

UNIVERSIDAD DE HUANUCO
FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERIA CIVIL



TESIS

**“Análisis comparativo de los modelos lluvia escorrentía de
gr2m y temez en el rio Huallaga –Huánuco- 2023”**

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERA CIVIL

AUTORA: Pimentel Herrada, Sharol Mishel

ASESOR: Valdivieso Echevarria, Martin Cesar

HUÁNUCO – PERÚ

2023



U

TIPO DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN:

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

LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN: Hidráulica

AÑO DE LA LÍNEA DE INVESTIGACIÓN (2020)

CAMPO DE CONOCIMIENTO OCDE:

Área: Ingeniería, Tecnología

Sub área: Ingeniería civil

Disciplina: Ingeniería civil

DATOS DEL PROGRAMA:

Nombre del Grado/Título a recibir: Título Profesional de Ingeniera Civil

Código del Programa: P07

Tipo de Financiamiento:

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

DATOS DEL AUTOR:

Documento Nacional de Identidad (DNI): 71314560

DATOS DEL ASESOR:

Documento Nacional de Identidad (DNI): 22416570

Grado/Título: Maestro en gestión pública

Código ORCID: 0000-0002-0579-5135

DATOS DE LOS JURADOS:

N°	APELLIDOS Y NOMBRES	GRADO	DNI	Código ORCID
1	Jacha Rojas, Johnny Prudencio	Maestro en ingeniería de sistemas e informática con mención en: gerencia de sistemas y tecnologías de información	40895876	0000-0001-7920-1304
2	Trujillo Ariza, Yelen Lisseth	Maestro en medio ambiente y desarrollo sostenible, mención en gestión ambiental	70502371	0000-0002-5650-3745
3	Lopez Cabello, Javier Eduardo	Maestro en ciencias en ingeniería civil con mención en hidráulica	71688890	0009-0001-8774-3477

D

H



UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO
Facultad de Ingeniería

PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA CIVIL

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO

(A) CIVIL

En la ciudad de Huánuco, siendo las 17:30 horas del día viernes 27 de octubre de 2023, en cumplimiento de lo señalado en el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad de Huánuco, se reunieron los Jurados Calificadores integrado por los docentes:


- | | |
|------------------------------------|------------|
| ❖ MG. JOHNNY PRUDENCIO JACHA ROJAS | PRESIDENTE |
| ❖ MG. YELEN LISSETH TRUJILLO ARIZA | SECRETARIA |
| ❖ MG. JAVIER EDUARDO LOPEZ CABELLO | VOCAL |

Nombrados mediante la RESOLUCIÓN N° 2518-2023-D-FHUDH, para evaluar la Tesis intitulada: "intitulada: **"ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS MODELOS LLUVIA ESCORRENTIA DE GR2M Y TEMEZ EN EL RIO HUALLAGA- HUÁNUCO-2023"**, presentado por el (la) Bachiller. **Sharol Mishel PIMENTEL HERRADA**, para optar el Título Profesional de Ingeniero(a) Civil.

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

Habiendo absuelto las objeciones que le fueron formuladas por los miembros del Jurado y de conformidad con las respectivas disposiciones reglamentarias, procedieron a deliberar y calificar, declarándolo(a) *Aprobado* por *Unanimidad* con el calificativo cuantitativo de *13...* y cualitativo de *Suficiente (Art. 47)*.

Siendo las *18:20* horas del día 27 del mes de octubre del año 2023, los miembros del Jurado Calificador firman la presente Acta en señal de conformidad.


MG. JOHNNY PRUDENCIO JACHA ROJAS

Presidente


MG. YELEN LISSETH TRUJILLO ARIZA

Secretaria


MG. JAVIER EDUARDO LOPEZ CABELLO

Vocal

DIRECTIVA N° 006- 2020- VRI-UDH PARA EL USO DEL SOFTWARE TURNITIN DE LA UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO

Resolución N° 018-2020-VRI-UDH 03JUL20 y modificatoria R. N° 046-2020-VRI-UDH, 19OCT20



UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO

CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD

Yo, **M.Sc. Ing. MARTIN CESAR VALDIVIESO ECHEVARRIA**, asesor del PA Ingeniería Civil y designado mediante documento **RESOLUCION N°1865-2022-D-FI- UDH** del estudiante **Bach. Sharol Mishel PIMENTEL HERRADA**, de la investigación titulada **“ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS MODELOS LLUVIA ESCORRENTÍA DE GR2M Y TEMEZ EN EL RIO HUALLAGA –HUÁNUCO- 2023”**.

Puedo constar que la misma tiene un índice de similitud del **23%** verificable en el reporte final del análisis de originalidad mediante el Software Turnitin.

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

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

Huánuco, 11 de enero del 2024


.....
Ing. Martín C. Valdivieso Echevarría
INGENIERO CIVIL
Reg. del Colegio de Ingenieros N° 40444

M.Sc. Ing. Martin Cesar Valdivieso Echevarria

DNI N° 22416570

CODIGO ORCID N° 0000-0002-0579-5135

TESIS

INFORME DE ORIGINALIDAD

23%

INDICE DE SIMILITUD

22%

FUENTES DE INTERNET

6%

PUBLICACIONES

10%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1

repositorioacademico.upc.edu.pe

Fuente de Internet

8%

2

repositorio.udh.edu.pe

Fuente de Internet

5%

3

hdl.handle.net

Fuente de Internet

2%

4

Submitted to Universidad Nacional Hermilio Valdizan

Trabajo del estudiante

2%

5

Submitted to Universidad San Ignacio de Loyola

Trabajo del estudiante

1%

6

fddocuments.es

Fuente de Internet

1%

7

pirhua.udep.edu.pe

Fuente de Internet

<1%

8

repositorio.unap.edu.pe

Fuente de Internet

<1%


Ing. Martin C. Valdivieso Echevarria,
INGENIERO-CIVIL
Reg. del Colegio de Ingenieros N° 40444

M.Sc. Ing. Martin Cesar Valdivieso Echevarria
DNI N° 22416570
Código ORCID N° 0000-0002-0579-5135

DEDICATORIA

Queridos padres,

Esta tesis es para ustedes. Gracias por apoyarme en todo momento, por enseñarme a ser valiente, perseverante y a nunca darme por vencido. Ustedes han sido la luz que me ha guiado en los momentos más oscuros y han sido mi roca en los momentos más difíciles. Esta tesis es la culminación de años de trabajo arduo, pero también es el resultado de su amor y dedicación hacia mí. Espero que este logro les llene de orgullo y satisfacción, y que esta dedicatoria les recuerde siempre lo agradecido/a que estoy por su amor, apoyo y sacrificio.

AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a todas las personas que han hecho posible la realización de esta tesis universitaria.

En primer lugar, agradezco a mi asesor de tesis, por su orientación y guía durante todo el proceso. Gracias por su paciencia, su experiencia y su compromiso con mi proyecto de investigación. Sus comentarios, críticas constructivas y sugerencias han sido invaluable para el éxito de esta tesis.

También quiero agradecer a mi familia y amigos, quienes siempre han estado a mi lado, brindándome su amor y apoyo incondicional. Gracias por sus palabras de aliento, por escucharme y motivarme en los momentos de duda y desánimo. Sin su ayuda, este logro no habría sido posible.

ÍNDICE

DEDICATORIA	II
AGRADECIMIENTO	III
ÍNDICE.....	IV
ÍNDICE DE TABLAS	VII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	VIII
RESUMEN	X
ABSTRACT.....	XI
INTRODUCCIÓN.....	XII
CAPÍTULO I.....	14
PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	14
1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.....	14
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	15
1.2.1. PROBLEMA GENERAL	15
1.2.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS.....	15
1.3. OBJETIVOS.....	15
1.3.1. OBJETIVO GENERAL	15
1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	15
1.4. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	16
1.4.1. JUSTIFICACIÓN PRÁCTICA	16
1.4.2. JUSTIFICACIÓN TEÓRICA	16
1.4.3. JUSTIFICACIÓN METODOLÓGICA.....	16
1.5. LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN	17
1.6. VIABILIDAD DE LA INVESTIGACIÓN.....	17
1.6.1. VIABILIDAD OPERATIVA	17
1.6.2. VIABILIDAD TÉCNICA.....	17
1.6.3. VIABILIDAD ECONÓMICA-SOCIAL	18
CAPÍTULO II.....	19
MARCO TEÓRICO	19
2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN	19
2.1.1. ANTECEDENTES INTERNACIONALES	19
2.1.2. ANTECEDENTES NACIONALES	21
2.1.3. ANTECEDENTES LOCALES.....	22

2.2.	BASES TEÓRICAS	23
2.2.1.	CICLO HIDROLÓGICO.....	23
2.2.2.	FLUJO DE AGUA.....	24
2.2.3.	FACTORES QUE AFECTA EL PROCESO DE ESCORRENTÍA	29
2.2.4.	LLUVIAS EN CUENCAS DEL PERÚ	32
2.2.5.	MODELACIÓN HIDROLÓGICA	33
2.3.	DEFINICIONES CONCEPTUALES.....	51
2.4.	HIPÓTESIS.....	52
2.4.1.	HIPÓTESIS GENERAL.....	52
2.5.	VARIABLES.....	52
2.5.1.	VARIABLE DEPENDIENTE	52
2.5.2.	VARIABLE INDEPENDIENTE.....	53
2.6.	OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES.....	53
CAPÍTULO III.....		54
METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....		54
3.1.	TIPO DE INVESTIGACIÓN	54
3.1.1.	ENFOQUE	54
3.1.2.	ALCANCE O NIVEL	54
3.1.3.	DISEÑO	54
3.2.	POBLACIÓN Y MUESTRA	55
3.2.1.	POBLACIÓN	55
3.2.2.	MUESTRA.....	55
3.3.	TÉCNICAS E INSTRUMENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS... 56	
3.3.1.	PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS.....	56
3.3.2.	PARA LA PRESENTACIÓN DE DATOS.....	56
3.3.3.	TÉCNICAS PARA EL PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS	57
CAPÍTULO IV.....		58
RESULTADOS.....		58
4.1.	PROCESAMIENTO DE DATOS	58
4.2.	CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS.....	85
CAPÍTULO V.....		86
DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....		86

CONCLUSIONES	88
RECOMENDACIONES.....	89
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	90
ANEXOS	93

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Sistema de variables-dimensiones e indicadores.....	53
Tabla 2 Estaciones cercanas a la zona de interés.....	59
Tabla 3 Estacion Hidro.....	59
Tabla 4 Datos morfométricos.....	61
Tabla 5 Relación de Altitudes	61
Tabla 6 Precipitaciones Mensuales por cada año.....	62
Tabla 7 Datos para determinar las distribuciones	65
Tabla 8 Prueba de KS para la DN.....	69
Tabla 9 Prueba de KS para la DLN.....	69
Tabla 10 Prueba de KS para la distribución de LP	70
Tabla 11 Comparación de los deltas teóricos	71
Tabla 12 Intensidades y los tiempos de cada uno	71
Tabla 13 Coeficientes de escorrentía	74
Tabla 14 Datos necesarios para desarrollar los métodos correspondientes	74
Tabla 15 Parámetros iniciales para el modelo GR2M.....	76
Tabla 16 Estimación de caudales por el método GR2M	77
Tabla 17 Valores de confiabilidad del modelo GR2M	80
Tabla 18 Parámetros del modelo de Témez	81
Tabla 19 Listado de valores para el H _{máx} para diversos usos de suelo	82
Tabla 20 Valores de calibración para el modelo de Témez	82
Tabla 21 Estimación de los caudales simulados por el método de Témez..	82
Tabla 22 Valores de confiabilidad modelo Témez	85
Tabla 23 Valores de confiabilidad modelo Témez	85
Tabla 24 Matriz de Consistencia	94
Tabla 25 Datos de precipitación.....	97
Tabla 26 Datos de precipitación.....	100
Tabla 27 Ficha de prueba de Kolmogorov-Smirnov	103
Tabla 28 Ficha de datos Modelo GR2M y Témez	104
Tabla 29 Valores de simulación modelo GR2M	104
Tabla 30 Valores de simulación modelo Témez.....	106

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Ciclo Hidrológico y su proceso	24
Figura 2 Hidrograma aislado	28
Figura 3 Características principales de las cuencas en alto andinas	31
Figura 4 Relación de la precipitación y altitud en cuencas alto andinas	32
Figura 5 Ciclo de la precipitación	32
Figura 6 Esquema que representa el sistema hidrológico general	35
Figura 7 Modelos Hidrológicos y su clasificación	36
Figura 8 Tres tipos de Modelos	39
Figura 9 Modelo GR2m estructura	41
Figura 10 Esquema y almacenamiento del flujo y modelo de Temez	46
Figura 11 Cuenca en estudio	58
Figura 12 Estaciones en el lugar de estudio	60
Figura 13 Curva Hipsométrica y Frecuencia de altitudes	62
Figura 14 Ajuste de una serie de datos a la distribución Normal.....	66
Figura 15 Ajuste de una serie de datos a la distribución log-Normal de 2 parámetros	67
Figura 16 Ajuste de una serie de datos a la distribución Gumbel.....	68
Figura 17 Ajuste de una serie de datos a la distribución log-Pearson tipo III	68
Figura 18 Hietograma	72
Figura 19 Captura de la Capacidad de infiltración	72
Figura 20 Cálculo de la infiltración y precipitación neta usando el método de la Natural Resources Conservation Service.....	73
Figura 21 Comparación gráfica de los valores de caudal simulados y observados	80
Figura 22 Dispersión del modelo GR2M	81
Figura 23 Comparación gráfica de los valores de caudal simulados y observados por Téméz.....	84
Figura 24 Dispersión de datos estimados aplicando la metodología de Téméz	84
Figura 25 Imagen del rio Huallaga en el tramo de estudio	96
Figura 26 Distribución Normal para TR=50.....	101

Figura 27 Distribución Log-Normal para TR=50.....	101
Figura 28 Distribución Gumbel para TR=50.....	102
Figura 29 Distribución Log-Pearson para TR=50.....	102
Figura 30 Grafica de ajuste modelo GR2M.....	105
Figura 31 Dispersión modelo GR2M.....	106
Figura 32 Grafica de ajuste modelo Témez	107
Figura 31 Dispersión modelo Témez	108

RESUMEN

La presente investigación planteó como objetivo principal la de determinar el comportamiento del efecto de lluvia escorrentía a partir de los modelos GR2M y Témez, a partir de la caracterización de ambos modelos se estimó cual de ellos es el que mejor se ajusta a la serie de datos recolectados para la cuenca que conforma el río Huallaga. Estos modelos que fueron sometidos a análisis pueden determinar los valores de caudales de una determinada cuenca a partir de parámetros e informaciones establecidas previamente, a partir de ello se estimaron los valores de confiabilidad de los caudales simulados a partir de valores de caudal observados en las estaciones que brinda información el Senamhi, logrando así establecer a partir del criterio de Nash que los niveles de confiabilidad según la prueba de Nash son de 78% y 62% para los modelos GR2M y Témez respectivamente, dando así que el modelo más apto en relación a la transformación de lluvia a escorrentía para la cuenca del río Huallaga es el modelo GR2M. Ambos modelos presentaron características específicas para las épocas de estiaje y picos de caudal, dando así, que para las épocas de estiaje el modelo GR2M presenta mayores cercanías a los valores observados esto pues es un efecto directo de la mínima variación de los caudales, sin embargo en algunos puntos de pico de caudal estos no se mantienen en correlación por los que no siempre es óptimo el modelo y requiere de un ajuste más preciso, para el modelo de Témez este presenta una deficiencia al inicio del modelo ejecutado dando valores por debajo de los observados y en algunos puntos de picos subestimando los valores, esto es debido a que el modelo se centra en los promedios estimados dando así una subestimación en gran parte de los valores. Con ello finalmente se pudo establecer que el modelo más adecuado para la cuenca del río Huallaga fue el modelo GR2M.

PALABRA CLAVE: GR2m, temez, fenómeno demográficos de localización, estudio hidráulico, factor climatológico, pendiente, densidad de drenaje, área de cuenca, escorrentía, estación de senamhi, cuenca, duración.

