	125,7	253,9	186,6	58,8	51,4	11	63,5	105	225,5	66,8	146,8
1997	58,2	279,6	112,9	148	119,7	22,8	40	83,7	141,9	85	80,9	107,3

Continuación

1998	117	118	155	214,9	113,6	22	22,6	83,7	107,4	178,7	61,7	119,5
1999	312,3	231,9	114,9	120,5	185,5	115,7	79,8	101,5	67	122,5	201,5	129,7
2000	160,8	155,8	142,5	158,8	72,2	79,8	79	122,7	132	53,6	50,8	129,6
2001	52,1	147,9	244	184,8	138,9	75,5	92,4	50,7	195,1	190	172,8	338,7
2002	137,2	128,8	131,6	152,6	181	20	96,5	75,8	48,9	103,7	104,7	76,3
2003	120,5	127,7	153,6	58,4	144,9	119,8	26,5	87,6	116	182,2	75,7	196,8
2004	24	88,6	135,3	170,3	109,3	58,7	104,2	43	87,5	158,2	116,2	123,7
2005	62	152,6	131,4	113,2	111	38,5	50,1	35,8	33,5	159,7	229,3	143,7
2006	139,2	126,6	169,8	91,6	46,5	59,4	54,2	63,9	124,6	120,3	76,6	135
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
2008	103	203	236,9	136,8	78,3	121	45	49,9	134	85,4	122,6	120,6
2009	155,5	119,9	156,1	164,8	105,5	171,7	78,8	81,9	96,7	102	89,4	49
2010	49,4	162	70	114,6	96,4	34,1	93,4	24	72,6	184,2	130,6	81,7
2011	85	80,6	350,2	79,4	87	50,8	64,6	53,8	91,5	145,9	122,4	168,3
2012	154,9	161,9	232,9	165	103,4	75,5	25,6	22,3	161,1	188,6	84,1	150
2013	117,2	63,9	368,5	70,7	111,7	45,9	51	96,2	100,6	99,4	144,9	75,5
2014	138,9	151,8	239,9	168,7	54,4	74,9	52	63,9	72,8	211,9	301,6	240,4
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
2016	55,8	176,9	150,5	123	89,7	44,9	15,2	26,9	121,5	149,8	48,8	138,7
2017	164,4	225,7	174,8	66,3	150,4	132,2	19,8	100,2	127	84,4	70,6	81,5
2018	193,2	106,6	163,6	99,3	122,8	24,6	39	71,5	111,5	113,2	111,4	136,7
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
2020	174,7	201,9	80,7	135,2	110,2	74,1	67,5	32,2	112,1	92,3	165,1	128,7
Mín	13	21,1	33,340	16,9	8,1	10,3	11	10,1	21,6	5,4	5,1	1,6
Máx	312,3	319,2	418,2	265,4	206,4	229,6	138,5	206	195,1	284,3	346,3	338,7
Prom	141,8	141,9	192,0	130,6	97,7	75,9	59,0	69,8	111,3	138,0	127,7	126,7
Desv. E.	68,8	61,8	81,8	53,1	45,8	46,3	29,1	35,7	43,7	53,2	73,5	65,9

Apéndice 14

Dispersión de datos mensuales para el análisis de tendencia de la media.

t	Tmpz	Tm*t
1	121.3	121.30
2	71.0	142.00
3	154.1	462.30
4	160.3	641.20
5	44.5	222.50
6	86.2	517.20
7	84.2	589.40
8	77.7	621.60
9	149.6	1346.40
10	120.8	1208.00
11	232.2	2554.20
12	122.3	1467.60
13	13.0	169.00
14	61.0	854.00
15	177.5	2662.50
16	143.8	2300.80
17	183.9	3126.30
18	41.2	741.60
19	35.8	680.20
20	26.5	530.00
21	147.2	3091.20
22	122.2	2688.40
23	67.4	1550.20
24	119.6	2870.40

t	Tmpz	Tm*t
25	143.5	3587.50
26	185.3	4817.80
27	177.3	4787.10
28	121.9	3413.20
29	95.9	2781.10
30	49.3	1479.00
31	54.0	1674.00
32	60.1	1923.20
33	184.7	6095.10
34	180.0	6120.00
35	59.7	2089.50
36	196.3	7066.80
37	87.5	3237.50
38	162.9	6190.20
39	120.1	4683.90
40	156.8	6272.00
41	68.1	2792.10
42	73.4	3082.80
43	73.4	3156.20
44	95.0	4180.00
45	193.6	8712.00
46	179.6	8261.60
47	91.1	4281.70
48	91.5	4392.00

t	Tmpz	Tm*t
49	98.9	4846.10
50	104.7	5235.00
51	129.5	6604.50
52	89.9	4674.80
53	58.9	3121.70
54	179.7	9703.80
55	39.3	2161.50
56	102.1	5717.60
57	60.5	3448.50
58	176.1	10213.80
59	194.3	11463.70
60	110.4	6624.00
61	135.5	8265.50
62	81.5	5053.00
63	224.2	14124.60
64	265.4	16985.60
65	68.1	4426.50
66	127.9	8441.40
67	88.0	5896.00
68	54.2	3685.60
69	114.0	7866.00
70	200.2	14014.00
71	346.3	24587.30
72	108.8	7833.60

t	Tmpz	Tm*t
73	201.0	14673.00
74	201.6	14918.40
75	370.7	27802.50
76	95.6	7265.60
77	206.4	15892.80
78	73.2	5709.60
79	69.9	5522.10
80	59.1	4728.00
81	162.1	13130.10
82	161.0	13202.00
83	133.9	11113.70
84	157.2	13204.80
85	238.8	20298.00
86	92.6	7963.60
87	418.2	36383.40
88	194.0	17072.00
89	82.2	7315.80
90	106.3	9567.00
91	80.4	7316.40
92	119.4	10984.80
93	166.3	15465.90
94	129.6	12182.40
95	98.3	9338.50
96	78.5	7536.00

t	Tmpz	Tm*t
97	228.8	22193.60
98	143.0	14014.00
99	169.5	16780.50
100	193.9	19390.00
101	90.7	9160.70
102	121.2	12362.40
103	92.0	9476.00
104	83.5	8684.00
105	95.7	10048.50
106	159.1	16864.60
107	78.3	8378.10
108	92.8	10022.40
109	192.0	20928.00
110	125.3	13783.00
111	303.0	33633.00
112	205.4	23004.80
113	109.9	12418.70
114	229.6	26174.40
115	54.1	6221.50
116	78.3	9082.80
117	94.8	11091.60
118	111.0	13098.00
119	91.4	10876.60
120	240.5	28860.00

t	Tmpz	Tm*t
121	213.9	25881.90
122	102.7	12529.40
123	214.9	26432.70
124	112.7	13974.80
125	150.9	18862.50
126	139.2	17539.20
127	136.2	17297.40
128	121.4	15539.20
129	90.7	11700.30
130	111.9	14547.00
131	134.3	17593.30
132	71.5	9438.00
133	169.3	22516.90
134	54.0	7236.00
135	212.5	28687.50
136	104.0	14144.00
137	57.1	7822.70
138	126.5	17457.00
139	64.7	8993.30
140	93.9	13146.00
141	83.6	11787.60
142	136.9	19439.80
143	115.0	16445.00
144	126.9	18273.60

t	Tmpz	Tm*t
145	110.1	15964.50
146	319.2	46603.20
147	289.0	42483.00
148	262.2	38805.60
149	65.3	9729.70
150	48.5	7275.00
151	44.9	6779.90
152	167.0	25384.00
153	141.6	21664.80
154	213.3	32848.20
155	159.0	24645.00
156	151.0	23556.00
157	98.4	15448.80
158	65.7	10380.60
159	102.7	16329.30
160	111.4	17824.00
161	69.0	11109.00
162	10.3	1668.60
163	109.8	17897.40
164	61.7	10118.80
165	149.1	24601.50
166	196.8	32668.80
167	114.6	19138.20
168	104.3	17522.40

t	Tmpz	Tm*t
169	68.3	11542.70
170	119.4	20298.00
171	289.2	49453.20
172	126.8	21809.60
173	110.2	19064.60
174	29.6	5150.40
175	57.9	10132.50
176	82.1	14449.60
177	71.5	12655.50
178	111.1	19775.80
179	136.2	24379.80
180	35.2	6336.00
181	262.1	47440.10
182	91.7	16689.40
183	211.9	38777.70
184	104.5	19228.00
185	34.4	6364.00
186	110.1	20478.60
187	23.5	4394.50
188	59.1	11110.80
189	47.9	9053.10
190	62.8	11932.00
191	53.0	10123.00
192	35.8	6873.60

t	Tmpz	Tm*t
193	262.1	50585.30
194	246.5	47821.00
195	232.9	45415.50
196	31.2	6115.20
197	69.4	13671.80
198	20.5	4059.00
199	50.1	9969.90
200	53.9	10780.00
201	46.6	9366.60
202	42.5	8585.00
203	92.5	18777.50
204	191.7	39106.80
205	84.3	17281.50
206	56.2	11577.20
207	154.7	32022.90
208	85.9	17867.20
209	50.6	10575.40
210	106.0	22260.00
211	27.7	5844.70
212	13.1	2777.20
213	21.6	4600.80
214	284.3	60840.20
215	329.0	70735.00
216	312.2	67435.20

t	Tmpz	Tm*t
217	284.1	61649.70
218	153.2	33397.60
219	42.4	9285.60
220	40.1	8822.00
221	77.3	17083.30
222	58.6	13009.20
223	48.9	10904.70
224	40.4	9049.60
225	67.9	15277.50
226	109.9	24837.40
227	34.7	7876.90
228	72.8	16598.40
229	182.8	41861.20
230	199.9	45977.00
231	233.0	53823.00
232	154.3	35797.60
233	84.6	19711.80
234	90.5	21177.00
235	42.5	9987.50
236	64.7	15269.20
237	56.4	13366.80
238	122.5	29155.00
239	197.3	47154.70
240	30.7	7368.00