ABSTRACT

The main objective of this investigation was to determine the behavior of the runoff rain effect from the GR2M and Téméz models, from the characterization of both models it was estimated which of them best fits the data series. collected for the basin that makes up the Huallaga river. Those that were subjected to analysis can determine the flow values of a given basin based on previously established model parameters and information, from which the reliability values of the simulated flows were estimated from the flow values observed in the stations. that the Senamhi information, thus establishing from the Nash criterion that the reliability levels according to the Nash test are models of 78% and 62% for those provided GR2M and Téméz respectively, thus giving the most suitable model in relation to the transformation of rain to runoff for the Huallaga river basin is the GR2M model. Both models presented specific characteristics for the dry seasons and flow peaks, thus giving that for the dry seasons the GR2M model presents greater proximity to the observed values, this is a direct effect of the minimum variation of the flows, however In some peak flow points, these are not maintained in connections for which the model is not always optimal and requires a more precise adjustment. For the Téméz model, this presents a deficiency at the beginning of the executed model, giving below the values observed and in some points of peaks underestimating the values, this is because the model focuses on the estimated averages, thus giving an underestimation in a large part of the values. With this, it was finally possible to establish that the most appropriate model for the Huallaga river basin was the GR2M model.

KEY WORD: GR2m, temez, demographic phenomenon of location, hydraulic study, climatological factor, slope, drainage density, basin area, runoff, senamhi station, basin, duration.

INTRODUCCIÓN

Para una caracterización hidrológica es necesaria la comprensión entre las relaciones que existen en cada uno de los procesos que comprende el denominado ciclo hidrológico, esto pues se evidencia de manera relevante en la estimación de pronósticos de precipitaciones y caudales con las cuales se puedan estimar los recursos hídricos o establecer los caudales de diseño para una determinada obra estructural, a partir de ello pues nace la necesidad de establecer métodos de proyección o estimación de lluvias y/o caudales, también denominado procesos de lluvia – escorrentía, la proyección de dichos valores se pueden estimar a partir de diferentes métodos con los cuales trabajar, la presente investigación se centra en dos de ello, los cuales son denominado GR2M y Témez que a nivel mundial son aplicados de manera recurrente, si bien el país no cuenta con una caracterización de parámetros en específico para ambos métodos. Con ello se planteó establecer la determinación de la confiabilidad de ambos modelos teniendo en cuenta una serie de caudales observados, los cuales sirvieron de comparación con los valores simulados por ambos métodos, siendo así la presente investigación se estructura de la siguiente manera:

PRIMER CAPITULO: Se presentan la problemática que se genera y cuáles son los objetivos específicos y generales teniendo en cuenta las justificaciones y limitaciones de la investigación.

SEGUNDO CAPITULO: Se fundamentan los conceptos teóricos bajo los cuales se dirige la investigación como la definición de la hipótesis a corroborar con los resultados obtenidos.

TERCER CAPÍTULO: Se fundamentan las bases metodológicas que rigen a la investigación y cuales serán los procesos de investigación seleccionados.

CUARTO CAPÍTULO: Se presentan los resultados de la investigación, así como el proceso de comprobación de la hipótesis planteada.

QUINTO CAPITULO: Se presentan la discusión de los resultados obtenidos y las conclusiones y recomendaciones a las que se llegó.

CAPÍTULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

En el Perú se cuenta con pocas estaciones hidrometeorológicas e hidrométricas, las cuales en las partes alejadas del país como en la sierra alta del Perú solo se puede encontrar una por provincia y si en caso se tiene una estación no se encuentran los datos actualizados.

Por lo dicho anteriormente la red de datos de las estaciones, los datos que se encuentran son deficientes, también que los lugares donde se encuentran son lejanos al lugar de estudio, dificultando así los trabajos que conlleva la observación, como cierto monitoreo para la toma de datos, de la misma forma toda la información que se tiene presenta una limitación lo cual afecta a cualquier tipo de estudio en la hidrología. (Aparicio, 1992)

Pero para resarcir ese problema existen ciertas metodologías de modelación, la cual ayuda a la simplificación de los procesos de un ciclo hidrológico, lo que requiere menor cantidad de datos de entrada y de la misma forma da buenos resultados dependiendo de los lugares en las cuales se aplique, esto se debe a que hay lugares que tienen una similitud en sus características de cuenca. (Chagua, 2018)

Estos modelos agregados son el de GR2m y Témez, siendo estos representativos de una manera global un ciclo hidrológico de la cuenca en estudio, estos modelos simplifican ciertos factores globales de la cuenca en un ciclo hidrológico lo que simplifica dichos valores. Para este trabajo de investigación tiene como objetivo aplicar dichos modelos en la cuenca del río Huallaga, con un fin de observación en su adaptación de las condiciones existentes del lugar de estudio y presenta una oportunidad de comprobar su aplicabilidad ya que solo fue desarrollado previamente en 19 cuencas altoandinas y ninguna de ellas en la cuenca del Huallaga.

Los modelos que se usaron en este trabajo tubo una aplicación para cada modelo de lluvia escorrentía que se elija y por ello será de gran utilidad para usarlos en futuros proyectos donde se necesite estimar y se tendría que hacer uso de uno de los modelos mencionados y emplearlo para los recursos hídricos.

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1. PROBLEMA GENERAL

¿Identificar cuál de los modelos de GR2M y Témez es el más apto para mostrar el comportamiento de un proceso de lluvia escorrentía en la cuenca del rio Huallaga?

1.2.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS

- ¿De qué manera se puede describir los modelos hidrológicos de Gr2M y Témez en su estructura y sus parámetros?
- ¿De qué forma se puede validar y calibrar los parámetros en un periodo de tiempo seleccionado de los modelos hidrológicos de Gr2M y Témez?
- ¿Cómo comparar los modelos hidrológicos de Gr2M y Témez en su eficiencia mediante una prueba de bondad de ajuste?

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. OBJETIVO GENERAL

Identificar si el modelo de GR2M o el modelo de Témez es el más apto para mostrar el comportamiento de un proceso de lluvia escorrentía en la cuenca del rio Huallaga.

1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Describir los modelos hidrológicos de Gr2M y Témez en su estructura y sus parámetros.

- Validar y calibrar los parámetros en un periodo de tiempo seleccionado de los modelos hidrológicos de Gr2M y Témez.
- Comparar los modelos hidrológicos de Gr2M y Témez en su eficiencia mediante una prueba de bondad de ajuste.

1.4. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

1.4.1. JUSTIFICACIÓN PRÁCTICA

Para este proyecto tiene como fin el conocer los métodos adecuados o el más apto para poder seleccionar cuál de ellos representa un mejor comportamiento del proceso de lluvia escorrentía, y esto ayudaría para trabajos futuros en la rama de hidrología en la cuenca del Huallaga, así como también contar con una base de datos que indique la eficiencia estadística dentro de la región. Beneficiando así a los estudiantes que planean hacer uso de uno de los modelos para futuros trabajos referentes a la rama de la Hidrología.

1.4.2. JUSTIFICACIÓN TEÓRICA

Este proyecto generó información necesaria en la rama de la hidrología de la región Huánuco, específicamente en la cuenca del Huallaga, tomando como base investigaciones y/o estudios hidrológicos donde los modelos de Gr2M y Témez son sumamente importantes para poder demostrar el comportamiento que representa el proceso de lluvia escorrentía y así poder compararlos con el fin de definir cuál es el modelo más adecuado.

1.4.3. JUSTIFICACIÓN METODOLÓGICA

Para poder realizar y cumplir con los objetivos mencionados en el proyecto se tuvo que usar diferentes fórmulas matemáticas como también el uso de una hoja de Excel con el cual se seleccionó el mejor modelo que se adecue y se use en estudios similares o que tengan una cuenca con características similares al de este estudio.

1.5. LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN

La mayor limitación del estudio fue que se desarrollara por medio de una toma de datos de estudios y fuentes que se usaron en la cuenca y de fuentes sacadas del Senamhi, además que los datos que se obtengan fueron solo de este año lo que puede cambiar para años futuros con el cambio de la cuenca.

Otras limitaciones de este estudio de investigación se presentan a continuación:

- A nivel regional, no hay suficiente información contextual relacionada con el proyecto.
- Todo el costo del proyecto fue financiado por el tesista.

1.6. VIABILIDAD DE LA INVESTIGACIÓN

1.6.1. VIABILIDAD OPERATIVA

La viabilidad operativa fue conseguir un estudio de comparación de los modelos de Gr2M y Témez, para elegir el que mejor represente el comportamiento del proceso de lluvia escorrentía, teniendo un uso correcto de los modelos como también considerando las características adecuadas.

De la misma forma esta investigación fue elaborada por un asesor experto en esta área, responsable de la dirección de este proyecto y capaz de dar respuesta a las dudas que pudieran surgir.

1.6.2. VIABILIDAD TÉCNICA

Este trabajo de investigación tuvo como factibilidad técnica la cantidad de estudios realizados similares a este, lo que nos brinda información esencial para un control y un análisis de lo que se planea de lograr, sirve como progreso en el conocimiento.

Los datos hidráulicos y los recursos que están con disponibilidad de energía en Excel pueden realizar el estudio.

Si nos enfocamos en los recursos humanos, este ha sido elaborado con el asesoramiento del asesor encargado de desarrollar los objetivos que se relacionan con esta investigación.

1.6.3. VIABILIDAD ECONÓMICA-SOCIAL

Este proyecto fue íntegramente financiado con recursos propios del tesista, desde la parte inicial hasta la realización completa de la investigación, por lo mismo este estudio no tiene ningún tipo de ganancia monetaria.

Si nos centramos en el ámbito social, este tiene un aporte muy importante para los estudiantes, y la población en general, porque tiene información para poder conocer los modelos para el proceso de lluvia escorrentía.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

2.1.1. ANTECEDENTES INTERNACIONALES

García (2020) en su tesis titulada “*Propuesta y análisis de metodologías para la evaluación de recursos hídricos mediante modelos precipitación – escorrentía.*” Tesis Doctoral en Ingeniería del Agua y Medioambiental. Universidad Politécnica De Valencia. En dicha tesis tiene como su objetivo principal, el diseño de una propuesta metodológica de forma científica y técnica que al completarla permite la evaluación de los recursos hídricos para sistemas naturales, como también los regulados y en altos índices de explotación. Debido a que muestra una influencia muy importante en la componente subterránea, con el fin de mostrar ciertas soluciones para herramientas pertinentes al solventar los problemas que se encuentren. (pág. 18) La cual tiene como conclusiones que; 1) La principal contribución de esta investigación se centra en una propuesta científico-técnica integral para enfrentar el problema de la evaluación de recursos hídricos a escala de cuenca, basada en la implementación de modelos precipitación-escorrentía (MPE) como instrumento principal. En ella se aborda todo el abanico de posibles problemáticas presentes en los sistemas de recursos hídricos, estos son: sistemas naturales o sin regulación, sistemas regulados con altos índices de explotación y sistemas con una fuerte influencia de la componente subterránea. 2) En esta tesis se han establecido exitosamente tres enfoques metodológicos distintos para la evaluación de los recursos hídricos en casos donde los métodos clásicos no habían sido suficientes, debido a la gran alteración hidrológica ocasionada por la gestión y a las interacciones entre las componentes de las cuencas. Esto permitió mejorar el proceso de la evaluación de los recursos hídricos en virtud de considerar las interacciones que realmente suceden en el sistema durante la transformación de la precipitación en

escorrentía, tomando en cuenta el estado actual de los sistemas sin tener que restituir las condiciones de éstos a su estado natural que en ocasiones es incierto y lleno de suposiciones. Estos nuevos enfoques, permiten además la posibilidad de integrar los sistemas subterráneos en la evaluación de los recursos hídricos cuando éstos presenten una fuerte influencia en la disponibilidad de los recursos en la cuenca. (pág. 183). Este antecedente nos ayuda a ver como la metodología de Temez es usado para las aguas subterráneas de esa cuenca en estudio y que la metodología usada y formulas puedan servir como fuente de esta investigación.

Rincon, (2019) en su investigación titulada “*Aplicación de los Modelos de lluvia – escorrentía GR2M y GR4J en la cuenca del rio Guali para la gestión de los recursos hídricos.*” Cuyo objetivo es la evaluación de la aplicabilidad de los modelos hidrológicos de lluvia escorrentía de los modelos de GR2M Y GR4J para poder calcular los caudales diarios y mensuales. Una de las conclusiones que se tuvo fue que el modelo de GR2M es un modelo que tiene dos parámetros y simula caudales mensuales con una certeza y confiabilidad de los resultados obtenidos. Luego de esa evaluación que fue realizada en el rio Guali, ayudo a resolver una de las problemáticas que se muestra en esa cuenca debido a la falta de estación presente. Para el modelo de GR2M se obtuvo una eficiencia en la etapa de calibración de un 67% según el criterio de Nash y un 79.1% para una etapa de validación, lo que indico que el GR2M fue ajustable para la cuenca de ese estudio. Este antecedente sirve de ayuda para el modelo de GR2M que se usara para este estudio y como aplicarlo y calibrar la cuenca.

Sánchez (2017), en su trabajo de fin de Máster: “*Revisión, Análisis y Actualización del Modelo de Temez en el Ámbito de las comarcas de la marina alta y la marina baja (alicante)*”, se plantean la interrogante de la elaboración de una metodología simplificada que determine directrices para la elaboración de un estudio hidrológico e hidráulico completo, para poder cumplir con ese fin se procedió a tomar las fórmulas por Temez

para seguir un esquema propuesto en ese trabajo. Luego de realizar el trabajo se sacaron las siguientes conclusiones: el método racional modificado de Témez (1991) es el método más utilizado en España, por ello el siguiente estudio se ha centrado en el mismo, analizando los distintos factores que se tienen en cuenta y La expresión propuesta por Dr. Rafael García Bartual describe mejor el fenómeno de no uniformidad espacial de la lluvia en la zona de estudio. Por ello, y a pesar de las diferencias encontradas en los valores calculados con Témez (1991), se utilizará dicha función en la aplicación del método racional modificado de Témez (1991) en el entorno de las comarcas de Las Marinas.

2.1.2. ANTECEDENTES NACIONALES

Según Gamara, (2018) en su tesis *“Aplicación del Modelo Hidrológico Lutz Scholz para determinar caudales medios mensuales en la sub cuenca del rio Quiroz”*. El tesista indica que objetivo general “Determinar caudales medios mensuales en la sub cuenca Quiroz, aplicando el método de Lutz Scholz para completar la información del Plan de Aprovechamiento de Disponibilidad Hídrica de Cuenca Chira Piura del Consejo de Recursos Hídricos”. (pág. 2). Su metodología A pesar de que existen varios modelos hidrológicos, para la generación de descargas medias mensuales, la mayoría de los modelos se basan en información hidrometeorológica diaria como es el método de Temez, y es el limitante para la aplicación en nuestro medio, y pocos modelos a nivel mensual y uno de ellos es el modelo hidrológico Lutz Scholz..

Según Campos (2021) en su tesis: *“Aplicación de los modelos hidrológicos GR2M y SMAP para la generación de caudales medios mensuales en sub cuencas no aforadas. Caso de estudio: Cuencas Jequetepeque, Chancay – Lambayeque Y Piura.”* Esta tesis tiene como objeto de estudio analizar la aplicabilidad de los modelos hidrológicos GR2M y SMAP para la generación de caudales medios mensuales en subcuencas no aforadas, del área de estudio a saber: cuencas Jequetepeque, Chancay-Lambayeque y Piura. Y los resultados que se mostraron fueron los siguientes, los resultados de las simulaciones

permiten concluir, que el modelo con menor número de parámetros (GR2M) tiene un mejor desempeño en las cuencas Jequetepeque (2501.26 m.s.n.m.) y Chancay-Lambayeque (2256.70 m.s.n.m); que con mayor altitud y ser ríos maduros, por efecto de las precipitaciones, el agua absorbe formando agua gravitacional característicos de este modelo. Mientras que el modelo de mayor número de parámetros (SMAP) se asocia mejor con la cuenca Piura (866.78 m.s.n.m.); que por estar con menor altitud y ser un río viejo, forman corrientes lentas y sedimentos que ocasionan saturación y humedad en el suelo característicos de este modelo. La representación de las series observadas y simuladas por los dos modelos, son estimadas mejor en los meses de avenidas de diciembre a mayo, que en épocas de estiaje. Así como también se observa que los años del fenómeno del niño nos lo representa muy bien. Sin embargo, la simulación por el modelo GR2M actúa en ambas épocas con mayor eficiencia que el modelo SMAP. Se concluye, que el análisis sensibilidad de los modelos GR2M y SMAP; permitieron reconocer el efecto influyente de cada parámetro y la importancia de este mismo en la respuesta de cada modelo, mediante la variación de los parámetros usando los indicadores de eficiencia.