t	Tmpz	Tm*t
241	250.1	60283.09
242	82.9	20060.21
243	33.3	8101.54
244	74.0	18066.87
245	152.5	37363.63
246	152.2	37443.58
247	66.1	16321.89
248	63.1	15656.47
249	151.6	37753.31
250	69.3	17331.28
251	154.9	38870.95
252	108.9	27430.24
253	127.4	32234.21
254	158.2	40173.32
255	161.9	41280.16
256	95.7	24489.24
257	201.6	51802.60
258	110.3	28455.96
259	70.4	18223.98
260	206.0	53568.04
261	80.5	21018.79
262	5.4	1414.80
263	65.9	17331.29
264	82.5	21784.21

t	Tmpz	Tm*t
265	127.4	33763.10
266	158.2	42071.27
267	161.9	43222.76
268	95.7	25637.17
269	201.6	54221.40
270	110.3	29779.49
271	70.4	19068.33
272	206.0	56040.41
273	80.5	21985.17
274	5.4	1479.60
275	65.9	18122.07
276	82.5	22774.40
277	177.1	49047.44
278	227.4	63216.02
279	106.3	29669.07
280	142.4	39862.45
281	111.1	31221.57
282	65.0	18335.03
283	57.3	16226.09
284	67.7	19217.36
285	66.3	18907.55
286	65.5	18746.62
287	67.7	19420.36
288	205.1	59081.75

t	Tmpz	Tm*t
289	188.9	54592.10
290	181.5	52635.00
291	189.4	55115.40
292	158.4	46252.80
293	52.4	15353.20
294	43.6	12818.40
295	11.4	3363.00
296	10.1	2989.60
297	152.8	45381.60
298	167.0	49766.00
299	105.3	31484.70
300	1.6	480.00
301	219.9	66189.90
302	93.0	28086.00
303	263.5	79840.50
304	80.9	24593.60
305	8.1	2470.50
306	15.0	4590.00
307	15.6	4789.20
308	29.1	8962.80
309	177.8	54940.20
310	153.7	47647.00
311	118.9	36977.90
312	1.8	561.60

t	Tmpz	Tm*t
313	164.8	51582.40
314	203.5	63899.00
315	195.2	61488.00
316	72.7	22973.20
317	59.1	18734.70
318	46.4	14755.20
319	66.1	21085.90
320	86.9	27808.00
321	37.3	11973.30
322	102.6	33037.20
323	5.1	1647.30
324	29.3	9493.20
325	24.2	7865.00
326	111.4	36316.40
327	193.9	63405.30
328	16.9	5543.20
329	11.1	3651.90
330	33.2	10956.00
331	34.9	11551.90
332	105.3	34959.60
333	145.6	48484.80
334	170.4	56913.60
335	144.9	48541.50
336	145.4	48854.40

t	Tmpz	Tm*t
337	92.2	31071.40
338	175.3	59251.40
339	363.0	123057.00
340	103.4	35156.00
341	82.9	28268.90
342	55.9	19117.80
343	42.4	14543.20
344	47.4	16305.60
345	97.9	33775.50
346	186.3	64459.80
347	104.6	36296.20
348	155.8	54218.40
349	97.8	34132.20
350	144.6	50610.00
351	153.8	53983.80
352	216.2	76102.40
353	78.8	27816.40
354	67.1	23753.40
355	87.7	31133.50
356	29.9	10644.40
357	117.6	41983.20
358	107.3	38413.40
359	209.4	75174.60
360	163.8	58968.00

t	Tmpz	Tm*t
361	56.6	20432.60
362	75.3	27258.60
363	147.7	53615.10
364	69.9	25443.60
365	40.1	14636.50
366	95.7	35026.20
367	32.6	11964.20
368	46.6	17148.80
369	187.5	69187.50
370	96.2	35594.00
371	95.8	35541.80
372	172.0	63984.00
373	115.5	43081.50
374	125.7	47011.80
375	253.9	95212.50
376	186.6	70161.60
377	58.8	22167.60
378	51.4	19429.20
379	11.0	4169.00
380	63.5	24130.00
381	105.0	40005.00
382	225.5	86141.00
383	66.8	25584.40
384	146.8	56371.20

t	Tmpz	Tm*t
385	58.2	22407.00
386	279.6	107925.60
387	112.9	43692.30
388	148.0	57424.00
389	119.7	46563.30
390	22.8	8892.00
391	40.0	15640.00
392	83.7	32810.40
393	141.9	55766.70
394	85.0	33490.00
395	80.9	31955.50
396	107.3	42490.80
397	117.0	46449.00
398	118.0	46964.00
399	155.0	61845.00
400	214.9	85960.00
401	113.6	45553.60
402	22.0	8844.00
403	22.6	9107.80
404	83.7	33814.80
405	107.4	43497.00
406	178.7	72552.20
407	61.7	25111.90
408	119.5	48756.00

t	Tmpz	Tm*t
409	312.3	127730.70
410	231.9	95079.00
411	114.9	47223.90
412	120.5	49646.00
413	185.5	76611.50
414	115.7	47899.80
415	79.8	33117.00
416	101.5	42224.00
417	67.0	27939.00
418	122.5	51205.00
419	201.5	84428.50
420	129.7	54474.00
421	160.8	67696.80
422	155.8	65747.60
423	142.5	60277.50
424	158.8	67331.20
425	72.2	30685.00
426	79.8	33994.80
427	79.0	33733.00
428	122.7	52515.60
429	132.0	56628.00
430	53.6	23048.00
431	50.8	21894.80
432	129.6	55987.20

t	Tmpz	Tm*t
433	52.1	22559.30
434	147.9	64188.60
435	244.0	106140.00
436	184.8	80572.80
437	138.9	60699.30
438	75.5	33069.00
439	92.4	40563.60
440	50.7	22308.00
441	195.1	86039.10
442	190.0	83980.00
443	172.8	76550.40
444	338.7	150382.80
445	137.2	61054.00
446	128.8	57444.80
447	131.6	58825.20
448	152.6	68364.80
449	181.0	81269.00
450	20.0	9000.00
451	96.5	43521.50
452	75.8	34261.60
453	48.9	22151.70
454	103.7	47079.80
455	104.7	47638.50
456	76.3	34792.80

t	Tmpz	Tm*t
457	120.5	55068.50
458	127.7	58486.60
459	153.6	70502.40
460	58.4	26864.00
461	144.9	66798.90
462	119.8	55347.60
463	26.5	12269.50
464	87.6	40646.40
465	116.0	53940.00
466	182.2	84905.20
467	75.7	33531.90
468	196.8	92102.40
469	24.0	11256.00
470	88.6	41642.00
471	135.3	63726.30
472	170.3	80381.60
473	109.3	51698.90
474	58.7	27823.80
475	104.2	49495.00
476	43.0	20468.00
477	87.5	41737.50
478	158.2	75619.60
479	116.2	55659.80
480	123.7	59376.00

t	Tmpz	Tm*t
481	62.0	29822.00
482	152.6	73553.20
483	131.4	63466.20
484	113.2	54788.80
485	111.0	53835.00
486	38.5	18711.00
487	50.1	24398.70
488	35.8	17470.40
489	33.5	16381.50
490	159.7	78253.00
491	229.3	112586.30
492	143.7	70700.40
493	139.2	68625.60
494	126.6	62540.40
495	169.8	84051.00
496	91.6	45433.60
497	46.5	23110.50
498	59.4	29581.20
499	54.2	27045.80
500	63.9	31950.00
501	124.6	62424.60
502	120.3	60390.60
503	76.6	38529.80
504	135.0	68040.00

t	Tmpz	Tm*t
505	117.3	59236.50
506	21.1	10676.60
507	207.8	105354.60
508	126.7	64363.60
509	84.9	43214.10
510	13.5	6885.00
511	63.2	32295.20
512	63.6	32563.20
513	159.5	81823.50
514	214.8	110407.20
515	189.7	97695.50
516	108.3	55882.80
517	103.0	53251.00
518	203.0	105154.00
519	236.9	122951.10
520	136.8	71136.00
521	78.3	40794.30
522	121.0	63162.00
523	45.0	23535.00
524	49.9	26147.60
525	134.0	70350.00
526	85.4	44920.40
527	122.6	64610.20
528	120.6	63676.80

t	Tmpz	Tm*t
529	155.5	82259.50
530	119.9	63547.00
531	156.1	82889.10
532	164.8	87673.60
533	105.5	56231.50
534	171.7	91687.80
535	78.8	42158.00
536	81.9	43898.40
537	96.7	51927.90
538	102.0	54876.00
539	89.4	48186.60
540	49.0	26460.00
541	49.4	26725.40
542	162.0	87804.00
543	70.0	38010.00
544	114.6	62342.40
545	96.4	52538.00
546	34.1	18618.60
547	93.4	51089.80
548	24.0	13152.00
549	72.6	39857.40
550	184.2	101310.00
551	130.6	71960.60
552	81.7	45098.40

t	Tmpz	Tm*t
553	85.0	47005.00
554	80.6	44652.40
555	350.2	194361.00
556	79.4	44146.40
557	87.0	48459.00
558	50.8	28346.40
559	64.6	36111.40
560	53.8	30128.00
561	91.5	51331.50
562	145.9	81995.80
563	122.4	68911.20
564	168.3	94921.20
565	154.9	87518.50
566	161.9	91635.40
567	232.9	132054.30
568	165.0	93720.00
569	103.4	58834.60
570	75.5	43035.00
571	25.6	14617.60
572	22.3	12755.60
573	161.1	92310.30
574	188.6	108256.40
575	84.1	48357.50
576	150.0	86400.00

Apéndice 15

Análisis de tendencia de la varianza: dispersión de datos por año.