2.1.3. ANTECEDENTES LOCALES

Según Egoavil, (2022) en su tesis para obtener el título profesional: *“Estimación de la Escorrentía directa usando imágenes del Goes 12 y Modelamiento en HEC-HMS, en la cuenca alta del Huallaga”* En su artículo, se desarrolló un método para estimar la escorrentía directa en la cuenca alta del Huallaga de febrero a abril de 2008. Utiliza imágenes GOES 12 e información de cobertura y suelo para el área considerada, cubriendo un área de 12.249.542 cuadrados. km² metros que cubre el Paseo de Huánuco hasta Tingo María. La región está dividida en 140 subcuencas que integran esquemas hidrológicos conFigurados con la información requerida para los cálculos de escurrimiento directo en HEC-HMS utilizando el método SCS. Un punto de aforo en el esquema representa la estación hidrológica del SENAMHI en Tingo María donde

se calculó el caudal de verificación (Q_v). Métodos de Manning y HEC-RAS; comparar el eflujo directo obtenido con HEC-HMS. La precipitación se calculó a partir de imágenes GOES 12 utilizando la técnica CST.

2.2. BASES TEÓRICAS

2.2.1. CICLO HIDROLÓGICO

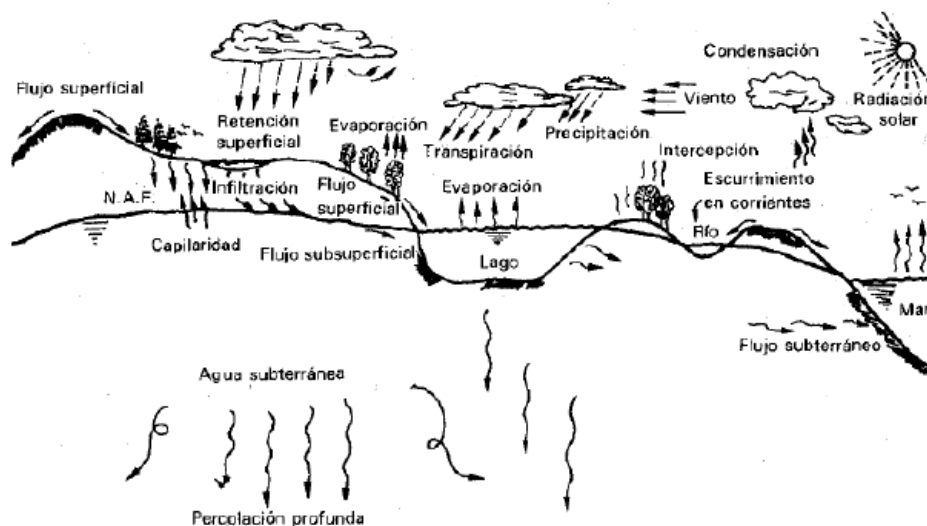
El ciclo hidrológico se caracteriza por ser un conjunto en la cual experimenta cambios del agua en la naturaleza, ese cambio puede darse en sus diferentes fases de estado “líquido, sólido, gaseoso”. También se considera a este ciclo como un foco de fuente primaria de la hidrología porque no tiene un principio ni un fin, debido a que los diversos procesos que puedan ocurrir se da de manera seguida. (Chow, 1994)

Según la Figura 1 se observa un esquema donde el agua desemboca en el océano y como es el efecto de la radiación en la superficie terrestre mediante la evaporación y su efecto de radiación del viento y el sol. Para un vapor de agua que se forma de esa manera, puede ascender a la atmósfera como una nube, luego se condensa y mediante cae en la superficie terrestre mediante la precipitación. Esta forma que se da en la superficie es interceptada en ciertas ocasiones por las plantas como también por las obras de arte, después tienen una fluidez y sigue con su camino hasta llegar a infiltrarse o unirse en las corrientes. Si el agua llega a ser interceptada por una corriente y de cierta forma una parte de ella, llega a ser infiltrada nuevamente regrese al ciclo hidrológico ósea que se evapora de nuevo y vuelve a iniciar el ciclo.

De la precipitación que pueda llegar a las corrientes, una fracción de ella se infiltra y otra sigue su camino hasta los ríos o presas y/o lagos, el porcentaje es absorbido por las plantas suelen ser transpiradas por la misma “siendo está en su totalidad”, hasta la atmósfera y el porcentaje restante fluye bajo la superficie llegando hasta la corriente o hacia zonas

de percolación para luego servir de almacén como agua subterránea, que luego esa agua servirá para aflorar manantiales.

Figura 1
Ciclo Hidrológico y su proceso



Fuente: (Aparicio, 1992)

Se sabe que el ciclo hidrológico se considera como un “definición de una manera fundamenta de hidrología” siendo la cuenca hidrografica como una básica unid. de estudio y tiene como definición que es el área de terreno donde las gotas de precipitación todas de ellas, se conjuntan conjuntamente para crear una sola corriente de agua. (Aparicio, 1992)

2.2.2. FLUJO DE AGUA

2.2.2.1. ATMOSFÉRICA

Se sabe que en la mayoría de procesos meteorológicos que a su vez son diversos, suelen ocurrir de forma continua a la atmosfera siendo muy importante en la hidrología: las precipitaciones y evaporación, siendo eso la interacción de la atmosfera con el agua superficial. Se considera que la parte mayor que se da de agua se precipita en la superficie terrestre, produciendo la humedad que evaporado va a los océanos y luego es transportado por una atmosférica circulación mediante largas

distancias. Se considera que las dos fuerzas básicas para una atmosférica circulación son la rotación de la tierra y de la misma forma de energía de la transferencia. (Linsley, 1974)

La evaporación es producida de forma básica por un incremento de energía cinética, experimentando moléculas de agua que se encuentra cercana a la superficie de un húmedo suelo o mediante una masa de agua, es producido por un carácter constante de calor que se recibe en la tierra media el sol por medio de la radiación, teniendo en cuenta el viento y las diferenciad de presión del vapor. Para el aumento de energía que provoca que ciertas moléculas de agua salten de una forma seguida para la atmosfera. De la misma forma hay ciertas moléculas que se muestran de forma condesada y retornar de agua. En forma natural lo que se busca es que el flujo neto de ciertas partículas asciende a la atmosfera, mediante se denomine en la evaporación de forma sucesiva. (Aparicio, 1992)

La precipitación, se considera como una forma total de humedad incluyendo la nieve, lluvia, etc. En su formación se necesita que realice la evaporación e incrementa hasta llegar a la atmósfera siendo posteriormente que debe enfriar y condensar para un puesto de vapor a un puesto líquido y después por la gravedad tiene que caer a la superficie terrestre (Chow, 1994).

Enfocándonos en un punto de vista inge-hidrologico, se tiene a la precipitación como fuente primaria del agua para la superficie terrestre, y las mediciones como el análisis que se puede formar desde un punto de partida siendo una mayor parte los estudios que se encuentren concernientes al uso y control del agua. La precipitación tiende a medirse en términos de la altura de agua y se denota generalmente en milímetros. Siento la H de agua interpretada como una altura de agua acumulada en una superficie no vertical, si la precipitación se mantiene donde recayó. Las

maquinas de medición de la precipitación que se presenta es el pluviómetro y pluviógrafo.

Esto se clasifica en precipitación de tipo conectiva, cuando la superficie de agua lleva evaporado, forma una grande masa de vapor de forma continua de agua que suben de forma vertical a la atmosfera que llegue a grandes alturas, eso se encuentran en condiciones donde provoca un tipo de condensación y después procede a la precipitación.

La ciclónica que también es un tipo de precipitación, se da cuando se encuentran dos masas diferentes de aire y estas también son distintas en la humedad como en el grado de temperatura, siendo así las nubes con un calor mayor se impulsa en un lugar alto y ahí se genera la condensación, que luego genera una precipitación con una intensidad mucho mayor. Pero la orográfica se da cuando un vapor de agua se mueve de forma horizontal por vientos a las montañas, que a la vez funciona obstaculando que el vapor continúe su camino por el viento y después el mismo vapor llega a las laderas para luego ascender a alturas mayores que de la montaña y así llegar a toparse en las condiciones donde se muestre que el vapor llegue a condensarse y así precipitarse. En forma andina se analiza la siguiente forma de precipitación que es sumamente importante.

2.2.2.2. SUPERFICIAL

Para el agua de forma superficial que suele almacenarse o fluye en la superficie de la tierra, recibe el nombre de esorrentía. Se considera la esorrentía como el agua que proviene de la precipitación y este se mueve en la superficie terrestre, hasta llegar a una corriente que al final se drena hasta llegar a la salida o final de la cuenca. Para Horton definió el flujo superficial de la siguiente forma:

Cuando se desperdicia una intercepción por el problema de vegetación, se tiene una escorrentía superficial siendo ella parte principal de la lluvia, que no se considera absorbe por el suelo con un proceso de infiltración. Si en caso el suelo muestra una capacidad de infiltración f , se puede expresar en pulgadas por hora, siendo así la intensidad de la lluvia i la cual es menor que f , para una lluvia absorbida completa que no muestra escorrentía superficial. Algunos consideran que es una primera aproximación que, si se tiene un i mayor que f , se considera escorrentía superficial que ocurrirá una tasa de $i-f$ (Chow, 1994, pág. 131)

anterior Horton lo nombro como exceso de lluvia o en otras palabras como precipitación efectiva que considera a la lluvia como un constituyente de escurrimiento directo de hidrograma aislado.

2.2.2.3. SUB SUPERFICIAL Y SUBTERRÁNEO

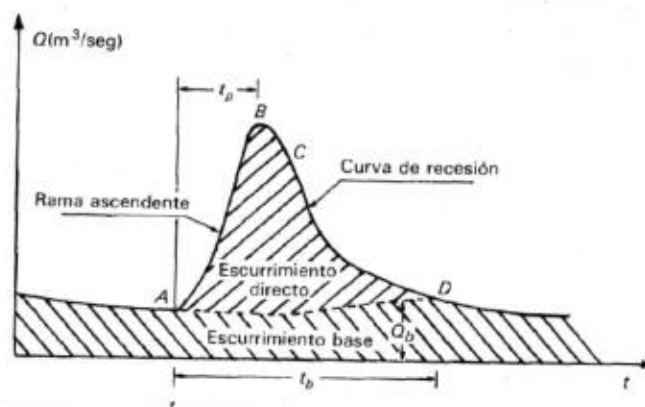
Ya obtenida una precipitación que recae sobre una superficie de suelo que se encuentra saturado en capas superiores de la misma, y la cual tiene una intensidad de lluvia que supera a la C_i siendo justamente en que empieza la infiltración como un proceso de agua que mediante el mismo empieza partiendo una superficie de terreno hasta el suelo producido por una acción de fuerzas gravitacionales y capilares. De cierta forma empieza a llenar los vacíos del terreno que al mismo tiempo se considera como el escurrimiento del agua sobre una superficie. Para una parte del agua de precipitación que se encuentra infiltrada y escurrida cercana a la superficial y que en cierta forma es paralelo al mismo, ese movimiento de agua que regresa de la superficie sin alcanzar un estrato saturado del suelo. A toda esa parte del escurrimiento se le denomina escurrimiento sub superficial.

El otro porcentaje de agua que se infiltre, llega a niveles inferiores del nivel freático, la cual recarga los acuíferos, este escurrimiento se le llama como escurrimiento subterráneo. Se

define como una manera lenta de llegar hasta el punto de aforo (este puede tardar años en realizarse), por ello no se le puede relacionar como una tormenta particular, aunque se tenga una cuenca muy pequeña y con un suelo muy permeable como para que el agua infiltrada llegue en un tiempo corto a lugar de aforo. El escurrimiento subsuperficial se considera superficial o subterráneo de forma lenta, eso depende de la permeabilidad de los estrados del suelo al superior, para ello es difícil distinguir que se tiene otros dos, cuando se considera rápido se le considera al emplearlo y tratarlo con el escurrimiento de manera superficialmente y cuando se tiene uno de manera lentamente se le considera parte del subterráneo. (Aparicio, 1992)

En la Figura 2, se muestra que un hidrograma de forma aislado que al momento que se grafique su caudal por la unidad de tiempo para cualquier tormenta. El escurrimiento de forma directa se origina por la precipitación en exceso, en otras palabras, por una escorrentía directa y que tiene un escurrimiento sub superficial rápido. Pero el escurrimiento de la base se forma por el agua subterránea y por el agua sub superficial de forma lenta, siendo esos flujos los que producen un bajo nivel freático y otro muy lento, siendo así los únicos que alimentan las corrientes cuando no se presenta lluvias.

Figura 2
Hidrograma aislado



Fuente: (Aparicio, 1992)

2.2.3. FACTORES QUE AFECTA EL PROCESO DE ESCORRENTÍA

Para poder comprender el ciclo hidrológico, se tiene que entender la respuesta que implica a la cuenca de una forma continua y en ese tiempo y espacio se tiene que dejar concretamente que para cada cuenca se tiene condiciones que particulares de clima, geografía, etc. Y que la importancia incrementa de proceso a otro que condicionan un comportamiento particular para cada cuenca.

2.2.3.1. VARIABLE ESTACIONAL Y ESPACIO DE LA LLUVIA

Para el estudio hidrológico, la precipitación es sumamente importante como un dato de entrada para ciertos modelos, mediante el cual la elaboración o fabricación de escorrentía superficial. Para la intensidad, distribución espacial, forma, distribución temporal y duración, dirección de la tormenta está influenciada notoriamente en la escorrentía.

Normalmente la cantidad de lluvia precipitada en un sitio suele ser diferente en otro de cierta forma con su variación espacial. Para los aparatos medidores que registran la lluvia puntual como el pluviógrafo y pluviómetro, estos aparatos producen en el punto que está instalado el aparato y los cálculos que muestra se necesita conocer previamente la lluvia en promedio de un área de estudio.

Para ello hay varios métodos para el cálculo de la precipitación, siendo un método sencillo el cálculo por la media aritmética mediante una cantidad de datos de todas las estaciones pluviométricas diferentes que se encuentren en el lugar de estudio, este método se usa en cuencas que cuentan con una topografía ciertamente moderada y que cuenta con una menor variabilidad de precipitaciones, con una distribución ciertamente uniforme para estaciones pluviométricas en toda la red. Otro método conocido es de los polígonos de Thiessen este se usa cuando las distribuciones encontradas en los pluviómetros no son homogéneas, consiste en

la delimitación de la zona de influencia para cada estación y después hacer un promedio utilizando el área de la cuenca de estudio. Para el método inverso de la distancia cuadrado, el cual toma en cuenta la variabilidad de procesos geo físicos, el cual muestra espacialmente su estructura y logra elaborar un estimador insesgado y de una mínima variancia en su error de estimación, este método también es adecuado para las cuencas con una topografía ciertamente moderada.

Otro método existente es el método de isoyetas, este método se usa en cuencas en la cual presentan mucha variabilidad de precipitación por medio de la topografía y ayuda a una fabricación de la cartografía en la cual se muestran los gradientes de precipitación, se define como isoyetas a las curvas las que unen los puntos para la precipitación. Para este estudio no se usará este método debido a que se necesitan precipitación del área.

2.2.3.2. FISIAGRÁFICOS

Otros factores que inciden en la relación lluvia-escorrentía en a son su morfología y relieve. Durante lluvias prolongadas en pendientes empinadas, el agua se infiltra en el suelo puede drenarse más rápidamente hacia afuera en la escorrentía superficial que el drenaje vertical en el subsuelo.

En la siguiente imagen vemos cómo la orientación y la de las montañas juegan un papel muy importante en la hidrología, ciertas montañas de gran altura tapan a otras la radiación solar; esto tiene muchas consecuencias como, por ejemplo, que los estanques estén expuestos a menos horas de luz solar, lo que se traduce en menos evapotranspiración.

Figura 3

Características principales de las cuencas en alto andinas



Fuente: (Montoya, 2014)

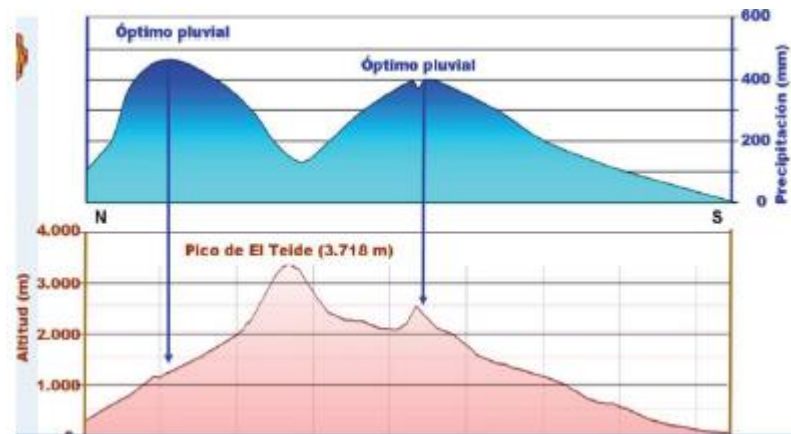
En los Andes, las nubes más bajas que no superan los 3500 metros sobre el nivel del mar ellos traen la mayor cantidad de agua y se distribuyen por toda la troposfera; las nubes medianas se extienden hasta una altura de 7000 metros, es decir, hasta la cima de los picos andinos; mientras que las nubes altas ubicadas en la estratosfera no producen precipitación.

“De esta manera, cuando es así como la precipitación aumenta con la altitud hasta lo que llamamos pluvial óptimo, a partir del cual decrece; y por eso, mientras estamos, por ejemplo, en las cumbres de la Conga o de la Cordillera Blanca, un sol espléndido, en Cajamarca o en Huaraz puede darse abundante”. (Fernández, 2013, pág. 21)

Esto quiere decir que en las cuencas andinas el comportamiento de la lluvia no es depende a la altitud, es decir, no podemos afirmar que a mayor altitud mayor precipitación, porque el agua generalmente viene de la precipitación atmosférica.

Figura 4

Relación de la precipitación y altitud en cuencas alto andinas



Fuente: (Fernández, 2013)

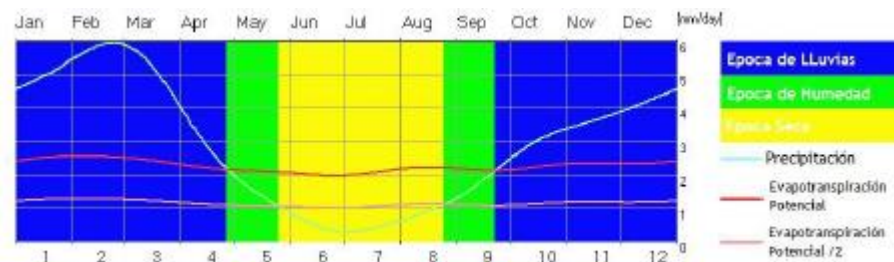
Se observa que la precipitación máxima no se haya en los picos de las montañas, sino que estas se encuentran debajo de la altitud máxima que tiene la montaña.

2.2.4. LLUVIAS EN CUENCAS DEL PERÚ

Las lluvias en Perú se caracterizan por ser fuertes principalmente en las cuencas altoandinas, ubicadas a más de 2,500 metros sobre el nivel del mar, donde la estación lluviosa en octubre va aumentando paulatinamente hasta llegar a con un pico en los meses de enero y marzo, solo para bajar en abril. A partir de entonces, en el mes de mayo, hay un período de transición llamado estación lluviosa. Desde fines de mayo hasta agosto, algunas regiones tienen este período que se denomina estación seca.

Figura 5

Ciclo de la precipitación



Fuente: (Montoya, 2014)

2.2.5. MODELACIÓN HIDROLÓGICA

El objetivo de la hidrología es comprender el ciclo hidrológico, los procesos y sus interacciones a nivel atmosférico, superficial y subterráneo.

En este contexto, "comprender" implica "medir", "predecir" y "cuantificar" variables relacionadas con el ciclo hidrológico, principalmente captar los mecanismos de generación de escorrentía superficial y recarga de acuíferos subterráneos a partir de precipitación y evapotranspiración.

Por tanto, si el objetivo es predecir caudales y cuantificar caudales, es imprescindible el uso de modelos hidrológicos, que deben ser evaluados para diferentes condiciones ambientales.

Para esto, es necesario integrar estos procesos, sus condiciones en el ambiente físico de base de la cuenca, a través de un prototipo que describa su comportamiento.

En un modelo hidrológico, el sistema físico real que normalmente representamos es la "cuenca" y cada uno de los ciclos hidrológicos.

De esta forma, un modelo matemático nos ayudará en las decisiones en hidrología, por lo tanto, es necesario conocer las entradas del sistema y las salidas del sistema, comprobar si el modelo es representativo del prototipo. (Chavarri, 2008)

Si, dentro de encabezados, los métodos y técnicas para medir caudales y la precipitación han mejorado con el tiempo, también es cierto que otros componentes del ciclo hidrológico no han sufrido la evolución, por ejemplo, infiltración, percolación profunda, flujo de agua subterránea flujos de agua subterránea, entre otros, son procesos generalmente indirectos y/o a distancia, esto que conduce a una gran fuente de incertidumbre como a cómo funciona el sistema hidrológico y los resultados o salidas.

A pesar de algunos inconvenientes, el modelado es una metodología poderosa para describir de manera efectiva el comportamiento y la magnitud del agua frente a varios fenómenos.

Del mismo modo, tener en cuenta y utilizar los datos hidrológicos es esencial para evaluar, simular y predecir los efectos causados por inundaciones, por los efectos del cambio por la intervención humana, etc. Proponer soluciones de ingeniería y administrar los recursos de una cuenca, región o país.

Para comprender los procesos de un modelo, uno debe asumir que el ciclo hidrológico se representa como un sistema, es decir, un gran conjunto de componentes interconectados o, que se definen como estructuras o en el espacio, rodeado por un borde, que acepta entradas, opera internamente y las trata como salidas.

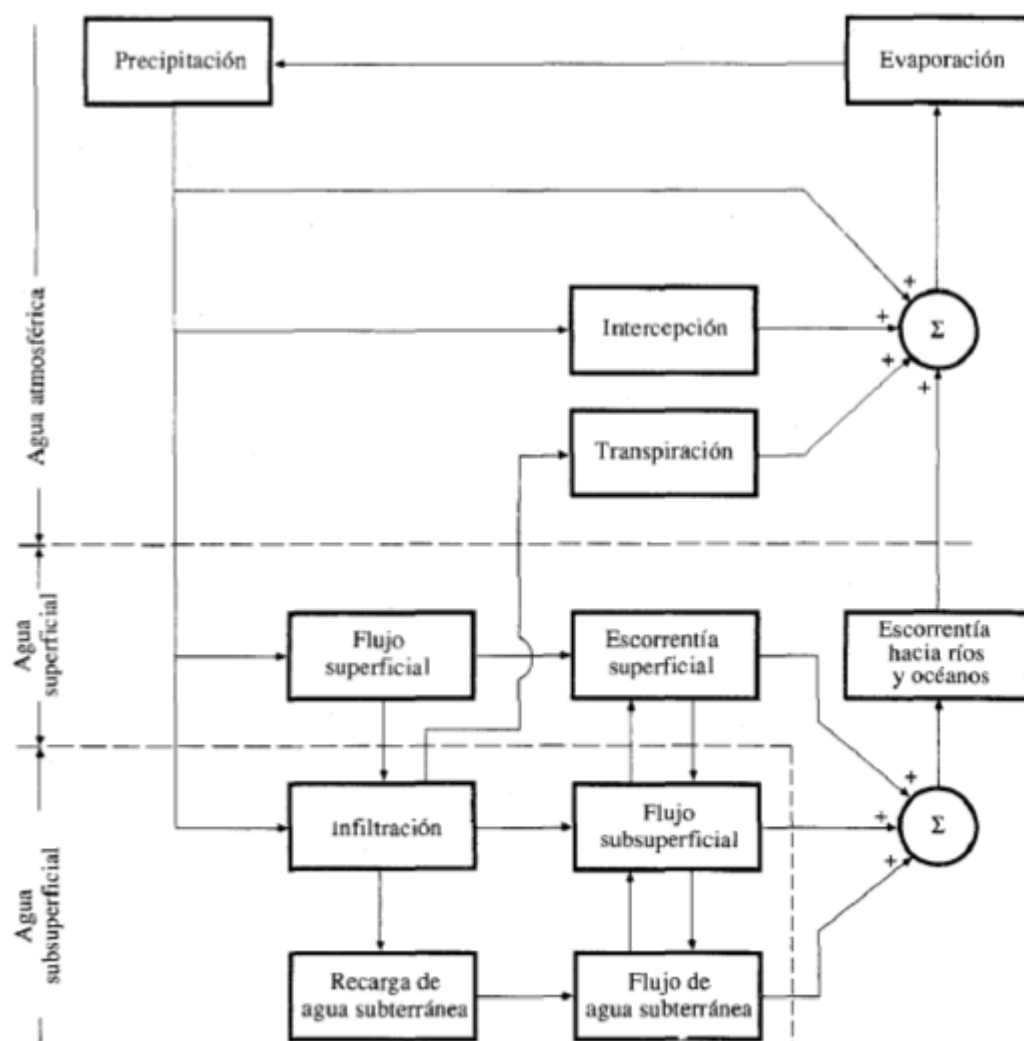
Estas entradas también se denominan medios de trabajo del e interactúan con él de varias formas.

Entre los medios de trabajo más comunes en hidrología se encuentran el aire, el agua y el calor. (Chow, 1994)

Esta modelación cuenta con un fin el de definir, una relación que se encuentre en el sistema y el medio de trabajo, también las operaciones y transformaciones debidamente adecuada para la obtención de salidas u outputs.

Figura 6

Esquema que representa el sistema hidrológico general



Fuente: (Chow, 1994)

2.2.5.1. CLASIFICACIÓN DE LOS MODELOS

En el nivel más general, los modelos hidrológicos se pueden clasificar en dos formas, físicas o materiales y abstractas formales.

Un modelo material es una representación física de la estructura más simple, pero con propiedades que coinciden con las del prototipo.

Ejemplos de modelos de cuencas materiales son los modelos de precipitación y las cuencas a escala experimental.

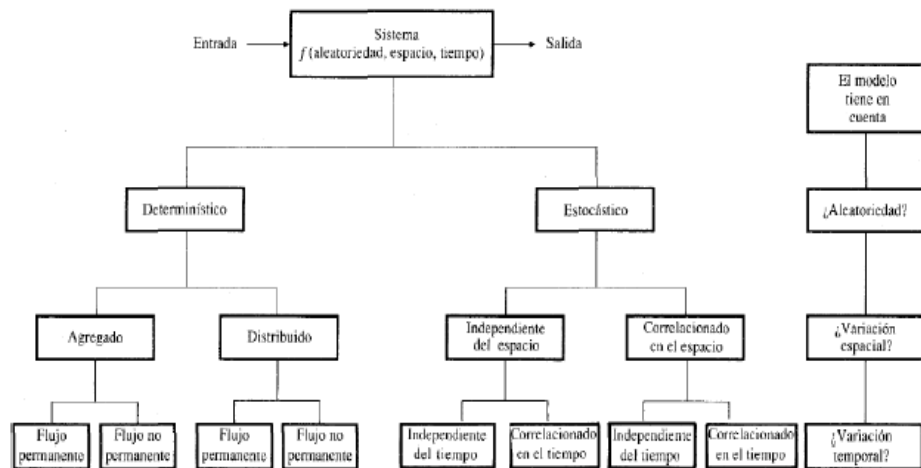
Un modelo formal es una abstracción matemática de una situación que conserva importantes propiedades estructurales del prototipo.

Dado que los modelos formales son invariablemente matemáticos, es habitual referirse a ellos como modelos matemáticos.

Los modelos matemáticos que se usan con la ayuda de una computadora se denominan modelos computacionales. Se han desarrollado muchos modelos informáticos de cuencas durante las últimas tres décadas.

Figura 7

Modelos Hidrológicos y su clasificación



Fuente: (Chow, 1994)

En esa clasificación se puede encontrar diversos grupos importantes entre ellos, el modelo estocástico, los determinísticos agregados y distribuidos.

En referencia con las fuentes de variación que se considera por el autor: la aleatoriedad de los fenómenos y la variación temporal como la variación espacial.

2.2.5.2. MODELO DETERMINÍSTICO Y MODELO ESTOCÁSTICO

Los modelos estocásticos se formulan de acuerdo con las leyes de probabilidad.

Se suele considerar la gran variabilidad observada en las series temporales hidrológicas, como los caudales diarios de agua en cuencas de tamaño medio. El desarrollo de modelos estocásticos siempre requiere el uso de datos. El material destaca las fuentes de incertidumbre en los procesos hidrológicos. En estos modelos, las entradas aleatorias resultan de distribuciones de salidas parcialmente aleatorias. Por otro lado, a diferencia de los modelos estocásticos, un modelo matemático determinista es un modelo que trata de establecer relaciones cuantitativas de causa-efecto a través de una transformación única o directa para obtener una respuesta a una demanda, o una ecuación u operador empírico desarrollado a partir de ella. sobre criterios analíticos para las hipótesis. En los modelos deterministas, una entrada determinada siempre produce la misma salida en las mismas condiciones. En el modelo determinista no se considera la probabilidad de ocurrencia de los valores de las variables que intervienen en el proceso, sino que se considera que dicho proceso está representado por uno, según el cual el conocimiento de las leyes del desarrollo.

De la física fenómeno y su estado actual, nos permite conocer con precisión sus estados futuros en la física clásica.(Chavarri, 2008, pág. 7)

2.2.5.3. MODELO AGRAGADO

Una de las principales limitaciones del modelado de cuencas hidrográficas es la falta de conocimiento sobre las propiedades del suelo, los procesos involucrados en el subsuelo y el flujo subterráneo.

Esta limitación se supera cuando se asume que tanto los procesos superficiales como los subterráneos son uniformes y son declaraciones válidas de cuencas pequeñas y subcuencas.

Debido a que las cuencas son homogéneas, pueden representarse como elementos únicos con propiedades constantes, lo que da como resultado los llamados modelos 'agregados' o 'agrupados'.

El término modelo colectivo o modelo de parámetros agrupados también se utiliza para referirse a un modelo que realiza un balance hídrico simplificado utilizando un solo parámetro que promedia las propiedades espaciales y temporales de un área relativamente grande. Es decir, la variabilidad de las variables de entrada, los parámetros físicos de la cuenca, se expresan como valores medios en unidades de respuesta hidrológica, ignorando las distribuciones espaciales, de manera que se puede calcular la respuesta de la cuenca sin considerar explícitamente las respuestas de los individuos. subcuencas. , solo se evalúa como un producto.

Hasta el momento y según disponibilidad de datos, este es el modelo más utilizado en diseño. Un ejemplo típico de un modelo con parámetros globales es un sistema de agua unitario. (Fattorelli & Fernández, 2011)

2.2.5.4. MODELO DISTRIBUIDO Y SEMI DISTRIBUIDO

Los términos modelo de parámetros distribuidos o modelo de dispersión se utilizan para describir un modelo cuyos parámetros pueden variar espacialmente a lo largo de la cuenca. Es decir, se consideran los procesos hidrológicos tal como ocurren en diferentes áreas.

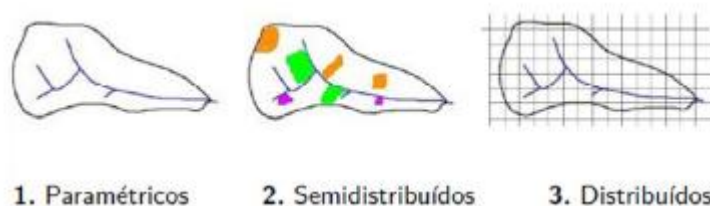
Esto le permite calcular no solo la respuesta de la cuenca, sino también las respuestas de las subcuencas individuales.

El nivel de detalle en las simulaciones que se pueden realizar con modelos distribuidos es computacionalmente superior a los modelos globales debido a la subdivisión acelerada. Esto permite el modelado de características especiales como la variación espacial de la precipitación y la extracción hidrológica.