Año	Periodo (t)	Sp	t*Sp
1965	1	50,949	50,949
1966	2	60,972	121,944
1967	3	59,149	177,448
1968	4	45,071	180,283
1969	5	49,857	249,284
1970	6	89,429	536,576
1971	7	85,582	599,074
1972	8	98,072	784,578
1973	9	49,425	444,825
1974	10	78,174	781,738
1975	11	43,800	481,804
1976	12	46,961	563,527
1977	13	91,781	1193,156
1978	14	46,608	652,518
1979	15	68,342	1025,130
1980	16	74,075	1185,208
1981	17	92,931	1579,830
1982	18	116,525	2097,454
1983	19	71,194	1352,680
1984	20	69,695	1393,900
1985	21	60,701	1274,722
1986	22	59,569	1310,522
1987	23	60,701	1396,124
1988	24	60,701	1456,825
1989	25	76,271	1906,777
1990	26	89,563	2328,639
1991	27	65,435	1766,736
1992	28	66,752	1869,054
1993	29	88,400	2563,611
1994	30	56,515	1695,454
1995	31	51,310	1590,616
1996	32	74,329	2378,539
1997	33	66,437	2192,425
1998	34	57,506	1955,198
1999	35	71,065	2487,287
2000	36	41,677	1500,387
2001	37	84,033	3109,209

Continuación

2002	38	45,201	1717,639
2003	39	49,602	1934,487
2004	40	44,200	1768,019
2005	41	61,933	2539,243
2006	42	40,320	1693,459
2007	43	68,532	2946,856
2008	44	56,249	2474,976
2009	45	39,374	1771,841
2010	46	48,779	2243,853
2011	47	82,166	3861,800
2012	48	64,972	3118,661
2013	49	85,749	4201,699
2014	50	85,934	4296,716
2015	51	60,987	3110,326
2016	52	55,104	2865,428
2017	53	56,907	3016,080
2018	54	47,261	2552,107
2019	55	56,411	3102,622
2020	56	49,292	2760,337

Apéndice 16

Data de evaporación generada en base a la humedad relativa.

Datos calculados en base a la humedad relativa y temperatura generado en HIDROESTA											
Estación:	Jepelacio					Departamento:	San Martín	Latitud:	6°6'45.9" S		
Parámetro:	Humedad Relativa (%)					Provincia:	Moyobamba	Longitud:	76°54'27.4" W		
						Distrito:	Jepelacio	Altitud:	1057 msnm		
Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set.	Oct.	Nov.
2017	88,56	86,32	87,12	86,37	87,83	87,11	88,62	88,50	89,52	90,68	91,57
2018	91,15	91,64	91,21	90,91	90,31	90,33	90,23	89,15	87,56	87,03	88,23
2019	87,12	89,66	88,63	89,26	89,00	89,03	88,48	88,53	89,28	91,44	90,00
2020	90,41	90,46	89,03	88,85	89,05	88,82	89,58	90,75	90,75	90,93	90,20
Prom	89,31	89,52	89,00	88,85	89,05	88,82	89,23	89,23	89,28	90,02	90,00
Mín	87,12	86,32	87,12	86,37	87,83	87,11	88,48	88,50	87,56	87,03	88,23
Máx	91,15	91,64	91,21	90,91	90,31	90,33	90,23	90,75	90,75	91,44	91,57

Apéndice 17

Precipitación mensual en mm-estación de Jepelacio para la regionalización de precipitación en la zona de estudio de la subcuenca del río Gera.

Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Total
1965	121,3	71,0	154,1	160,3	44,5	86,2	84,2	77,7	149,6	120,8	232,2	122,3	1424,2
1966	13,0	61,0	177,5	143,8	183,9	41,2	35,8	26,5	147,2	122,2	67,4	119,6	1139,1
1967	143,5	185,3	177,3	121,9	95,9	49,3	54,0	60,1	184,7	180,0	59,7	196,3	1508,0
1968	87,5	162,9	120,1	156,8	68,1	73,4	73,4	95,0	193,6	179,6	91,1	91,5	1393,0
1969	98,9	104,7	129,5	89,9	58,9	179,7	39,3	102,1	60,5	176,1	194,3	110,4	1344,3
1970	135,5	81,5	224,2	265,4	68,1	127,9	88,0	54,2	114,0	200,2	346,3	108,8	1814,1
1971	201,0	201,6	370,7	95,6	206,4	73,2	69,9	59,1	162,1	161,0	133,9	157,2	1891,7
1972	238,8	92,6	418,2	194,0	82,2	106,3	80,4	119,4	166,3	129,6	98,3	78,5	1804,6
1973	228,8	143,0	169,5	193,9	90,7	121,2	92,0	83,5	95,7	159,1	78,3	92,8	1548,5
1974	192,0	125,3	303,0	205,4	109,9	229,6	54,1	78,3	94,8	111,0	91,4	240,5	1835,3
1975	213,9	102,7	214,9	112,7	150,9	139,2	136,2	121,4	90,7	111,9	134,3	71,5	1600,3
1976	169,3	54,0	212,5	104,0	57,1	126,5	64,7	93,9	83,6	136,9	115,0	126,9	1344,4
1977	110,1	319,2	289,0	262,2	65,3	48,5	44,9	167,0	141,6	213,3	159,0	151,0	1971,1
1978	98,4	65,7	102,7	111,4	69,0	10,3	109,8	61,7	149,1	196,8	114,6	104,3	1193,8
1979	68,3	119,4	289,2	126,8	110,2	29,6	57,9	82,1	71,5	111,1	136,2	35,2	1237,5
1980	262,1	91,7	211,9	104,5	34,4	110,1	23,5	59,1	47,9	62,8	53,0	35,8	1096,8
1981	262,1	246,5	232,9	31,2	69,4	20,5	50,1	53,9	46,6	42,5	92,5	191,7	1339,9
1982	84,3	56,2	154,7	85,9	50,6	106,0	27,7	13,1	21,6	284,3	329,0	312,2	1525,6
1983	284,1	153,2	42,4	40,1	77,3	58,6	48,9	40,4	67,9	109,9	34,7	72,8	1030,3
1984	182,8	199,9	233,0	154,3	84,6	90,5	42,5	64,7	56,4	122,5	197,3	30,7	1459,2
1985	250,1	82,9	33,3	74,0	152,5	152,2	66,1	63,1	151,6	69,3	154,9	108,9	1359,0
1986	127,4	158,2	161,9	95,7	201,6	110,3	70,4	206,0	80,5	5,4	65,9	82,5	1365,7
1987	141,4	79,2	125,7	128,8	103,7	71,0	66,7	75,5	103,3	75,9	289,3	98,4	1359,0
1988	177,1	227,4	106,3	142,4	111,1	65,0	57,3	67,7	66,3	65,5	67,7	205,1	1359,0
1989	188,9	181,5	189,4	158,4	52,4	43,6	11,4	10,1	152,8	167,0	105,3	1,6	1262,4
1990	219,9	93,0	263,5	80,9	8,1	15,0	15,6	29,1	177,8	153,7	118,9	1,8	1177,3
1991	164,8	203,5	195,2	72,7	59,1	46,4	66,1	86,9	37,3	102,6	5,1	29,3	1069,0
1992	24,2	111,4	193,9	16,9	11,1	33,2	34,9	105,3	145,6	170,4	144,9	145,4	1137,2
1993	92,2	175,3	363,0	103,4	82,9	55,9	42,4	47,4	97,9	186,3	104,6	155,8	1507,1
1994	97,8	144,6	153,8	216,2	78,8	67,1	87,7	29,9	117,6	107,3	209,4	163,8	1474,0
1995	56,6	75,3	147,7	69,9	40,1	95,7	32,6	46,6	187,5	96,2	95,8	172,0	1116,0
1996	115,5	125,7	253,9	186,6	58,8	51,4	11,0	63,5	105,0	225,5	66,8	146,8	1410,5
1997	58,2	279,6	112,9	148,0	119,7	22,8	40,0	83,7	141,9	85,0	80,9	107,3	1280,0

Continuación

1998	117,0	118,0	155,0	214,9	113,6	22,0	22,6	83,7	107,4	178,7	61,7	119,5	1314,1
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
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	135,2	110,2	74,1	67,5	32,2	112,1	92,3	165,1	128,7	1374,8
PROM.	141,8	141,9	192,0	130,6	97,7	75,9	59,0	69,8	111,3	138,0	127,7	126,7	1412,4

Apéndice 18

Matriz de variabilidad de la precipitación – Estación de Jepelacio para el proceso de regionalización.

Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Total
1965	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,1	1,0
1966	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,0	0,1	0,8
1967	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,0	0,1	1,1
1968	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	1,0
1969	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,1	0,0	0,1	0,0	0,1	0,1	0,1	1,0
1970	0,1	0,1	0,2	0,2	0,0	0,1	0,1	0,0	0,1	0,1	0,2	0,1	1,3
1971	0,1	0,1	0,3	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	1,3
1972	0,2	0,1	0,3	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	1,3
1973	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	1,1
1974	0,1	0,1	0,2	0,1	0,1	0,2	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	1,3
1975	0,2	0,1	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	1,1
1976	0,1	0,0	0,2	0,1	0,0	0,1	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	1,0
1977	0,1	0,2	0,2	0,2	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,2	0,1	0,1	1,4
1978	0,1	0,0	0,1	0,1	0,0	0,0	0,1	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,8
1979	0,0	0,1	0,2	0,1	0,1	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,9
1980	0,2	0,1	0,2	0,1	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,8
1981	0,2	0,2	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,9
1982	0,1	0,0	0,1	0,1	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,2	0,2	0,2	1,1
1983	0,2	0,1	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,1	0,7
1984	0,1	0,1	0,2	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,0	1,0
1985	0,2	0,1	0,0	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0	0,1	0,0	0,1	0,1	1,0
1986	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,1	0,1	0,0	0,0	0,1	1,0
1987	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,1	0,1	0,1	0,2	0,1	1,0
1988	0,1	0,2	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	1,0
1989	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1	0,0	0,9
1990	0,2	0,1	0,2	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1	0,0	0,8
1991	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,1	0,0	0,0	0,8
1992	0,0	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,8
1993	0,1	0,1	0,3	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	1,1
1994	0,1	0,1	0,1	0,2	0,1	0,0	0,1	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	1,0
1995	0,0	0,1	0,1	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,8
1996	0,1	0,1	0,2	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,2	0,0	0,1	1,0
1997	0,0	0,2	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,9

Continuación

1998	0,1	0,1	0,1	0,2	0,1	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1	0,0	0,1	0,9
1999	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,1	0,1	0,1	1,3
2000	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0	0,1	0,9
2001	0,0	0,1	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,1	0,1	0,1	0,2	1,3
2002	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,1	0,1	0,0	0,1	0,1	0,1	0,9
2003	0,1	0,1	0,1	0,0	0,1	0,1	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	1,0
2004	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,1	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,9
2005	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,2	0,1	0,9
2006	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,9
2007	0,1	0,0	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,1	0,2	0,1	0,1	1,0
2008	0,1	0,1	0,2	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	1,0
2009	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	1,0
2010	0,0	0,1	0,0	0,1	0,1	0,0	0,1	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,8
2011	0,1	0,1	0,2	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	1,0
2012	0,1	0,1	0,2	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	1,1
2013	0,1	0,0	0,3	0,1	0,1	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	1,0
2014	0,1	0,1	0,2	0,1	0,0	0,1	0,0	0,0	0,1	0,2	0,2	0,2	1,3
2015	0,1	0,1	0,2	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	1,2
2016	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,0	0,1	0,8
2017	0,1	0,2	0,1	0,0	0,1	0,1	0,0	0,1	0,1	0,1	0,0	0,1	1,0
2018	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,9
2019	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,1	1,3
2020	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	1,0
Prom.	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	1,0

Apéndice 19

Precipitación mensual (mm) para la subcuenca media y alta del río Gera.

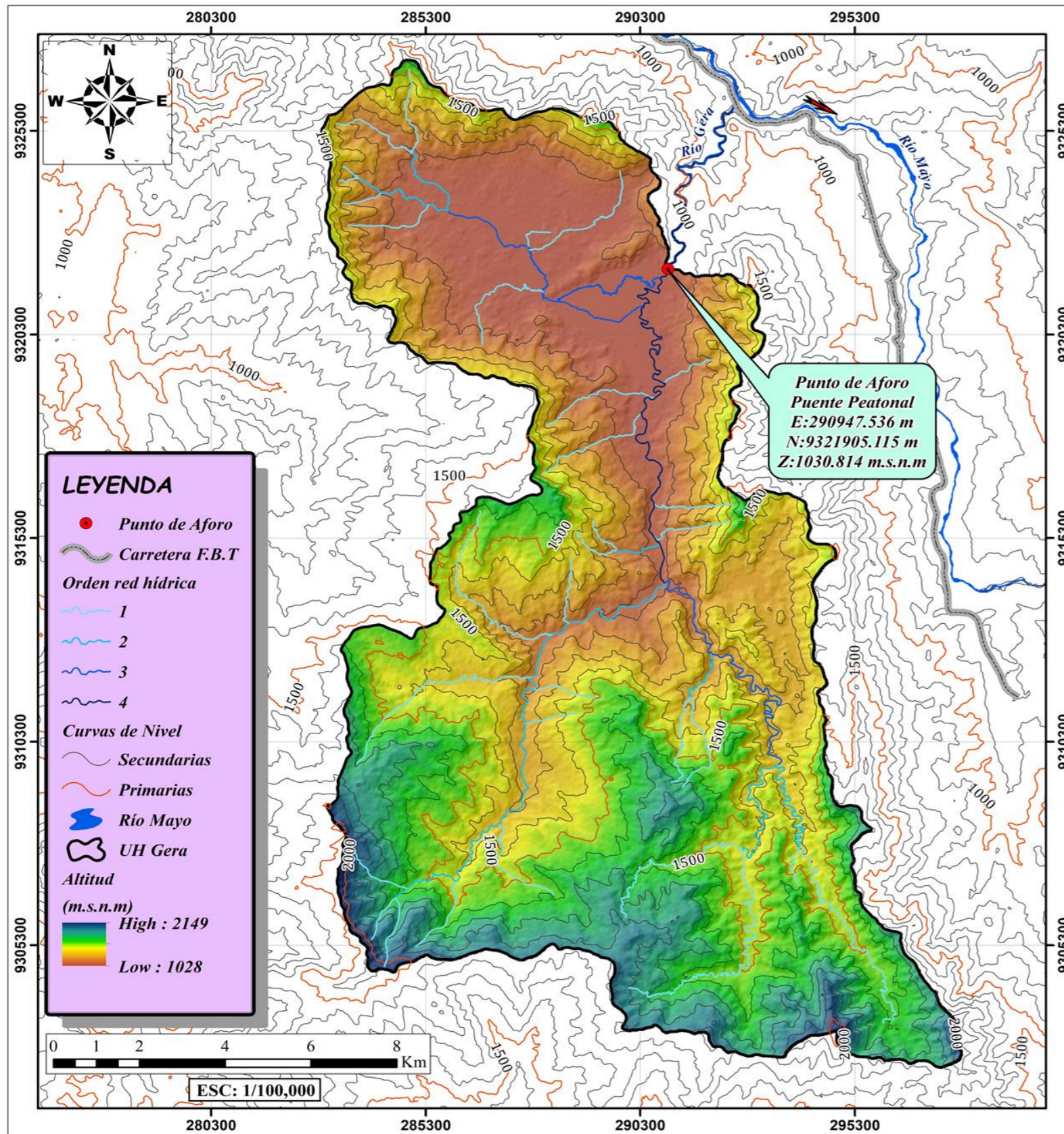
Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Total
1965	158,0	92,5	200,7	208,8	58,0	112,3	109,7	101,2	194,8	157,3	302,4	159,3	1854,8
1966	16,9	79,4	231,2	187,3	239,5	53,7	46,6	34,5	191,7	159,2	87,8	155,8	1483,5
1967	186,9	241,3	230,9	158,8	124,9	64,2	70,3	78,3	240,5	234,4	77,8	255,7	1964,0
1968	114,0	212,2	156,4	204,2	88,7	95,6	95,6	123,7	252,1	233,9	118,6	119,2	1814,2
1969	128,8	136,4	168,7	117,1	76,7	234,0	51,2	133,0	78,8	229,3	253,1	143,8	1750,8
1970	176,5	106,1	292,0	345,6	88,7	166,6	114,6	70,6	148,5	260,7	451,0	141,7	2362,6
1971	261,8	262,6	482,8	124,5	268,8	95,3	91,0	77,0	211,1	209,7	174,4	204,7	2463,7
1972	311,0	120,6	544,7	252,7	107,1	138,4	104,7	155,5	216,6	168,8	128,0	102,2	2350,3
1973	298,0	186,2	220,8	252,5	118,1	157,8	119,8	108,7	124,6	207,2	102,0	120,9	2016,7
1974	250,1	163,2	394,6	267,5	143,1	299,0	70,5	102,0	123,5	144,6	119,0	313,2	2390,2
1975	278,6	133,8	279,9	146,8	196,5	181,3	177,4	158,1	118,1	145,7	174,9	93,1	2084,2
1976	220,5	70,3	276,8	135,4	74,4	164,8	84,3	122,3	108,9	178,3	149,8	165,3	1750,9
1977	143,4	415,7	376,4	341,5	85,0	63,2	58,5	217,5	184,4	277,8	207,1	196,7	2567,1
1978	128,2	85,6	133,8	145,1	89,9	13,4	143,0	80,4	194,2	256,3	149,3	135,8	1554,8
1979	89,0	155,5	376,6	165,1	143,5	38,6	75,4	106,9	93,1	144,7	177,4	45,8	1611,7
1980	341,4	119,4	276,0	136,1	44,8	143,4	30,6	77,0	62,4	81,8	69,0	46,6	1428,4
1981	341,4	321,0	303,3	40,6	90,4	26,7	65,2	70,2	60,7	55,4	120,5	249,7	1745,1
1982	109,8	73,2	201,5	111,9	65,9	138,1	36,1	17,1	28,1	370,3	428,5	406,6	1986,9
1983	370,0	199,5	55,2	52,2	100,7	76,3	63,7	52,6	88,4	143,1	45,2	94,8	1341,8
1984	238,1	260,3	303,5	201,0	110,2	117,9	55,4	84,3	73,5	159,5	257,0	40,0	1900,4
1985	325,8	108,0	43,4	96,4	198,6	198,2	86,1	82,2	197,5	90,3	201,7	141,8	1769,9
1986	165,9	206,0	210,8	124,6	262,5	143,6	91,6	268,3	104,9	7,0	85,8	107,5	1778,7
1987	184,2	103,1	163,7	167,8	135,1	92,5	86,9	98,3	134,5	98,8	376,8	128,2	1769,9
1988	230,6	296,2	138,5	185,4	144,7	84,7	74,7	88,1	86,4	85,4	88,1	267,2	1769,9
1989	246,0	236,4	246,7	206,3	68,2	56,8	14,8	13,2	199,0	217,5	137,1	2,1	1644,1
1990	286,4	121,1	343,2	105,4	10,5	19,5	20,3	37,9	231,6	200,2	154,9	2,3	1533,3
1991	214,6	265,0	254,2	94,7	77,0	60,4	86,1	113,2	48,6	133,6	6,6	38,2	1392,2
1992	31,5	145,1	252,5	22,0	14,5	43,2	45,5	137,1	189,6	221,9	188,7	189,4	1481,1
1993	120,1	228,3	472,8	134,7	108,0	72,8	55,2	61,7	127,5	242,6	136,2	202,9	1962,8
1994	127,4	188,3	200,3	281,6	102,6	87,4	114,2	38,9	153,2	139,7	272,7	213,3	1919,7
1995	73,7	98,1	192,4	91,0	52,2	124,6	42,5	60,7	244,2	125,3	124,8	224,0	1453,4
1996	150,4	163,7	330,7	243,0	76,6	66,9	14,3	82,7	136,7	293,7	87,0	191,2	1837,0
1997	75,8	364,1	147,0	192,8	155,9	29,7	52,1	109,0	184,8	110,7	105,4	139,7	1667,0
1998	152,4	153,7	201,9	279,9	147,9	28,7	29,4	109,0	139,9	232,7	80,4	155,6	1711,4
1999	406,7	302,0	149,6	156,9	241,6	150,7	103,9	132,2	87,3	159,5	262,4	168,9	2321,9