Sin embargo, para que los resultados del modelado distribuido sean significativos, la calidad y cantidad de datos disponibles debe ser óptima y con un alto nivel de detalle.

Figura 8

Tres tipos de Modelos



Fuente: (Chow, 1994)

Una gran ventaja de estos modelos es que los parámetros espaciales dentro de una subcuenca se pueden tener en cuenta definiendo múltiples HRU y mallas, las HRU y las mallas simplifican el proceso de cálculo. considerados como unidades homogéneas.

Sin embargo, estos modelos tienen el inconveniente de suponer la existencia de una potencia de cálculo "distribuida" mayor. Históricamente, los modelos agregados han sido más populares que los modelos distribuidos y continúan existiendo en muchos Andes debido a las limitaciones computacionales y la disponibilidad y confiabilidad de los datos.

A continuación, discutimos las características de tres modelos agregados muy generales que operan en dos reservorios

y, dadas las circunstancias en las que se estableció este estudio, requieren pocos de los parámetros de entrada requeridos para las transformaciones de precipitación y escurrimiento.

2.2.5.5. GR2M

La falta de información es siempre la limitación de los levantamientos hidrológicos. Esta carencia ha sido superada a lo largo de la historia. Muchos expertos estudian diferentes tipos de modelos hidrológicos, desde los más complejos hasta los más simples, con pocos requisitos de material o parámetros de entrada para modelar y simplificar procesos hidrológicos homogeneizados, y pensaron que debería desarrollarse.

Este es el caso de los modelos agregados. GR2m es un modelo hidrológico de flujo de precipitación desarrollado por Cemagref a fines de la década de 1980.

Este modelo pertenece al grupo GR por ser un acrónimo de Génie Rural, que significa Ingeniería Rural en francés. Luego se desarrollan modelos y también se utilizan GR1a, GR3j y GR4j, donde indicamos el número de parámetros a modelar y las letras indican los pasos de tiempo.

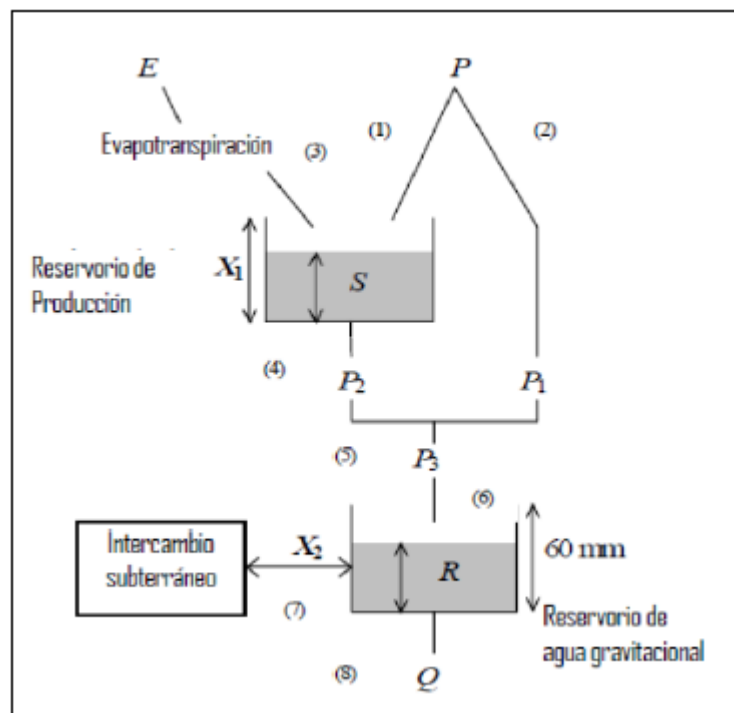
De igual manera, en el contexto de Dr. Perú, Waldo Lavado de SENAMHI compara este modelo con los modelos ABCD y Vandewiele de la cuenca del Amazonas e identifica el mejor modelo en la categoría de modelos mensuales que requieren datos de entrada y buen ajuste de simulación.

Alcances

El modelo GR2m es un modelo agregado que se ejecuta en intervalos de tiempo mensuales y ha sido propuesto para flujos de precipitación y evapotranspiración, con el propósito de aplicarse también al nivel de presas y diques en cuanto a la planificación agrícola.

La estructura de este modelo consta de dos partes y se describe a continuación. El flujo de entrada al depósito de gravedad es instantáneo al principio y se vacía gradualmente con el tiempo. El nivel de este embalse determina la corriente que emite.

Figura 9
Modelo GR2m estructura



Fuente: (Cabrera, 2013)

De acuerdo con este diagrama, P es la precipitación promedio de P_1 es la escorrentía desde la superficie, E es la evapotranspiración, P_2 es la percolación profunda, S es la deposición de almacenamiento del suelo en el comienzo del período de análisis, es el almacenamiento del depósito de agua por gravedad al comienzo del período de análisis y Q el flujo en la cuenca.

Se supone que la capacidad máxima de almacenamiento del reservorio del suelo X_1 y la del reservorio de gravedad es de 60 mm.

Descripción de los parámetros de entrada y los métodos para la transformación del modelo

En este modelo, que depende de dos parámetros, X_1 es la capacidad máxima de almacenamiento en mm y X_2 es el coeficiente de intercambio de agua subterránea adimensional.

Función de Producción

Si nos guiamos de las Figuras mostradas anteriormente, se muestra que inicia de la precipitación que es absorbida por el reservorio de suelo y otra P_1 , luego se dirige al reservorio de agua gravitacional (siendo agua contenida en el suelo y que se encuentra en el punto de saturación y capacidad de campo, luego es fácilmente drenado por la gravedad). Siendo así el nuevo volumen de agua S_1 de la siguiente forma:

$$S_1 = \frac{S + X_1\varphi}{1 + \varphi \frac{S}{X_1}}$$

Donde:

X_1 : es la capacidad del reservorio del suelo.

φ : siendo el coeficiente de producción

$$\varphi = \tan^{-1}\left(\frac{P}{X_1}\right)$$

Si se supone que no existe pérdidas, entonces el volumen de agua previo a la infiltración debe ser igual que el que se obtenga después de ello. Por lo mismo:

$$P_1 = P + S + S_1$$

Para un segundo propósito, el reservorio-suelo la cual se encontraría afectada por medio de la evapotranspiración y de esa forma reduce su volumen a S2: siendo esto el nuevo volumen que se halla de la siguiente forma:

$$S_2 = \frac{S_1(1 - \psi)}{1 + \psi(1 - \frac{S}{X_1})}$$

Donde:

$$\psi = \tan^{-1}\left(\frac{E}{X_1}\right)$$

ψ : Coef. De transferencia

Por parte de ese nuevo volumen S2, la cual se tendría que transferir al reservorio de agua gravitacional y luego se convertirá en volumen inicial el remanente S para realizar el periodo de análisis siguiente. Siendo de esta forma:

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

Luego para el volumen de agua P2 se tiene que estimar como una diferencia entre S2 y S de la siguiente forma:

$$P_2 = S_2 - S$$

Función de Transferencia

La función de transferencia del modelo está gobernada por un segundo reservorio llamado reservorio de agua gravitacional, donde la entrada es al comienzo del paso de tiempo, luego el depósito se vacía gradualmente. El nivel de este reservorio determina el caudal que se puede liberar. Conociendo el volumen de agua que se filtra, la precipitación efectiva que ingresa al reservorio de agua gravitacional será:

$$P_3 = P_1 + P_2$$

Dado que para el reservorio de agua gravitacional que cuenta con un volumen inicial R , su nuevo volumen será:

$$R_1 = R + P_3$$

Pero dado que se muestra un intercambio de volúmenes, para un nivel sub superficial dicho volumen de reservorio se logra rectificar por un valor de X_2

$$R_2 = X_2 R_1$$

Por último, el reservorio de agua gravitacional se llega a vaciar para seguir una función cuadrática y nos da resultados de caudal de salida:

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

Consideraciones especiales

Para alimentar el modelo hidrológico, es necesario brindar información de las variables climáticas a nivel areolar, mediante el módulo espacial Hydraccess se utilizó para determinar los valores areolares de precipitación.

Los dos parámetros a optimizar son: X1, capacidad embalse-suelo en milímetros y X2, coeficiente de intercambio subterráneo.

2.2.5.6. TEMEZ

Modelo de Témex creado por el Ing. J.R. Temez de la Dirección General de Carreteras de España tiene una larga historia de solicitar evaluaciones de la calidad del agua en el país.

"Este modelo pertenece al grupo de los llamados modelos de simulación de pelvis agregada".

"Gama de modelos"

El modelo de Témex es un modelo de flujo de precipitación mensual simplificado, y el desarrollo teórico del modelo es aplicable a prácticamente cualquier intervalo de tiempo, validando que el periodo de uso proporciona una respuesta acorde con la realidad física del sistema que necesita para hacerlo.

Este es un modelo que considera muy poco, pero tiene la experiencia suficiente para aplicarlo.

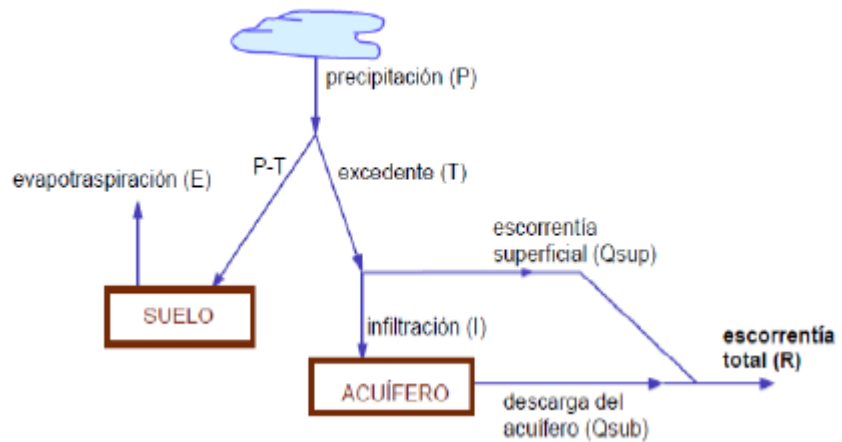
Tiene un número reducido de parámetros, por lo que está especialmente indicado para piscinas con un número reducido de parámetros.

"Descripción de los parámetros de entrada y métodos de transformación del modelo"

El modelo funciona estableciendo un balance de humedad entre los diversos procesos de transporte de agua que ocurren en el sistema hidrológico durante las diferentes etapas de la hidrología. Todo el proceso está regido y gobernado por los principios de partición y transferencia entre varias condiciones de equilibrio. (Paredes, Solera, Andreu, & Lema, 2014)

Figura 10

Esquema y almacenamiento del flujo y modelo de Temez



Fuente: (Paredes, Solera, Andreu, & Lema, 2014)

La escorrentía total es la suma de la fracción del subsuelo, que es la fracción de precipitación que no se infiltra ni se evapora.

Los componentes del subsuelo, por otro lado, surgen de un modelo "único"

Las variables en el modelo (un valor por mes) son:

- P : precipitación total observada [mm].
- EP : evapotranspiración potencial [mm].
- δ : déficit máximo de humedad del suelo [mm].
- Po : déficit de humedad del suelo modificado [mm].
- H : humedad del suelo [mm].
- T : excedente de agua [mm].
- E : evapotranspiración real [mm].
- I : infiltración (recarga del acuífero).
- $Qsup$: escorrentía superficial calculada [m³/s].
- $Qsub$: escorrentía subterránea calculada [m³/s].
- R : escorrentía total calculada [m³/s].

Según las etapas del ciclo hidrológico, parte de la T de la precipitación P es finalmente drenada y sale del río, mientras que el resto continúa aportando evapotranspiración después de entrar en la zona de humedad del suelo.

El exceso de T se reparte entre la parte que fluye sobre la superficie y la parte que se filtra al acuífero.

La primera se descarga por el canal en el intervalo actual, pero el agua infiltrada es absorbida por un acuífero que forma parte del intervalo actual y luego sale del embalse y fluye bajo tierra.

Los parámetros estimados son:

- H_{max} : capacidad máxima de almacenamiento de humedad del suelo [mm].
- C : parámetro de excedente [adimensional].
- $I_{máx}$: capacidad máxima de infiltración [mm].
- α : coeficiente de recesión del acuífero [1/mes].
- Los valores iniciales por establecer son:
- H_0 : humedad inicial en el suelo [mm].
- V_0 : almacenamiento inicial en el acuífero [mm]

Se mostrará las ecuaciones del modelo que regula el proceso de transferencia hídrica y el ciclo hidrológico.

Calculo Excedente:

Se considera que una fracción del agua que precipita sobre el suelo se almacena en la zona superior del suelo, que el resto, el excedente, se reparte entre el aporte superficial y la infiltración a el acuífero o la recarga.

El excedente total (T_t) se calcula según la siguiente ley:

$$T_t = 0 \quad \text{si } P_t \leq P_0$$
$$T_t = \frac{(P_t - P_0)^2}{P_t - \delta_t - 2P_0} \quad \text{si } P_t > P_0$$

Donde:

$$\delta = H_{max} - H_{t-1} + EPT_t$$
$$P_0 = C (H_{max} - H_{i-1})$$

Siendo:

H_{max} es la capacidad máxima de almacenamiento del suelo, depende de las características del suelo y de la evapotranspiración de la vegetación que se produzca.

El valor de H_{max} aumenta al mismo tiempo como factores que facilitan la retención de agua en el suelo el espesor del suelo drenable por evapotranspiración.

Almacenamiento de agua H_{t-1} en el suelo en $t-1$.

EPT_t es la evapotranspiración potencial en el intervalo de tiempo t .

Esta es la evapotranspiración máxima que ocurriría en condiciones óptimas.

C es el coeficiente inicial del excedente.

Un factor adimensional , que toma valores en torno a 0,30 y define el inicio de la escorrentía antes de alcanzar el máximo H_{max} del suelo.

Por lo tanto, cuando la cantidad de lluvia es menor que toda el agua de lluvia es almacenada en forma de humedad del suelo, es probable que se convierta en evapotranspiración, y el excedente total es cero.

Calculo superficial del almacenamiento e infiltración

Después de estimar el T_t (excedente), la humedad que el suelo proporciona al final se obtiene de la siguiente forma para cada mes:

$$H_t = \max \left\{ H_{t-1} + P_t - T_t - ETP_t, 0 \right\}$$

Esto representa un cierre en el balance del agua que queda en el suelo y la ETP, si se obtiene un resultado negativo referente a la humedad del suelo se tiene al final que es un periodo nulo y su evapotranspiración tiene un potencial que no se haya desarrollado en su totalidad.

La evapotranspiración real que se produce siendo el ET_t se calcula de la siguiente forma:

$$ET_t = \min \left\{ H_{t-1} + P_t - T_t, ETP_t \right\}$$

Cuando se tiene una cantidad suficiente de agua en el suelo, la evapotranspiración que se elabora puede alcanzar una potencial. Pero si no alcanza eso la humedad del suelo llega a ser nulo al final de cada mes.

Para la infiltración de un acuífero, que tiene una función excedente y ciertamente un parámetro que está mostrado por una infiltración máxima (I_{max}) eso expresa una cantidad máxima de

agua, el cual pueda infiltrarse en un mes en el terreno, mediante la siguiente formula:

$$I_t = I_{max} \cdot \frac{T_t}{T_t + I_{max}}$$

De la expresión anterior se muestra que a medida que el excedente incrementa de cierta forma también lo hace la infiltración y eso tiende a ser asintótico en su máximo. Para la infiltración máxima que no depende únicamente de las propiedades que se encuentren en el terreno, pero sí depende de la intensidad y concentración de precipitaciones que suelen tener valores entre 100 mm/mes y 400 mm/mes, eso depende de la lluvia que es esporádico pero que no se tiene que considerar como un límite para el calibramiento del modelo.