Continuación

2000	209,4	202,9	185,6	206,8	94,0	103,9	102,9	159,8	171,9	69,8	66,2	168,8	1742,1
2001	67,9	192,6	317,8	240,7	180,9	98,3	120,3	66,0	254,1	247,5	225,1	441,1	2452,2
2002	178,7	167,7	171,4	198,7	235,7	26,0	125,7	98,7	63,7	135,1	136,4	99,4	1637,2
2003	156,9	166,3	200,0	76,1	188,7	156,0	34,5	114,1	151,1	237,3	98,6	256,3	1836,0
2004	31,3	115,4	176,2	221,8	142,3	76,4	135,7	56,0	114,0	206,0	151,3	161,1	1587,6
2005	80,7	198,7	171,1	147,4	144,6	50,1	65,2	46,6	43,6	208,0	298,6	187,2	1642,0
2006	181,3	164,9	221,1	119,3	60,6	77,4	70,6	83,2	162,3	156,7	99,8	175,8	1572,9
2007	152,8	27,5	270,6	165,0	110,6	17,6	82,3	82,8	207,7	279,7	247,1	141,0	1784,8
2008	134,1	264,4	308,5	178,2	102,0	157,6	58,6	65,0	174,5	111,2	159,7	157,1	1870,9
2009	202,5	156,2	203,3	214,6	137,4	223,6	102,6	106,7	125,9	132,8	116,4	63,8	1785,9
2010	64,3	211,0	91,2	149,3	125,5	44,4	121,6	31,3	94,6	239,9	170,1	106,4	1449,5
2011	110,7	105,0	456,1	103,4	113,3	66,2	84,1	70,1	119,2	190,0	159,4	219,2	1796,6
2012	201,7	210,9	303,3	214,9	134,7	98,3	33,3	29,0	209,8	245,6	109,5	195,4	1986,5
2013	152,6	83,2	479,9	92,1	145,5	59,8	66,4	125,3	131,0	129,5	188,7	98,3	1752,3
2014	180,9	197,7	312,4	219,7	70,8	97,5	67,7	83,2	94,8	276,0	392,8	313,1	2306,8
2015	235,9	243,3	280,1	238,5	199,1	68,4	85,4	56,9	133,1	210,2	226,1	265,0	2242,0
2016	72,7	230,4	196,0	160,2	116,8	58,5	19,8	35,0	158,2	195,1	63,6	180,6	1486,9
2017	214,1	293,9	227,7	86,3	195,9	172,2	25,8	130,5	165,4	109,9	91,9	106,1	1819,8
2018	251,6	138,8	213,1	129,3	159,9	32,0	50,8	93,1	145,2	147,4	145,1	178,0	1684,5
2019	279,6	299,3	256,2	212,4	214,0	114,0	180,4	112,9	190,3	242,9	49,8	193,8	2345,4
2020	227,5	262,9	105,1	176,1	143,5	96,5	87,9	41,9	146,0	120,2	215,0	167,6	1790,5
Máx	406,7	415,7	544,7	345,6	268,8	299,0	180,4	268,3	254,1	370,3	451,0	441,1	
Media	184,7	184,8	250,0	170,1	127,3	98,8	76,8	90,9	144,9	179,8	166,3	165,0	1839,4
Mín	16,9	27,5	43,4	22,0	10,5	13,4	14,3	13,2	28,1	7,0	6,6	2,1	
Std	89,7	80,4	106,6	69,2	59,6	60,3	37,9	46,5	56,9	69,2	95,7	85,8	

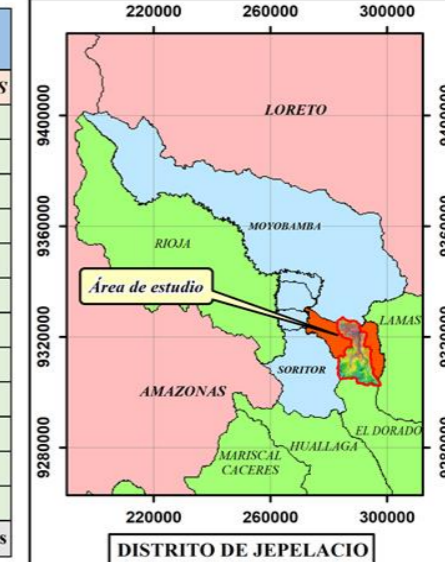
Apéndice 20

Mapa topográfico de la subcuenca media y alta del río Gera.



CUADRO DE INFORMACIÓN DE LA SUBCUENCA - RÍO GERA		
DESCRIPCIÓN	DATOS	UNIDADES
ÁREA	204.065	km ²
PERÍMETRO	86.9704	km
LONG. DE LA SUBCUENCA	38.134	km
LONG. DEL CAUCE PRINCIPAL	28.325	km
COTA MÁXIMA	2149.00	m.s.n.m
COTA MINIMA	1028.00	m.s.n.m
DESNIVEL	1121.00	m
PEND. PROM. - SUBCUENCA	31.201	%
PENDIENTE DEL CAUCE P.	5.415	%
PUNTO DE AFORO*		
Coordenadas UTM	N:9321905.115	m
	E:290947.536	m

*Referencia Puente Peatonal a Aguas Termosulfurosas

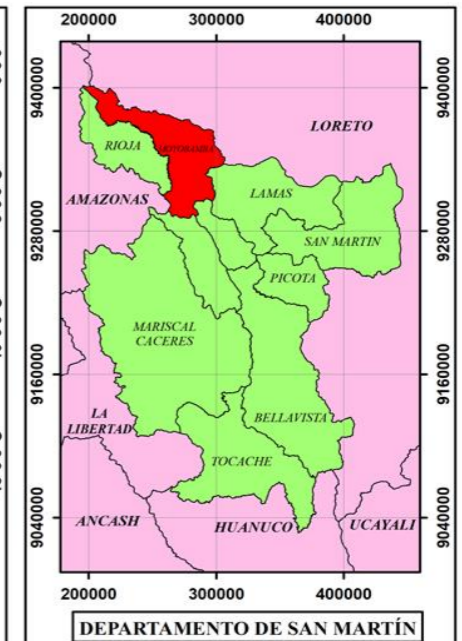
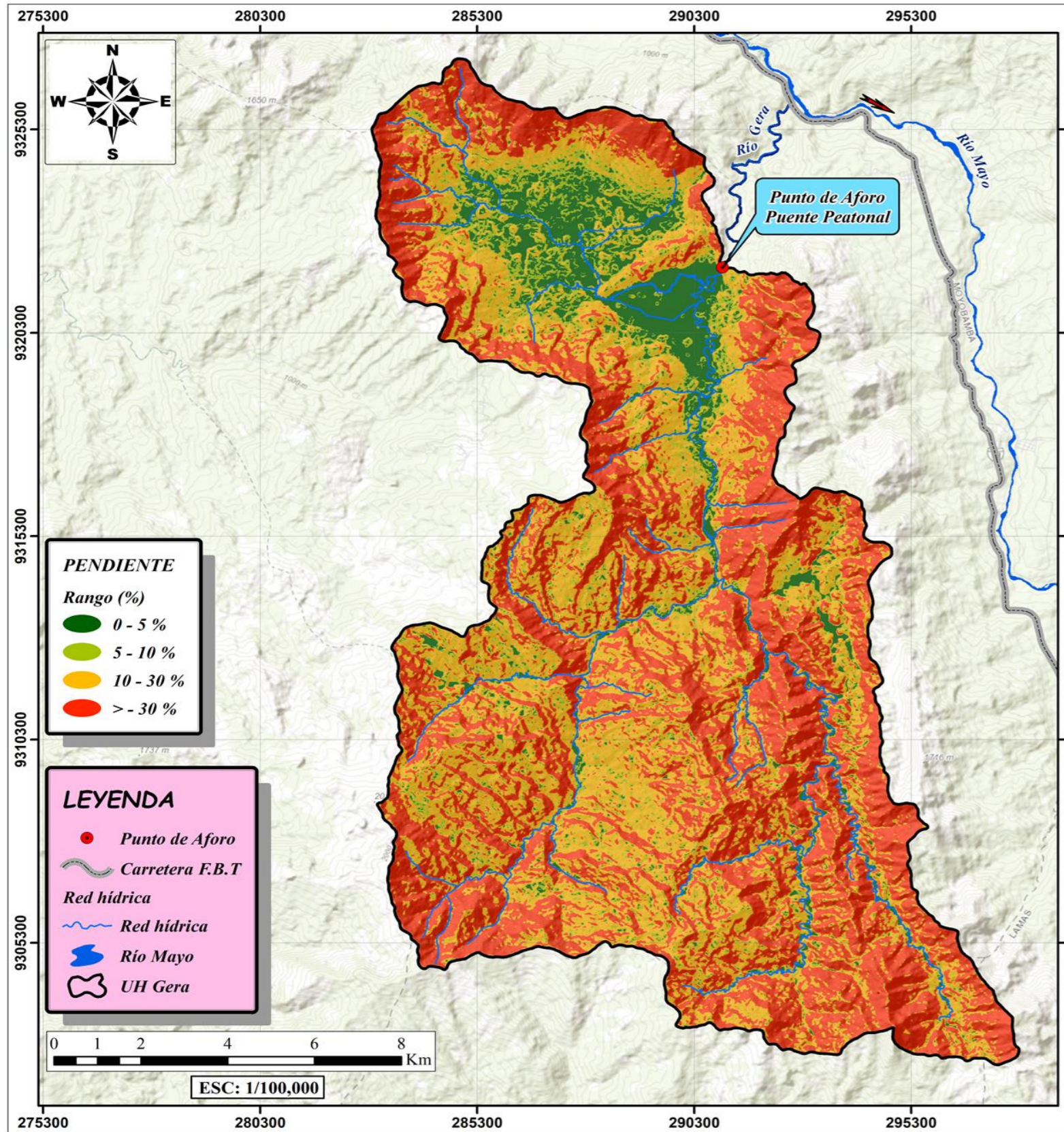


UNIVERSIDAD CATÓLICA SEDES SAPIENTIAE FACULTAD DE INGENIERÍA AGRARIA Programa de Estudio de Ingeniería Ambiental		
TESIS: "Aplicación del modelo determinístico – estocástico Lutz Scholz para determinar la disponibilidad hídrica de la subcuenca del río Gera, San Martín"		
MAPA: TOPOGRAFÍA Y DELIMITACIÓN DE LA SUBCUENCA DEL RÍO GERA		
AUTORES: Bach. Lili Jannet Gonzales Tarrillo Bach. Luz Nelia Campos Pérez		DEPARTAMENTO : SAN MARTÍN PROVINCIA : MOYOBAMBA DISTRITO : JEPELACIO
FUENTE: IGN-GORESAM	DATUM: WGS84	ZONA: 18 - SUR FECHA: JUL-2023 ESCALA: INDICADA
		LÁMINA 02 Nº 02 de 07

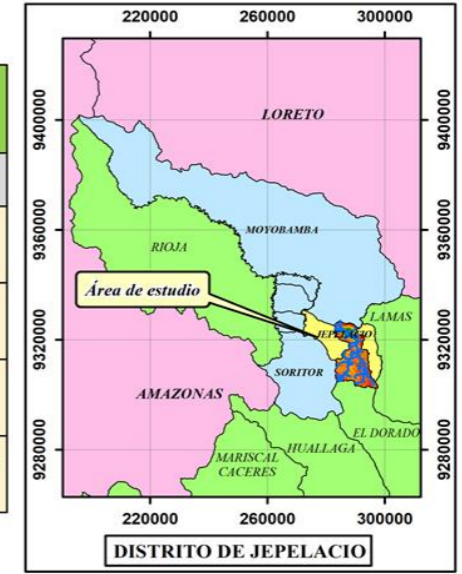
Nota. Elaboración propia a partir de la cartografía digital obtenida del Instituto Geográfico Nacional y el Gobierno Regional San Martín, solicitado con fines de investigación para la subcuenca del río Gera.

Apéndice 21

Mapa de pendientes de la subcuenca del río Gera.



CLASIFICACIÓN DE PENDIENTES SUBCUENCA GERA	
RANGOS (%)	DESCRIPCIÓN
0 - 5	Plano o casi a nivel a Ligeramente inclinada
5 - 10	Ligeramente inclinada a Moderadamente inclinada
10 - 30	Fuertemente inclinada a Moderadamente empinada
> - 30	Empinada a Extremadamente empinada



UCSS UNIVERSIDAD CATÓLICA SEDES SAPIENTIAE
 FACULTAD DE INGENIERÍA AGRARIA
 Programa de Estudio de Ingeniería Ambiental

TESIS: "Aplicación del modelo determinístico – estocástico Lutz Scholz para determinar la disponibilidad hídrica de la subcuenca del río Gera, San Martín"

MAPA: *PENDIENTE DE LA SUBCUENCA DEL RÍO GERA*

AUTORES: Bach. Lili Jannet GonzalesTarrillo
 Bach. Luz Nelia Campos Pérez

DEPARTAMENTO : SAN MARTÍN
 PROVINCIA : MOYOBAMBA
 DISTRITO : JEPELACIO

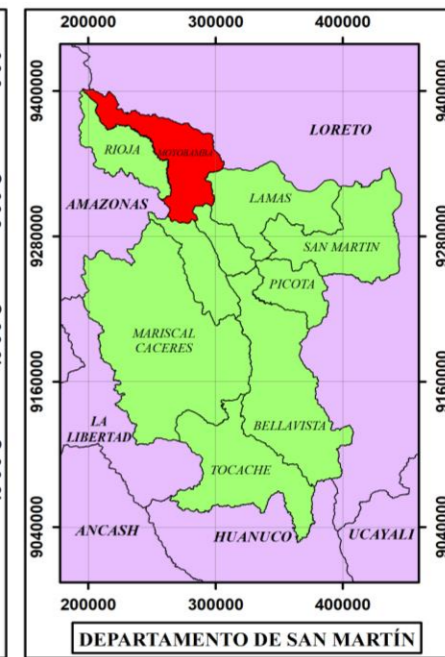
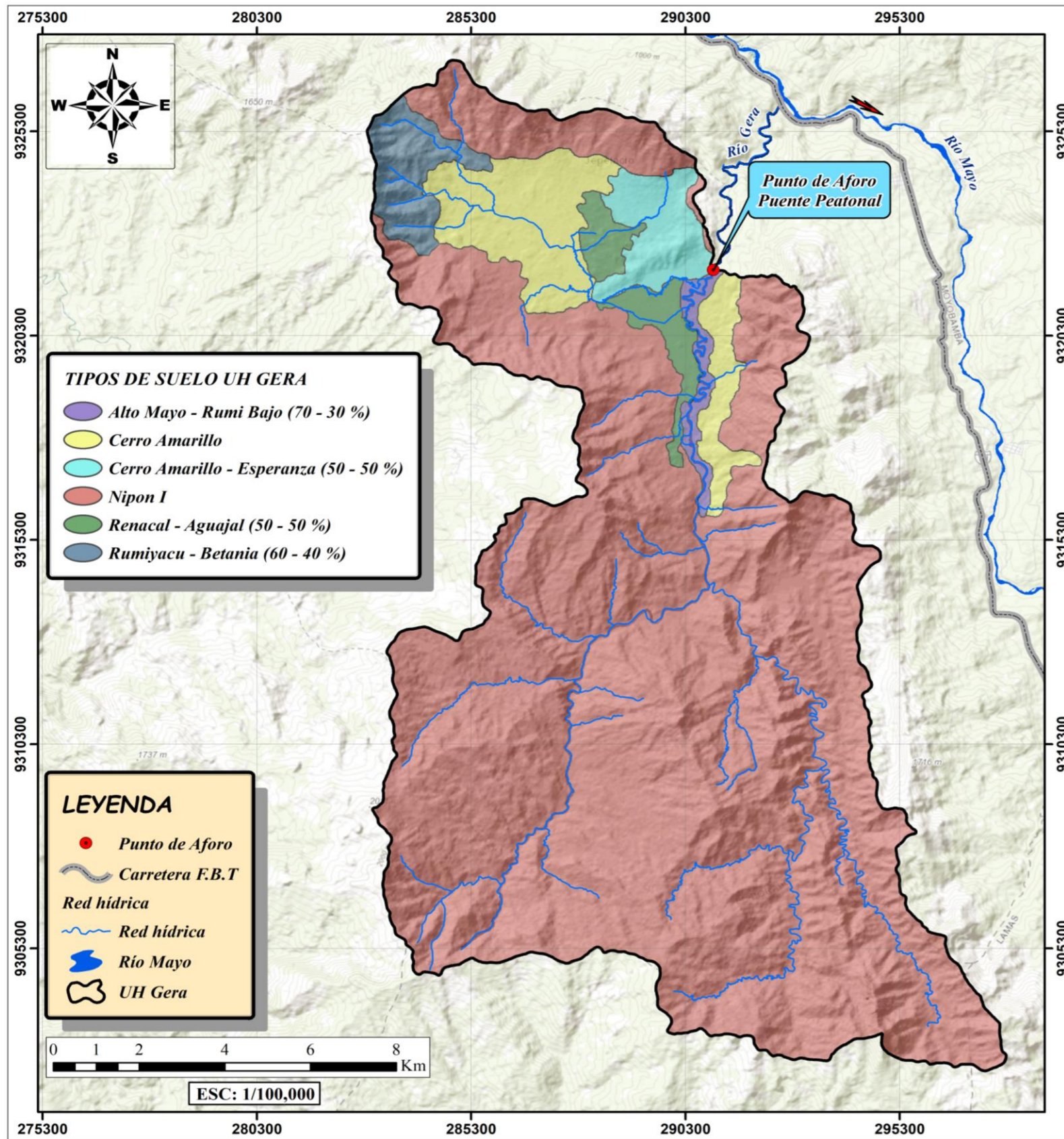
LÁMINA **03**
 N° 03 de 07

FUENTE: ALOS W3D-IGN DATUM: WGS84 ZONA: 18 - SUR FECHA: JUL-2023 ESCALA: INDICADA

Nota. Elaboración propia a partir de la cartografía digital obtenida del Instituto Geográfico Nacional y el Gobierno Regional San Martín, solicitado con fines de investigación para la subcuenca del río Gera.

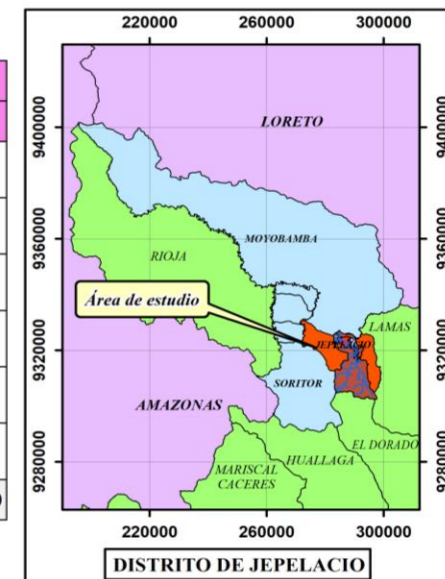
Apéndice 22

Mapa de tipos de suelo.



TIPOS DE SUELO DE LA SUBCUENCA GERA

DESCRIPCIÓN	ÁREA (km ²)	%
Alto Mayo - Rumi Bajo (70-30 %)	2.19	1.07
Cerro Amarillo	14.54	7.13
Cerro Amarillo - Esperanza (50-50 %)	5.50	2.70
Nipon I	171.85	84.21
Renacal - Aguajal (50-50 %)	4.74	2.32
Rumiyacu - Betania (60-40 %)	5.24	2.57
TOTAL	204.07	100.00



UCSS UNIVERSIDAD CATÓLICA SEDES SAPIENTIAE
 FACULTAD DE INGENIERÍA AGRARIA
 Programa de Estudio de Ingeniería Ambiental

TESIS: "Aplicación del modelo determinístico – estocástico Lutz Scholz para determinar la disponibilidad hídrica de la subcuenca del río Gera, San Martín"