Aportación Superficial

$$A_{sup_t} = T_t - I_t$$

Aportación Subterránea

$$Q_t = \alpha \cdot V_t$$

Donde:

α es una constante con dimensiones de [T-1]

“si se aplica al acuífero una ecuación de balance de masa es representado por una ecuación diferencial ordinario”:

$$I_t - Q_t = \frac{dV_t}{dt}$$

Donde:

- $I(t)$ son las entradas al acuífero en el tiempo t (recargas)
- $O(t)$ son las salidas del acuífero en el tiempo t (extracciones)
- $V(t)$ es el volumen almacenado en el acuífero en el tiempo t

“Sustituyendo la primera ecuación en la segunda y considerando $R(t)$ como el caudal de recarga neta al acuífero en el tiempo t se tiene”:

$$R_t - \alpha \cdot V_t = \frac{dV_t}{dt}$$

“La resolución de esta ecuación diferencial conduce, para la condición inicial de volumen inicial de acuífero, V_0 y para un caudal de recarga constante R ”, a:

$$V_t = V_0 e^{-\alpha \cdot t} + \frac{R}{\alpha} (1 - e^{-\alpha t})$$

“Expresando el volumen como una función del caudal y haciendo $R=0$ se obtiene una expresión que representa la curva de agotamiento del acuífero”:

$$Q_t = Q_0 \cdot e^{-\alpha t}$$

2.3. DEFINICIONES CONCEPTUALES

Hidrología: En 1961, Merriam y Webster describieron la hidrología como "la ciencia que estudia las propiedades, la distribución y la circulación del agua en la superficie de la tierra, en los suelos, debajo de las rocas y en la atmósfera, en relación con la evaporación y la precipitación" Mejía (2012)

Precipitación: Toda clase de agua cae a la superficie de la tierra. Varias formas de precipitación incluyen llovizna, lluvia, nieve, granizo, agua, nieve y lluvia helada. Robayo (2014).

Modelación Hidrológica: El modelado hidrológico se remonta a principios del siglo XIX y se utilizó en el diseño de acueductos, y hasta mediados del siglo XX se limitó a expresiones matemáticas simples que representaban los mecanismos individuales involucrados en los procesos del ciclo del agua. Robayo (2014).

Hidrometría: Un hidrómetro se encarga de medir, registrar, calcular y analizar la cantidad de agua que circula en una sección transversal de un río, canal o tubería en una unidad de tiempo. Ergueta (2016).

Caudal : En hidrografía, hidrología, hidrometría y geografía física en general se denomina caudal a la cantidad de agua que circula en el cauce de un río o canal en un lugar y momento determinado. Ergueta (2016).

Drenaje de la cuenca: El análisis de la red de drenaje de la cuenca; propone la aplicación de las leyes de valores extremos en los estudios hidrológicos. Gumbel (1941)

2.4. HIPÓTESIS

2.4.1. HIPÓTESIS GENERAL

H1: Si los modelos de GR2M y Témez son aptos para mostrar el comportamiento de un proceso de lluvia escorrentía en la cuenca del río Huallaga.

2.5. VARIABLES

2.5.1. VARIABLE DEPENDIENTE

Modelos de GR2M y Témez.

Indicadores:

- Pendiente
- Área de cuenca
- Densidad de drenaje

2.5.2. VARIABLE INDEPENDIENTE

Proceso de Lluvia escorrentía.

Indicadores:

- Cuenca
- Duración

2.6. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

Tabla 1

Sistema de variables-dimensiones e indicadores

VARIABLE	DIMENSIÓN	INDICADOR	TIPO DE VARIABLE	ESCALA DE MEDICIÓN
V. dependiente Modelos de GR2M y Témez.	<ul style="list-style-type: none"> • Fenómenos demográficos de localización • Estudio Hidráulico • Factor climatológico 	<ul style="list-style-type: none"> • Pendiente • Densidad de drenaje • Área de cuenca 	Cuantitativa.	Discreta
V. independientes Proceso de lluvia escorrentía.	Estaciones del Senamhi	<ul style="list-style-type: none"> • Cuenca • Duración 	Cuantitativa.	Discreta.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN

3.1.1. ENFOQUE

Este trabajo, se enfocó en la comparación de los modelos empleados para identificar el comportamiento del proceso de lluvia escorrentía siguiendo así pocos parámetros de media para la recolección de datos, según Hernández (2014) “la definición de este tipo de concepto se puede referenciar como una investigación de tipo cuantitativo”.

Por lo dicho anteriormente, tiene como enfoque ser cuantitativo, por que utiliza la recolección de datos con el fin de corroborar la hipótesis.

3.1.2. ALCANCE O NIVEL

Según Hernandez (2014), “Tiene una intención descriptiva lo que nos quiere decir es que describe la utilidad al mostrar con precisión” “los ángulos o dimensiones de un fenómeno, suceso, comunidad, contexto o situación”. Para esta clase de estudios el tesista tiene que ser capaz “de definir, o al menos visualizar, qué se medirá (qué conceptos, variables, componentes, etc.)” y también saber “sobre qué o quiénes se recolectarán los datos (personas, grupos, comunidades, objetos, animales, hechos).” (pág. 92).

Por ello la tesis es de carácter descriptiva debido a que trata de mostrar los modelos adecuados para poder determinar el comportamiento del proceso de lluvia escorrentía.

3.1.3. DISEÑO

Según Hernandez (2014), se sabe que una “investigación si tiene de diseño no experimental, hay ciertos requisitos que tiene que cumplir”

como es que en la “elaboración no se debe manipular ni se experimentar”, de la misma forma en que la “interacción que poseen las cambiantes entre si se proporcionan de forma usual y se analizan de tal forma en cómo se suscitan los casos” (pág. 152).

El diseño del trabajo de investigación es No Experimental, debido que no cambia ningún dato que se emplee para el estudio de este trabajo de investigación y por ende no sufrió cambio alguno.

3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA

3.2.1. POBLACIÓN

“La población tiene como dimensión todos aquellos elementos los cuales ostentan una gran variedad” de “características similares y estos pueden estar compuestos por objetos, individuos o dimensiones que se presentan”, Hernandez (2014).

Por lo tanto, la población para mi trabajo de investigación es la cuenca del rio Huallaga, en el distrito de Huánuco, en la región de Huánuco.

3.2.2. MUESTRA

Según Tamayo (2004), “La muestra está formada por un conjunto pequeño de individuos” que se saca del “total de la población para posteriormente ser investigada y estudiada de forma continua” (pág. 38). Si nos guiamos en lo anterior se puede concluir que en la muestra el propósito es hallar las características específicas que tiene la población de acuerdo a ciertas propiedades. Por ello, se tiene como muestra los datos que se obtienen de la población de la cuenca del Huallaga, en el distrito de Huánuco de la región de Huánuco.

3.3. TÉCNICAS E INSTRUMENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS

3.3.1. PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS

Para la recolección de datos de este estudio se tuvo como referencia al “proceso en la obtención de información de manera no experimental “la cual posibilite medir “las cambiantes de las unidades de estudio, con el objetivo de conseguir los datos indispensables” para “el análisis del problema en el aspecto de la verdad social fundamento de averiguación”, según Hernandez (2014).

Este estudio utilizó técnicas de observación y análisis de investigación que, a través del uso y revisión de recursos, datos y recopilación de datos, estas técnicas pretenden ayudar a recopilar la información necesaria para la investigación.

Se sabe que la investigación requirió la recolección de datos obtenidos a través del uso correcto de extraer del SENAMHI.

Según Hernández (2014), “Las herramientas o instrumentos para un estudio de investigación son los recursos en la cual el investigador pueda usar para abordar inconvenientes, fenómenos y sustraer información de los mismos como: cuestionarios en papel, dispositivos mecánicos y electrónicos que se emplean para la recolección de datos o información sobre un algún problema o fenómeno definido.”

Los instrumentos que se utilizó son:

- Cuadros y hojas de tablas estadísticas
- Fórmulas matemáticas

3.3.2. PARA LA PRESENTACIÓN DE DATOS

- Hojas de Excel y tablas tomadas del senamhi

3.3.3. TÉCNICAS PARA EL PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS

Para la recolección de datos de la cuenca se tomaron de los estudios del senamhi.

Para la recolección de los datos de precipitación se hizo uso de estaciones cercanas.

Para el procesamiento de datos se realizaron usando fórmulas empíricas, hojas de Excel en las cuales, a través del formato de este programa de Microsoft, se han ingresado las fórmulas requeridas para el proceso.

Análisis de datos

Luego del procesamiento, se hizo uso de los métodos empíricos de los modelos respectivos para obtener el comportamiento del proceso de lluvia escorrentía con todas las fórmulas posibles y de la misma forma para cada modelo y así se realizó una comparación de cada uno de ellos y ver cuál es el más apto.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS

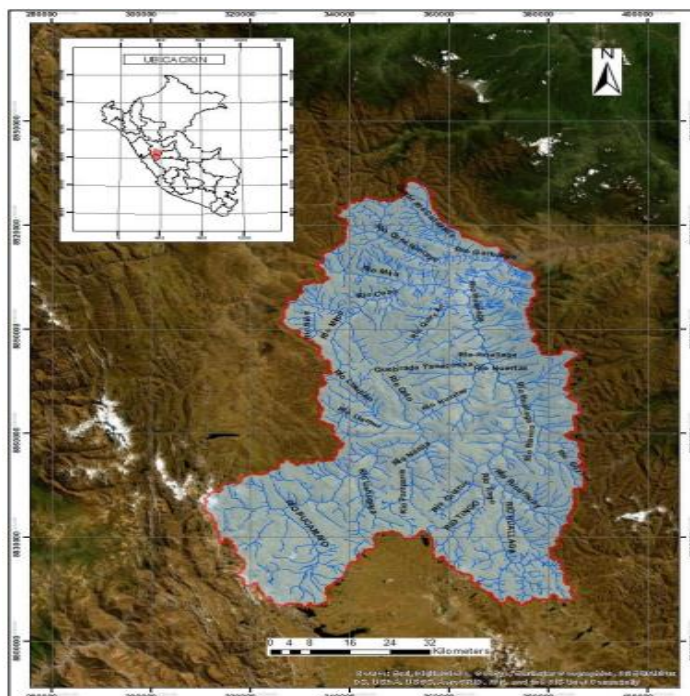
4.1. PROCESAMIENTO DE DATOS

Descripción de la Cuenca en estudio

La cuenca del río Huallaga forma parte del Amazonas para la cuenca superior. El río Huallaga se considera como uno de los más extensos ríos del Perú la cual tiene una longitud de 1.138 km, y la cuenca hidrográfica completa cuenta con un área de 95.000 km². Este río se encuentra en el centro del país, la cual pasa por dos regiones de Huánuco y Pasco. Los afluentes del río son: el río Tingo, Condoragan, Chaupihuaranga, Coquin Y Quio. Pero exactamente en la región de Huánuco recibe aguas de los siguientes ríos: Huancachupa, Higueras, Garbanza, Acomayo y Chinobamba.

Figura 11

Cuenca en estudio



Fuente: Senamhi, (2018)

Para el procesamiento de los datos se necesitan las precipitaciones para así emplear los diferentes métodos de análisis comparativos, por ende, las estaciones usadas y su periodo de tiempo son las siguientes:

Tabla 2

Estaciones cercanas a la zona de interés

Nº	ESTACION	ESTE	NORTE	ALTITUD msnm	PERIODO
1	HUANUCO	363133.64	8899635.57	1947	1965-2018
2	DOS DE MAYO	305424.82	8925374.45	3613	1965-2018
3	CARPISH	381115.42	8931222.15	1950	1965-2018
4	CHAGLLA	401279.97	8912851.49	2800	1965-2018
5	JACAS CHICO	335500.31	8907086.09	3673	1965-2018
6	CANCHAN	358801.63	8899964.28	2250	1965-2018
7	TINGO MARIA	390126.89	8970885.46	660	1965-2018
8	YANAHUANCA	334434.56	8840056.48	3150	1965-2018
9	OYON	306538.10	8820210.77	3667	1965-2018
10	PICOY	310165.10	8792142.10	2920	1965-2018
11	AMBO	372152.38	8879585.84	3025	1965-2018
12	SAN RAFAEL	371182.14	8857947.86	2722	1965-2018
13	CERRO DE PASCO	363265.56	8817620.93	4260	1965-2018

Fuente: Senamhi, (2018)

Una estación dentro de la ciudad de Huánuco, en nuestra zona de estudio o que cuenta con una altitud similar es la estación de Taruca.

Tabla 3

Estacion Hidro

ESTACION	UBICACION	ESTE	NORTE	ALTITUD msnm	PERIODO
TARUCA	RÍO HUALLAGA	373686.6	8910924	1967	1965-1981 2014-2018

Fuente: Senamhi, (2018)

Las cuales tienen datos de precipitación de todos los años desde 1965 hasta 2018, facilitando así el proceso.

Descripción de los Parámetros Geomorfológicos

Tabla 4

Datos morfométricos

Área (A)	5580.72 Km
Perímetro (P)	531.63 km
Coefficiente de orografía	0.00254
Índice de Compacidad o Coeficiente de Gravellius (Kc)	1.99

Fuente: Senamhi, (2018)

Para la caracterización de una cuenca fue necesario establecer las características geomorfológicas y de índices relevantes de la cuenca y con ello establecer los valores característicos con lo cual se puedan interpolar los valores de precipitación.

Tabla 5

Relación de Altitudes

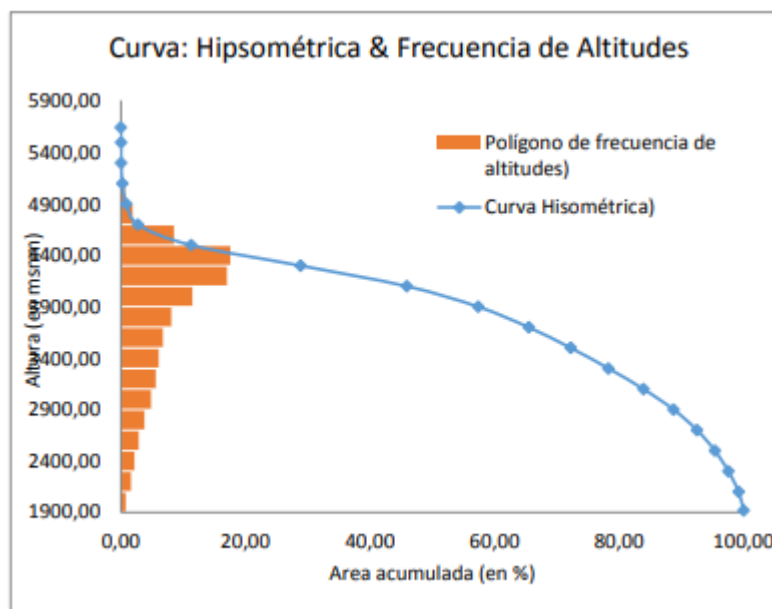
Nro	Cota (msnm)				Área (km2)		
	mínimo	máximo	prom	intervalo	Acumulado	% Acum	% Inter
1	1839	2000	1919.5	44.4	5580.71	100.00	0.80
2	2000	2200	2100	91.39	5536.31	99.20	1.64
3	2200	2400	2300	121.14	5444.92	97.57	2.17
4	2400	2600	2500	159.35	5323.78	95.40	2.86
5	2600	2800	2700	211.07	5164.43	92.54	3.78
6	2800	3000	2900	270.29	4953.36	88.76	4.84
7	3000	3200	3100	312.48	4683.07	83.92	5.60
8	3200	3400	3300	339.41	4370.59	78.32	6.08
9	3400	3600	3500	375.39	4031.18	72.23	6.73
10	3600	3800	3700	452.72	3655.79	65.51	8.11
11	3800	4000	3900	641.11	3203.07	57.40	11.49
12	4000	4200	4100	950.43	2561.96	45.91	17.03
13	4200	4400	4300	981.96	1611.53	28.88	17.60
14	4400	4600	4500	475.75	629.57	11.28	8.52
15	4600	4800	4700	103.55	153.82	2.76	1.86
16	4800	5000	4900	37.32	50.27	0.90	0.67
17	5000	5200	5100	10.22	12.95	0.23	0.18
18	5200	5400	5300	1.74	2.73	0.05	0.03
19	5400	5600	5500	0.82	0.99	0.02	0.01
20	5600	5691	5645.5	0.17	0.17	0.00	0.00

Se requirió una caracterización de la relación de altitudes con la cual se puedan identificar características similares a la cuenca de interés. Después

con los datos mostrados en la tabla se procede a realizar la curva Hipsometría con la frecuencia de Altitudes para así mostrar en un gráfico todo lo demostrado y calculado anteriormente.

Figura 13

Curva Hipsométrica y Frecuencia de altitudes



Con la caracterización de los valores altitudinales y presentados en la curva hipsométrica se procedió a elaborar los modelos de precipitación con los cuales se pueden caracterizar la cuenca de interés.