MAPA: TIPOS DE SUELOS DE LA SUBCUENCA DEL RÍO GERA

AUTORES:
 Bach. Lili Jannet Gonzales Tarrillo
 Bach. Luz Nelía Campos Pérez

DEPARTAMENTO : SAN MARTÍN
 PROVINCIA : MOYOBAMBA
 DISTRITO : JEPELACIO

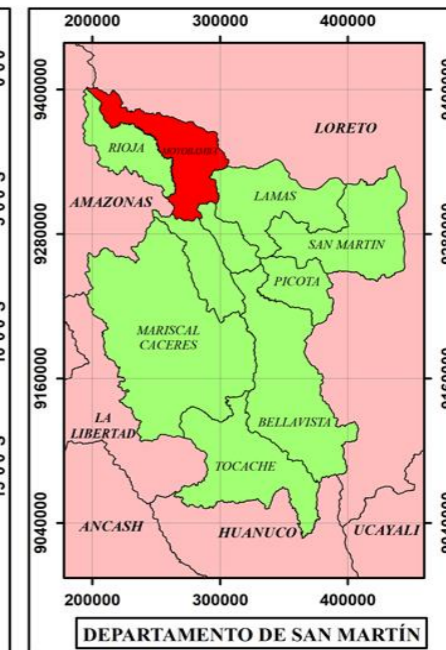
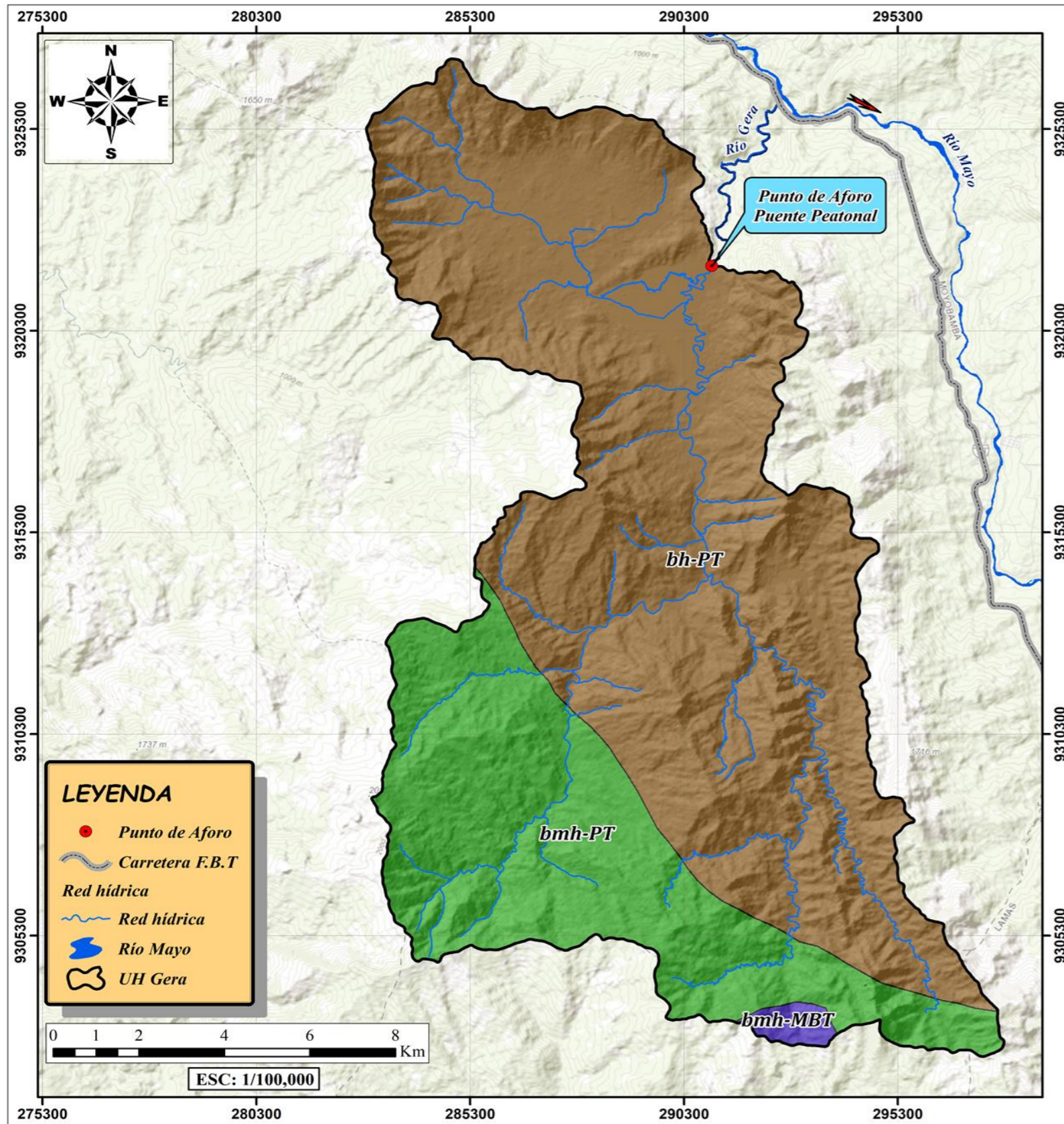
LÁMINA
04
 Nº 04 de 07

FUENTE: IGN-GORESAM DATUM: WGS84 ZONA: 18 - SUR FECHA: JUL-2023 ESCALA: INDICADA

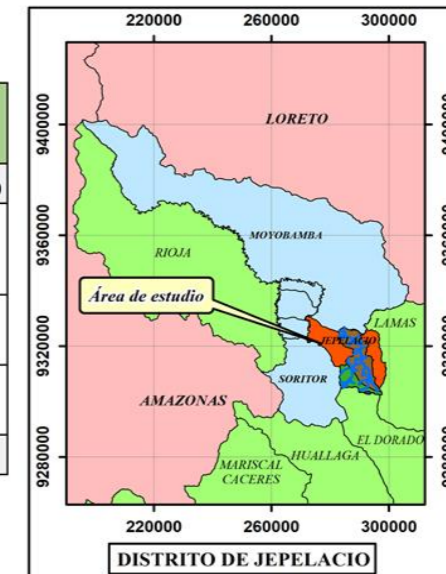
Nota. Elaboración propia a partir de la cartografía digital obtenida del Instituto Geográfico Nacional y el Gobierno Regional San Martín, solicitado con fines de investigación para la subcuenca del río Gera.

Apéndice 23

Mapa de zonas de vida.



ZONAS DE VIDA DE LA SUBCUENCA GERA		
Código	Descripción	Área (km ²)
bh-PT	bosque humedo Premontano Tropical (transicional a bosque)	144.315
bmh-MBT	bosque muy humedo Montano Bajo Tropical	1.743
bmh-PT	bosque muy humedo Premontano Tropical	58.008
Total		204.065

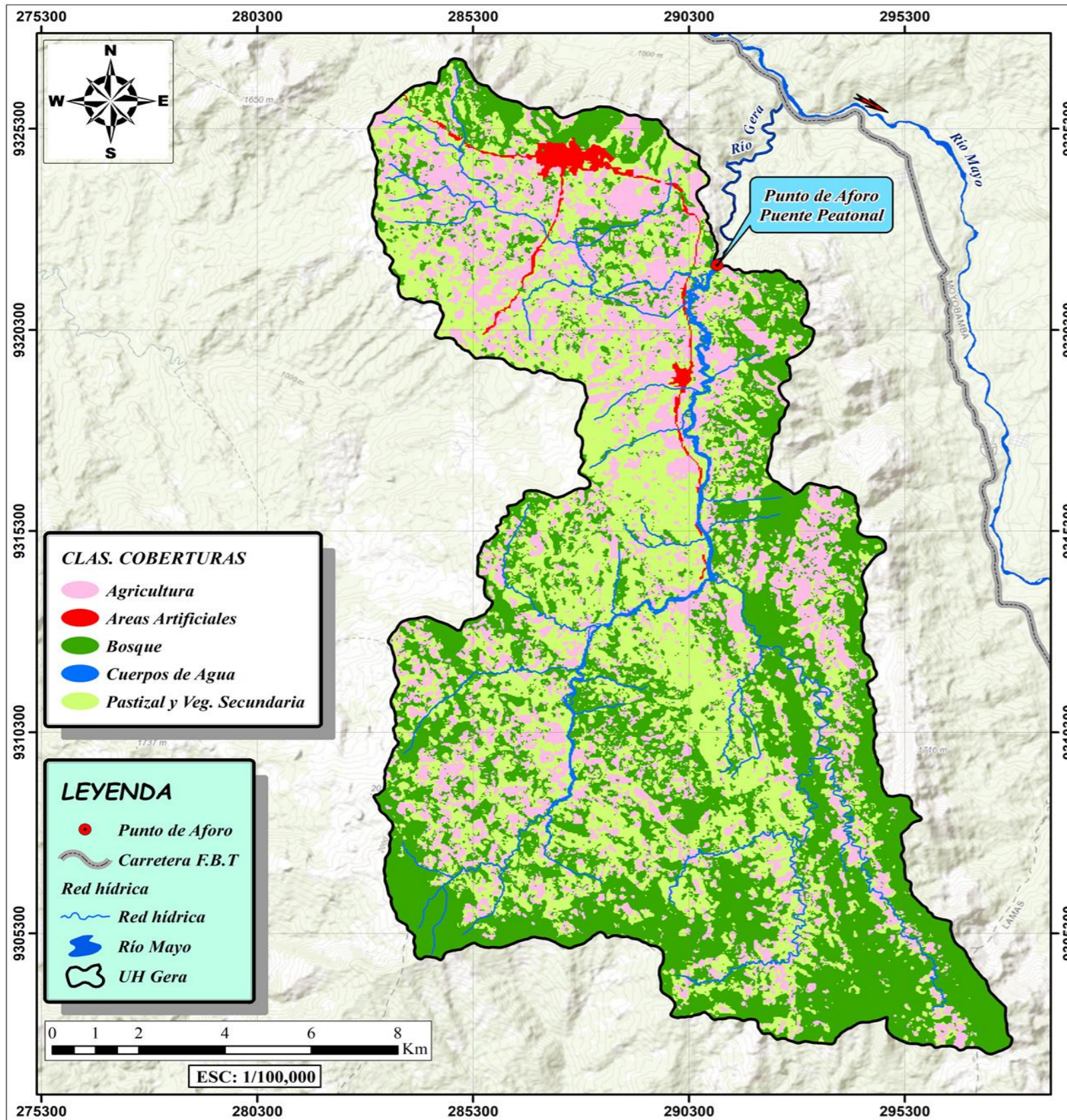


	UNIVERSIDAD CATÓLICA SEDES SAPIENTIAE FACULTAD DE INGENIERÍA AGRARIA Programa de Estudio de Ingeniería Ambiental	
	TESIS: "Aplicación del modelo determinístico – estocástico Lutz Scholz para determinar la disponibilidad hídrica de la subcuenca del río Gera, San Martín"	
MAPA: ZONAS DE VIDA DE LA SUBCUENCA DEL RÍO GERA		
AUTORES: Bach. Lili Jannet GonzalesTarrillo Bach. Luz Nelia Campos Pérez	DEPARTAMENTO : SAN MARTÍN PROVINCIA : MOYOBAMBA DISTRITO : JEPELACIO	LÁMINA 05 Nº 05 de 07
FUENTE: ONERN-IGN	DATUM: WGS84	ZONA: 18 - SUR FECHA: JUL-2023 ESCALA: INDICADA

Nota. Elaboración propia a partir de la cartografía digital obtenida del Instituto Geográfico Nacional y el Gobierno Regional San Martín, solicitado con fines de investigación para la subcuenca del río Gera.