Tabla 6

Precipitaciones Mensuales por cada año

ESTACION HUANUCO														
N°	Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Ago	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	max
1	1965	30.9	66.7	77	28.1	4.3	2	4.6	2.3	13.2	17.7	66.3	34.3	77
2	1966	73.4	37	55	3.6	18.7	0.7	0.7	6.9	11.8	38	41.4	96.1	96.1
3	1967	59.3	117.7	99.7	16.9	31.9	4.9	12.8	5.5	15.7	52.4	34.4	47.3	117.7
4	1968	78	78.2	43.3	15.1	1.3	4.9	1.6	15.5	47.2	37.2	10.8	47	78.2
5	1969	75.8	45	28.1	17.8	3.3	7.7	0.9	7.4	13.7	12.5	70.4	64.3	75.8
6	1970	29.4	43.9	36	35.4	8.5	21.4	14.6	0.2	18.2	15.9	50.4	78.1	78.1
7	1971	99.1	37.6	78.6	42.8	10.7	6.1	7.3	11.8	3.4	30	47.2	56.7	99.1

8	19	38.		102	42.	11.								
	72	2	51.8	.3	1	4	0	0	6	26.5	26.6	41.5	29	10
9	19	51.	100.	60.	46.	12.								
	73	5	4	3	4	2	11	9.	34.	1.6	64.5	66.8	151.5	15
1	19			116	70.	2.8								
0	74	58	42.9	.2	9		12.	2.	14.	3.4	15.8	13.5	29.7	11
1	19			74.	14.	48.								
1	75	64	90	2	2	2	8.3	4.	5.1	21.4	60.6	39.8	67.6	90
1	19	66.		14.	6.5	1.6								
2	76	5	64.3	7			0	0	0	5.7	26.4	18.6	33	66.
1	19	45.		46.	54.	24.								
3	77	5	61.8	2	9	6	0.5	2	8.6	36.7	31.5	128.7	60	12
1	19	53.		28.	22.									
4	78	6	27.4	88	3	2	1.6	0.	3	1.7	11.5	27.5	33.9	88
1	19	31.		51.	0	0								
5	79	8	69.3	.1	2		0	3.	0	5.9	60.1	52.1	9.6	18
1	19	68.	175.	14	0	15.								
6	80	9	2	128	9.5	7	7	13.	8	5.9	53.4	38.4	56	17
1	19	30.		49.	19.	8.6	0.6	1.	5.7	7.4	50	97.2	81.7	97.
7	81	6	45.9	7	9			4						2
1	19	10	105.	106	30.									
8	82	9.4	7	.4	1	4	2.4	4.	11.	6	39.7	40	46.9	10
1	19	49.		113	38.									
9	83	2	35.2	.8	3	1	2.9	0.	3.4	4.4	18	36.8	32.7	11
2	19	37.		53.	38.	49.	16.	9.	17.	48.2	7.4	82.1	45.4	82.
0	84	5	55.4	3	5	7	3	4	8					1
2	19	60.		61.	33.	0.3	2.2	0	2.6	22.3	31.3	110.7	48.7	11
1	85	8	63.1	7	5									0.7
2	19	40.		113	9.8	21.	12.	4	15.	12.2	12.9	22.7	56.7	11
2	86	7	83.9	.4		7	9	4	8					3.4
2	19	35.		57	32.	6.3	10.	8.						
3	87	6	65	57	6		7	9	4	11	23.2	37.5	40.2	65
2	19	88.		34.	42.	6.5	0	6.	1.9	9.7	14.5	22.4	25.1	88.
4	88	9	83.8	9	7			2						9
2	19	56.		98.	20.	14.	11.	0	2.5	12	67.9	41.3	59.1	98.
5	89	8	43.8	2	8	8	5							2
2	19	45.		34.	52.	32.	15.	1.	7.1	10.9	86.8	77	59.2	86.
6	90	8	13.5	7	2	6	1	5						8
2	19	25.		93.	29.	3	10.	4.	0	8.5	33.4	40.2	39.6	93.
7	91	7	44.3	4	1	3	1	8						4
2	19	43.		66.	20.	0	14.	0	37.	4	97.4	37.4	21.6	97.
8	92	1	88.7	2	6		4	0	2					4
2	19	18.		76.	25.	16.	12.	6.	6.3	8	17.2	97.3	50.1	97.
9	93	1	40.9	8	9	8	3	1						3
3	19	81.		41.	57.	23.								
0	94	2	57.5	3	6	4	0	0	0	32.7	64.4	20.4	41	81.
3	19	38.		50.	26	3.6	1.4	1.	0.4	7.2	23.2	48.8	59	59
1	95	7	50.4	3				2						
3	19	59.		41.	69.	23	0	0.	5.3	2.3	23.6	57.8	15.7	69.
2	96	5	33.1	7	3			1						3
3	19	54.		26.	15.	9.6	2.2	0	9.6	7.6	29.8	41.5	47.3	54.
3	97	6	41.6	5	1									6
3	19	93.		66.	3.1	2.8	2.1	0	2.8	3.8	29.3	64.5	34	93.
4	98	5	63	9										5
3	19	81.		109	22.	18.	15.	8.	0.6	57.6	20.8	33.8	58.2	10
5	99	7	88.5	.3	3	4	1	6						9.3

36	20	68.2	89.6	148.1	30.3	10.1	16	3.6	17.1	11.9	9.5	61	77.2	148.1
37	20	45.2	36.2	85.2	46.2	10.4	3.3	8.4	10.2	7.4	36.9	72.7	55.8	85.2
38	20	29.5	56.4	83.1	56.5	18.2	2.9	12.8	4.1	8.4	109.8	40.8	21	109.8
39	20	44.7	26.9	70.5	24.6	14.3	0.3	0.1	9.4	12.6	17.1	77.3	83.1	83.1
40	20	33.6	31.7	56.9	31.2	24.8	5.1	5.6	16.7	16.2	28.6	34.8	104.6	104.6
41	20	32.6	45	92.7	12.6	1.4	0	2	8.6	5.8	51.5	26.3	106.9	106.9
42	20	81.9	48.4	112.7	38.6	2	6.2	3.5	2.9	11.4	49.1	66.7	89.1	112.7
43	20	33.9	6.9	81.6	35.8	7.8	1.9	6.7	3.9	4.4	59.2	40.6	70.3	81.6
44	20	29.8	90.8	91.3	36.3	3.6	5.5	0.1	2	33.4	38	50.9	68.1	91.3
45	20	68	72.5	90.8	85.9	14.2	10.3	12.3	4.4	11	44.6	40.2	59.6	90.8
46	20	21.8	85.9	91.6	19	3.4	2.6	4.9	7.2	14.1	26.7	55.1	81.9	91.6
47	20	76.8	64	141.6	43.9	21.1	1.9	1.9	3.7	22.6	67.7	56.6	132.3	141.6
48	20	78.6	55.7	30.1	74.8	13.7	3.8	7.8	3.4	4.9	75	94.5	154.7	154.7
49	20	36.2	90	92	33.6	5.7	10.7	12.5	22.1	6.6	37.8	71.3	76.1	92
50	20	72	94	76	43.1	29.2	6.6	2.9	0.7	28.9	49.7	32.1	84.9	94
51	20	75.6	48.9	62.3	59	37.8	2.8	3.9	2.3	3.1	22.7	71.4	35.3	75.6
52	20	34.7	47.1	67.8	11.6	0.2	0.8	0.2	1.1	1.7	34.3	37.5	70.2	70.2
53	20	72.1	70.9	74	24.6	12.3	4	4.8	5.1	15.9	32.3	49.4	132.1	132.1
54	20	88.5	87.9	85.3	61.4	10.6	12	8.8	2	0	101	81.3	22.5	101

Luego de obtener las precipitaciones máximas se procede a determinar el Log de la misma por cada año, para después calcular la desviación estándar, el promedio de los 54 datos, el coeficiente de variación y coeficiente de asimetría que nos ayudaron para poder calcular las distribuciones de forma teórica y así calcular el delta teórico para determinar las distribuciones de forma teórica y compararla con el delta teórico del programa hidro esta y así poder elegir el más óptimo que represente el modelo de lluvia de interés.

Tabla 7*Datos para determinar las distribuciones*

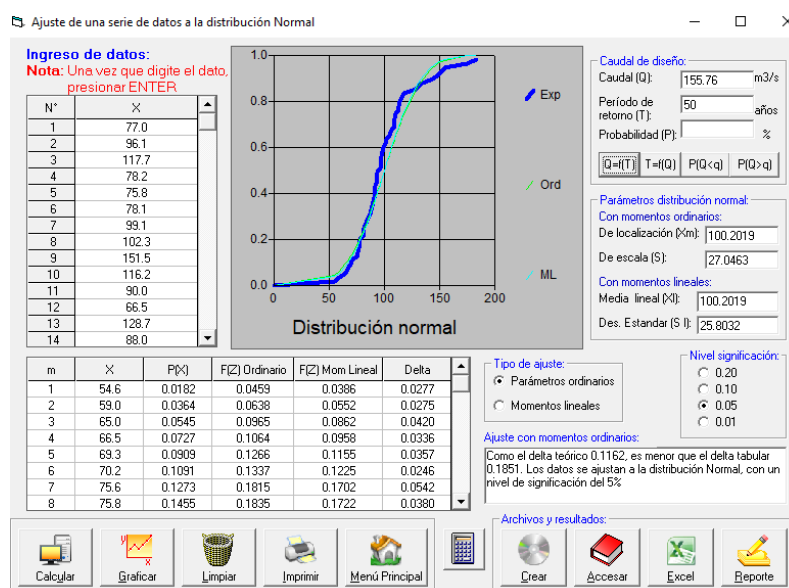
N°	ESTACIÓN	AÑO	Pmáx (mm)	Log P
1	HUANUCO	1965	77	1.886490725
2	HUANUCO	1966	96.1	1.982723388
3	HUANUCO	1967	117.7	2.070776463
4	HUANUCO	1968	78.2	1.893206753
5	HUANUCO	1969	75.8	1.879669206
6	HUANUCO	1970	78.1	1.892651034
7	HUANUCO	1971	99.1	1.996073654
8	HUANUCO	1972	102.3	2.009875634
9	HUANUCO	1973	151.5	2.180412633
10	HUANUCO	1974	116.2	2.065206128
11	HUANUCO	1975	90	1.954242509
12	HUANUCO	1976	66.5	1.822821645
13	HUANUCO	1977	128.7	2.109578547
14	HUANUCO	1978	88	1.944482672
15	HUANUCO	1979	183.1	2.262688344
16	HUANUCO	1980	175.2	2.243534102
17	HUANUCO	1981	97.2	1.987666265
18	HUANUCO	1982	109.4	2.039017322
19	HUANUCO	1983	113.8	2.056142262
20	HUANUCO	1984	82.1	1.914343157
21	HUANUCO	1985	110.7	2.044147621
22	HUANUCO	1986	113.4	2.054613055
23	HUANUCO	1987	65	1.812913357
24	HUANUCO	1988	88.9	1.948901761
25	HUANUCO	1989	98.2	1.992111488
26	HUANUCO	1990	86.8	1.938519725
27	HUANUCO	1991	93.4	1.970346876
28	HUANUCO	1992	97.4	1.988558957
29	HUANUCO	1993	97.3	1.98811284
30	HUANUCO	1994	81.2	1.909556029
31	HUANUCO	1995	59	1.770852012
32	HUANUCO	1996	69.3	1.840733235
33	HUANUCO	1997	54.6	1.737192643
34	HUANUCO	1998	93.5	1.970811611
35	HUANUCO	1999	109.3	2.038620162
36	HUANUCO	2000	148.1	2.170555059
37	HUANUCO	2001	85.2	1.930439595
38	HUANUCO	2002	109.8	2.04060234
39	HUANUCO	2003	83.1	1.919601024
40	HUANUCO	2004	104.6	2.019531685
41	HUANUCO	2005	106.9	2.028977705

42	HUANUCO	2006	112.7	2.051923916
43	HUANUCO	2007	81.6	1.911690159
44	HUANUCO	2008	91.3	1.960470778
45	HUANUCO	2009	90.8	1.958085849
46	HUANUCO	2010	91.6	1.961895474
47	HUANUCO	2011	141.6	2.151063253
48	HUANUCO	2012	154.7	2.189490314
49	HUANUCO	2013	92	1.963787827
50	HUANUCO	2014	94	1.973127854
51	HUANUCO	2015	75.6	1.878521796
52	HUANUCO	2016	70.2	1.846337112
53	HUANUCO	2017	132.1	2.120902818
54	HUANUCO	2018	101	2.004321374
PROMEDIO (mm)			100.202	1.98664666
DESVIACIÓN ESTÁNDAR			27.046	0.11067840
COEFICIENTE DE VARIACIÓN (C.V.)			0.27	0.055711
COEFICIENTE DE ASIMETRÍA			1.13	0.332531761
K/6			0.188231918	0.05542196
N°			54	54

Después de realizado y calculado las precipitaciones máximas y todos los datos necesarios para poder así emplear las distribuciones, siendo estas desarrolladas en el programa Hidro Esta, la cual se hizo en un periodo de 50 años y nos mostró los siguientes resultados, (en los anexos se pondrá el paso a paso de cómo se ingresó los datos).

Figura 14

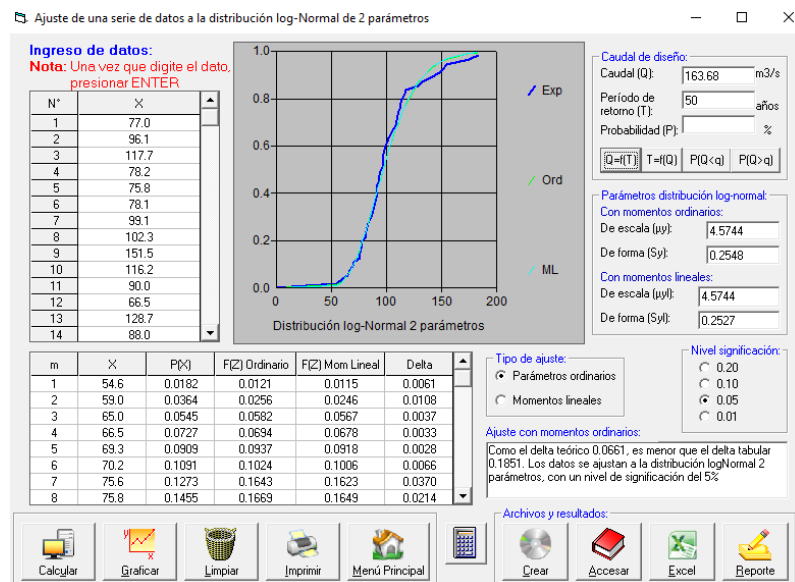
Ajuste de una serie de datos a la distribución Normal



La distribución normal es un tipo de distribución que se explica en el marco teóricos, para la cual el programa nos muestra los siguientes resultados para un periodo de retorno (T) de 50 años se tiene un caudal (Q) de 155.76 m³/s, considerando también el delta teórico de 0.1162 y que el delta tabular de 0.1851, al mostrar que el delta teórico es menor se tiene que su nivel de significación es de 5%. El delta teórico es importante para con ello realizar la prueba de bondad y así elegir la mejor distribución para poder estimar los datos.