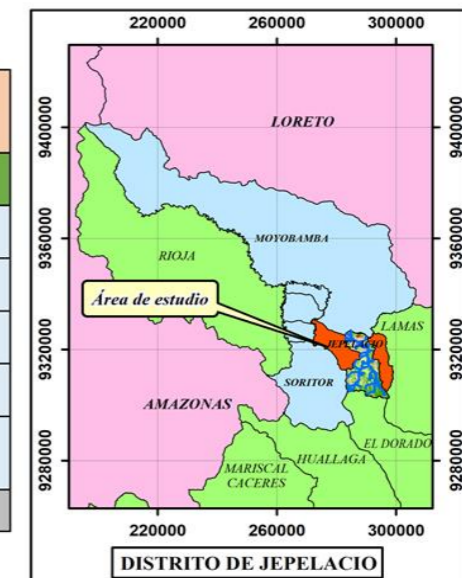
Apéndice 24

Mapa de cobertura boscosa.



CLASIFICACIÓN DE COBERTURAS SUBCUENCA GERA

DESCRIPCIÓN	ÁREA (km ²)	%
Agricultura	48.206	23.62
Areas Artificiales	2.177	1.07
Bosque	80.516	39.46
Cuerpos de Agua	1.772	0.87
Pastizal y Veg. Secundaria	71.395	34.99
Total	204.065	100.00



UCSS UNIVERSIDAD CATÓLICA SEDES SAPIENTIAE
 FACULTAD DE INGENIERÍA AGRARIA
 Programa de Estudio de Ingeniería Ambiental

TESIS: "Aplicación del modelo determinístico – estocástico Lutz Scholz para determinar la disponibilidad hídrica de la subcuenca del río Gera, San Martín"

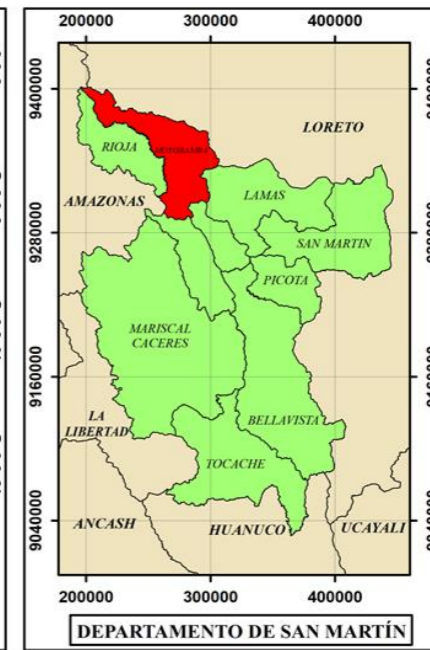
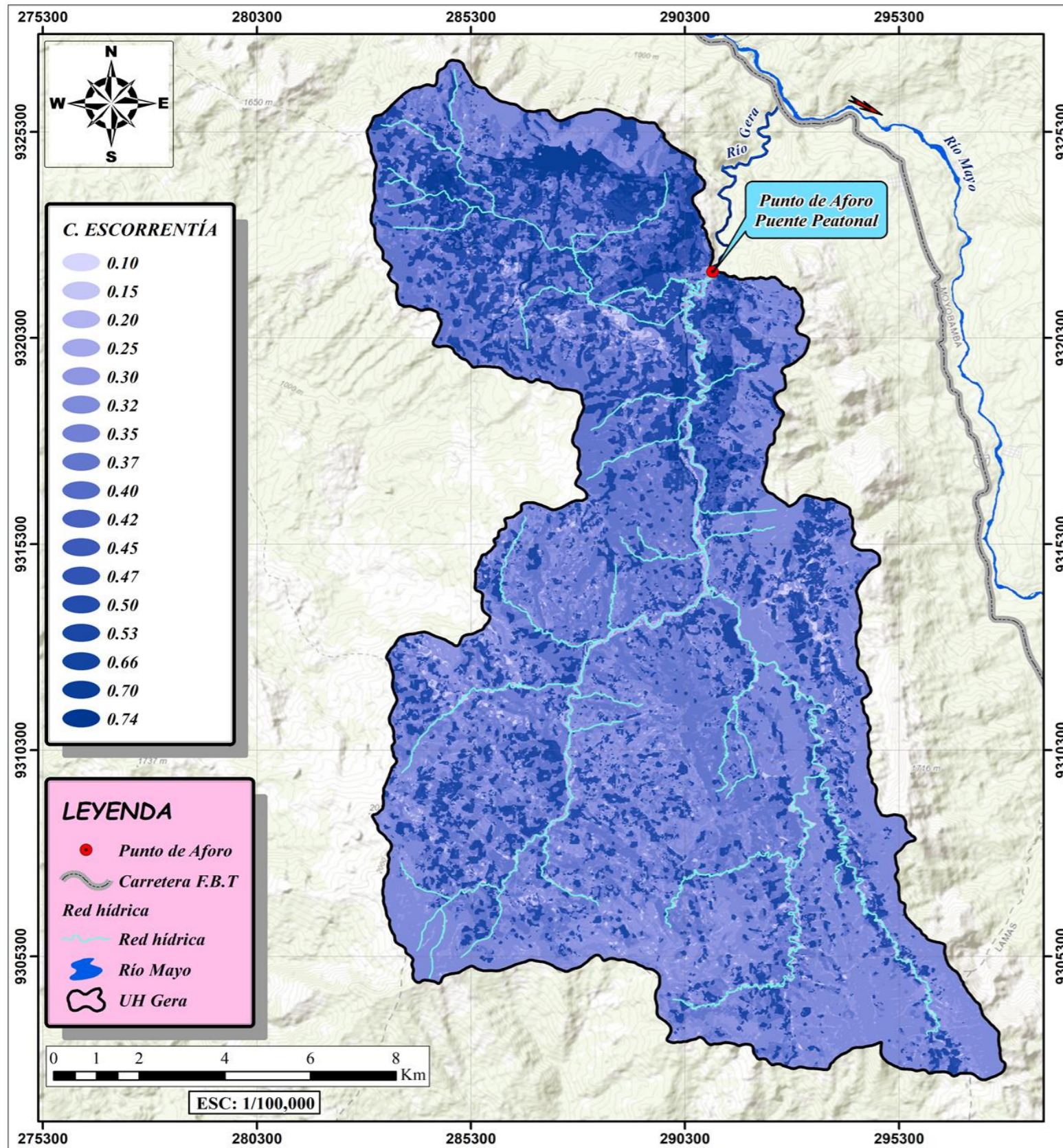
MAPA: CLASIFICACIÓN DE COBERTURAS DE LA SUBCUENCA DEL RÍO GERA

AUTORES: Bach. Lili Jannet GonzalesTarrillo Bach. Luz Nelia Campos Pérez	DEPARTAMENTO : SAN MARTÍN PROVINCIA : MOYOBAMBA DISTRITO : JEPELACIO	LÁMINA 06 N° 06 de 07
FUENTE: IGN-GORESAM	DATUM: WGS84	ZONA: 18 - SUR
FECHA: JUL-2023	ESCALA: INDICADA	

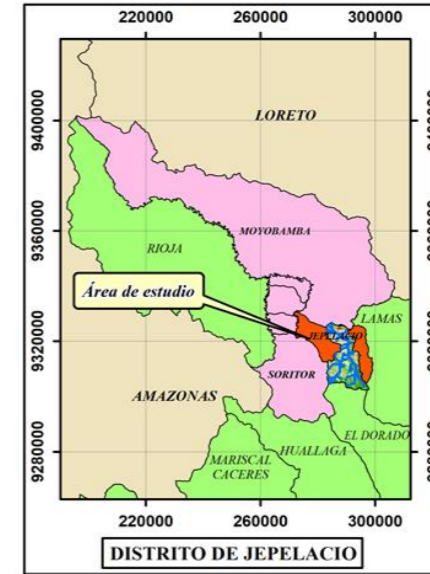
Nota. Elaboración propia a partir de la cartografía digital obtenida del Instituto Geográfico Nacional y el Gobierno Regional San Martín, solicitado con fines de investigación para la subcuenca del río Gera.

Apéndice 25

Mapa de escorrentía.



VALORES DE COEFICIENTES DE ESCORRENTÍA SUBCUENCA GERA		
C mín	C máx	Área (km ²)
0.00	0.10	1.603
0.10	0.15	1.862
0.15	0.20	1.772
0.20	0.25	2.559
0.25	0.30	33.408
0.30	0.32	44.782
0.32	0.35	31.548
0.35	0.37	30.938
0.37	0.40	5.768
0.40	0.42	0.475
0.42	0.45	2.533
0.45	0.47	0.506
0.47	0.50	21.765
0.50	0.53	16.148
0.53	0.66	2.806
0.66	0.70	5.143
0.70	0.74	0.450
Total		204.065



UNIVERSIDAD CATÓLICA SEDES SAPIENTIAE
FACULTAD DE INGENIERÍA AGRARIA
 Programa de Estudio de Ingeniería Ambiental

TESIS: "Aplicación del modelo determinístico – estocástico Lutz Scholz para determinar la disponibilidad hídrica de la subcuenca del río Gera, San Martín"

MAPA: *COEFICIENTES DE ESCORRENTÍA DE LA SUBCUENCA DEL RÍO GERA*

AUTORES: Bach. Lili Jannet GonzalesTarrillo Bach. Luz Nelia Campos Pérez	DEPARTAMENTO : SAN MARTÍN PROVINCIA : MOYOBAMBA DISTRITO : JEPELACIO	LÁMINA 07 Nº 07 de 07
---	---	---

FUENTE: IGN-GORESAM	DATUM: WGS84	ZONA: 18 - SUR	FECHA: JUL-2023	ESCALA: INDICADA	
----------------------------	---------------------	-----------------------	------------------------	-------------------------	--

Nota. Elaboración propia a partir de la cartografía digital obtenida del Instituto Geográfico Nacional y el Gobierno Regional San Martín, solicitado con fines de investigación para la subcuenca del río Gera.