Figura 15

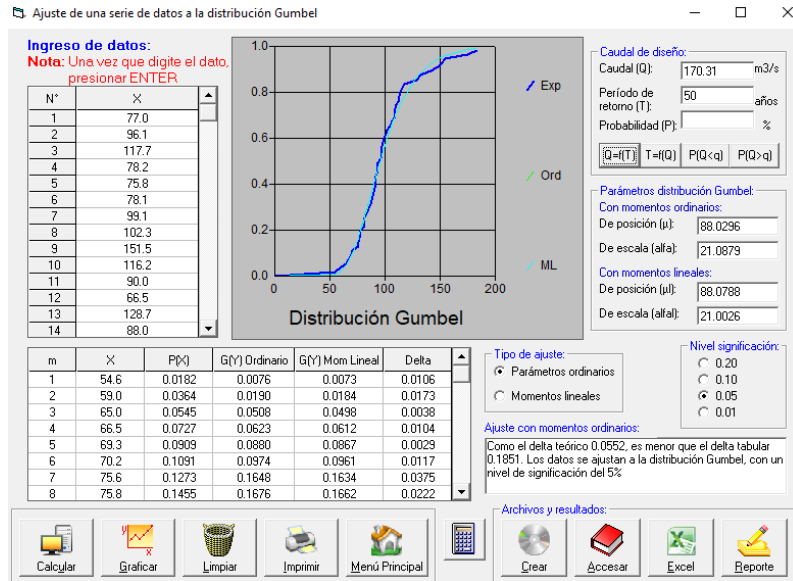
Ajuste de una serie de datos a la distribución log-Normal de 2 parámetros



La distribución log-Normal 2 parámetros es un tipo de distribución que se explica en el marco teórico, para la cual el programa nos muestra los siguientes resultados para un periodo de retorno (T) de 50 años se tiene un caudal (Q) de 163.68 m³/s, considerando también el delta teórico de 0.0661 y que el delta tabular de 0.1851, al mostrar que el delta teórico es menor se tiene que su nivel de significación es de 5%. El delta teórico es importante para con ello realizar la prueba de bondad y así elegir la mejor distribución para poder estimar los datos.

Figura 16

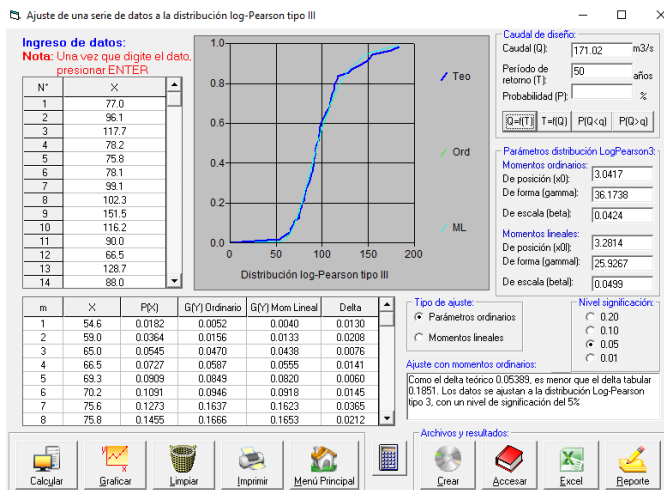
Ajuste de una serie de datos a la distribución Gumbel



La distribución Gumbel es un tipo de distribución que se explica en el marco teóricos, para la cual el programa nos muestra los siguientes resultados para un periodo de retorno (T) de 50 años se tiene un caudal (Q) de 170.31 m³/s, considerando también el delta teórico de 0.0552 y que el delta tabular de 0.1851, al mostrar que el delta teórico es menor se tiene que su nivel de significación es de 5%. El delta teórico es importante para con ello realizar la prueba de bondad y así elegir la mejor distribución para poder estimar los datos.

Figura 17

Ajuste de una serie de datos a la distribución log-Pearson tipo III



La distribución log-Pearson tipo III es un tipo de distribución que se explica en el marco teóricos, para la cual el programa nos muestra los siguientes resultados para un periodo de retorno (T) de 50 años se tiene un caudal (Q) de 171.02 m³/s, considerando también el delta teórico de 0.05389 y que el delta tabular de 0.1851, al mostrar que el delta teórico es menor se tiene que su nivel de significación es de 5%. El delta teórico es importante para con ello realizar la prueba de bondad y así elegir la mejor distribución para poder estimar los datos.

Después de obtenido los datos del delta teórico del programa Hidro Esta, se procede a realizar la prueba de bondad para determinar el delta teórico de manera teórica con las fórmulas necesarias para cada método, por ello se obtuvo lo siguiente:

Tabla 8

Prueba de KS para la DN

Prueba Kolmorov - Smirnov para Distribución Normal							
Intervalo	Probabilidad	z	Normal LS (mm.)	Nº Datos	Frec. Rango	Frec. Acum	Δ
1	0.143	- 1.06757	71.3280	6	0.111	0.111	0.0317
2	0.286	- 0.56595	84.8950	9	0.167	0.278	0.0079
3	0.429	- 0.18001	95.3332	12	0.222	0.500	0.0714
4	0.571	0.18001	105.0705	9	0.167	0.667	0.0952
5	0.714	0.56595	115.5087	8	0.148	0.815	0.1005
6	0.857	1.06757	129.0757	3	0.056	0.870	0.0132
7	1.000		183.1000	7	0.130	1.000	0.0000
					54	1.000	
Se toma el máximo del valor de Δ=							0.1005

Tabla 9

Prueba de KS para la DLN

Prueba Kolmorov - Smirnov para Distribución Log Normal								
Intervalo	Probabilidad	z	Log Ls	LN LS (mm.)	Nº Datos	Frec. Rango	Frec. Acum	Δ

1	0.143	-	1.868	73.873	6	0.111	0.111	0.031
		1.0675	5	7				7
2	0.286	-	1.924	83.947	9	0.167	0.278	0.007
		0.5659	0	6				9
3	0.429	-	1.966	92.623	9	0.167	0.444	0.015
		0.1800	7	9				9
4	0.571	0.1800	2.006	101.52	10	0.185	0.630	0.058
		1	6	43				2
5	0.714	0.5659	2.049	112.01	7	0.130	0.759	0.045
		5	3	73				0
6	0.857	1.0675	2.104	127.29	5	0.093	0.852	0.005
		7	8	27				3
7	1.000		1.986	183.10	8	0.148	1.000	0.000
			6	00				0
					54	1.000		
Se toma el máximo del valor de Δ=								0.058
								2

Tabla 10

Prueba de KS para la distribución de LP

Prueba Kolmorov - Smirnov para Distribución Log Pearson									
Interv alo	Probabili dad	z	Kt	Log Ls	LP	N° Dat os	Frec. Rango	Frec. Acum	Δ
					LS (mm.)				
1	0.143	-	-	1.86	74.119	6	0.111	0.111	0.03
		1.067	1.05	99	2				17
2	0.286	-	-	1.92	83.217	9	0.167	0.278	0.00
		0.565	0.60	02	7				79
3	0.429	-	-	1.96	91.396	7	0.130	0.407	0.02
		0.180	0.23	09	1				12
4	0.571	0.180	0.12	2.00	100.12	11	0.204	0.611	0.03
		01	5	05	25				97
5	0.714	0.565	0.52	2.04	110.85	8	0.148	0.759	0.04
		95	5	48	74				50
6	0.857	1.067	1.07	2.10	127.37	5	0.093	0.852	0.00
		57	0	51	12				53
7	1.000				183.10	8	0.148	1.000	0.00
					00				00
						54	1.000		
Se toma el máximo del valor de Δ=								0.04	
								50	

Después de obtener los deltas teóricos de la prueba de Kolmogorov y del programa Hidroesta se procede a realizar una comparación de los

métodos y así determinar que delta teórico es el menor y elegir la mejor distribución.

Tabla 11

Comparación de los deltas teóricos

HIDROESTA EL DELTA TEÓRICO		Prueba Kolmogorov-Smirnov para Distribuciones
Normal	0.116200000	0.1005
Log Normal	0.066100000	0.0582
Log Pearson	0.053890000	0.0450
Gumbel	0.055200000	-

En la tabla anterior se observa que el menor es de log Pearson en los dos métodos por ello se elige esta distribución para así determinar las intensidades.

Una vez realizadas las intensidades en la hoja Excel (ver en anexos) para un periodo de retorno de 50 años y la precipitación máx de 171.02 que se obtiene del Hidroesta de la distribución de Log Pearson (revisar las distribuciones del Hidroesta), se obtiene lo siguiente:

Tabla 12

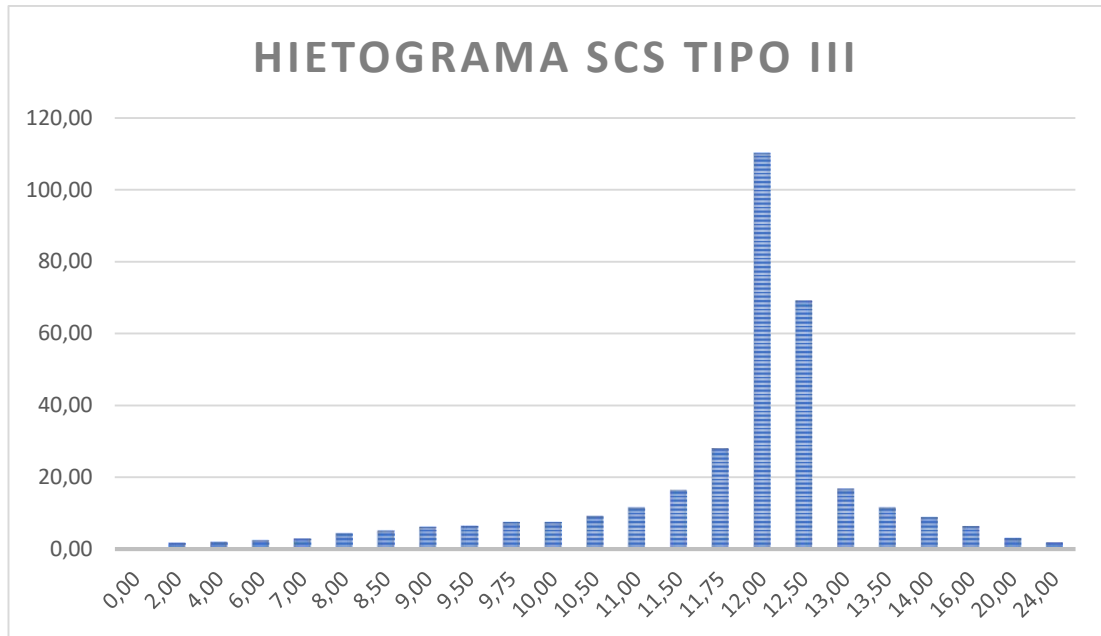
Intensidades y los tiempos de cada uno

N°	TIEMPOS	X	INTENSIDADES
1	5	0.33	152.48
2	20	1.33	95.61
3	40	2.33	72.65
4	60	3	62.34
5	90	4	50.54
6	120	5	41.39
7	180	6	33.91
8	240	7	27.59
9	300	8	22.11
10	360	9	17.28
11	720	10	12.96
12	1440	11	9.05

En el siguiente Hietograma se puede observar mejor las intensidades y así ver cuando se produce una mayor intensidad.

Figura 18

Hietograma



Después de obtener las intensidades se procede a obtener la capacidad de infiltración y así poder calcular el periodo de retorno para después tener el ETP y los caudales medios mensuales para así emplear el análisis por medio de GR2 y el de Temez

Por ende, se obtiene los siguientes datos:

Figura 19

Captura de la Capacidad de infiltración

DATOS:									
Periodo de Retorno (T)	50	años							Dato
Duración de lluvia (D)	120	min.	2.000	horas					Dato
Intensidad (i)	41.391	mm/hr							
Precipitación acum. (P)	82.782	mm.							
Intervalos de lluvia (Ia)	54	min.	0.900	horas					Dato
Número de Intervalos	2								
Precipitación por c/át	37.252	mm.							
Número de Curva (CN)	70								Dato
Abstracción Máxima (S)	108.857	mm.	$S = \frac{25400}{CN} - 254$						
Abstracción Inicial (Ia)	21.771	mm.	$I = 0.20 S$						
AREA DE LA CUENCA	738.100	Km2	738100000 m2						m2
Nº	Tiempo		Perdidas acumuladas					VOLUMEN ESCURRIMIENTO (m3)	CAUDAL SUPERFICIAL (m3/s)
	minutos	horas	P (mm.)	Ia (mm.)	Fa (mm.)	Pa (mm.)	P* (mm.)		
1	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.00	0.00
2	20	0.333	37.252	21.771	13.553	1.927	0.193	1422572.01	1185.48
3	40	0.667	74.504	21.771	35.524	17.208	1.721	12701443.55	5292.27
4	60	1.000	111.755	21.771	49.262	40.721	4.072	30058518.20	8349.03
5	80	1.333	149.007	21.771	58.666	68.570	6.857	50611607.43	10544.08
6	100	1.667	186.259	21.771	65.506	98.362	9.898	73058402.14	12176.40
7	120	2.000	223.511	21.771	70.705	131.034	13.103	96716250.46	13432.81
VOLUMEN DE ESCURRIMIENTO			96716250.46	m3	CAUDAL DE ESCURRIMIENTO			13432.81	m3/s

Después de obtener el volumen de escurrimiento y el caudal del mismo se procede a calcular el periodo de retorno para un periodo de 50 años y una duración de 120 min.

Figura 20

Cálculo de la infiltración y precipitación neta usando el método de la Natural Resources Conservation Service

N°	Tiempo		Pérdidas acumuladas				
	Minutos	Horas	P (mm.)	Ia (mm.)	Fa (mm.)	Pe (mm.)	Pe (cm.)
1	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
2	120	2.000	82.782	21.771	39.098	21.913	2.191
3	240	4.000	165.563	21.771	61.955	81.837	8.184
4	360	6.000	248.345	21.771	73.530	153.044	15.304
5	420	7.000	289.736	21.771	77.410	190.554	19.055
6	480	8.000	331.127	21.771	80.523	228.833	22.883
7	510	8.500	351.822	21.771	81.859	248.192	24.819
8	540	9.000	372.518	21.771	83.074	267.672	26.767
9	570	9.500	393.213	21.771	84.185	287.256	28.726
10	585	9.750	403.561	21.771	84.706	297.084	29.708
11	600	10.000	413.909	21.771	85.204	306.933	30.693
12	630	10.500	434.604	21.771	86.143	326.690	32.669
13	660	11.000	455.299	21.771	87.009	346.519	34.652
14	690	11.500	475.995	21.771	87.812	366.411	36.641
15	705	11.750	486.343	21.771	88.192	376.379	37.638
16	720	12.000	496.690	21.771	88.558	386.360	38.636
17	750	12.500	517.386	21.771	89.253	406.361	40.636
18	780	13.000	538.081	21.771	89.902	426.407	42.641
19	810	13.500	558.777	21.771	90.510	446.495	44.650
20	840	14.000	579.472	21.771	91.079	466.621	46.662
21	960	16.000	662.254	21.771	93.043	547.439	54.744
22	1200	20.000	827.817	21.771	95.905	710.141	71.014
23	1440	24.000	993.381	21.771	97.890	873.719	87.372

Después de obtener todos los datos necesarios, se procede a calcular el coeficiente de escorrentía de los 12 meses los cuales los datos varían desde el 0.18 hasta el 0.99, con el fin de corroborar que las zonas que cuentan con una cobertura abundante pueden mostrar un coeficiente mucho menor, que con el que tiene una cobertura menor o poca de lo normal. De la misma forma

hay lugares que tienen escasas coberturas y por lo dicho anteriormente tiene una escorrentía alta, siendo esta una relación alta entre las precipitaciones y la forma de generar caudales. Por ello se deduce que los valores obtenidos más altos se refieren a las áreas rocosas y zonas urbanas.

Los valores de escorrentía son los siguientes:

Tabla 13

Coefficientes de escorrentía

Mes	Coefficientes de escorrentía
Enero	0.29-0.96
Febrero	0.28-0.92
Marzo	0.3-0.99
Abril	0.27-0.89
Mayo	0.30-0.99
Junio	0.30-0.99
Julio	0.30-0.99
Agosto	0.30-0.99
Setiembre	0.30-0.99
Octubre	0.18-0.59
Noviembre	0.24-0.69
Diciembre	0.20-0.67

Después de estimar los coeficientes de escorrentía se procede a realizar una estimación de los caudales y de la etp (evapotranspiración) que se usaran para los métodos de GR2M y de TEMEZ.

Tabla 14

Datos necesarios para desarrollar los métodos correspondientes

Años	ETP	Caudal
1965	10.4	17.64
1966	18.4	31.31
1967	40	26.61
1968	71.25	6.80
1969	99.2	3.95
1970	14.8	14.32
1971	12.19	0.54
1972	10.3	15.85
1973	6.73	0.60
1974	3.18	10.85

1975	12.07	42.50
1976	9.4	36.54
1977	10.5	30.46
1978	18.45	24.97
1979	4.105	18.42
1980	7.85	105.58
1981	10.5	26.83
1982	11.48	16.06
1983	12.51	3.57
1984	10.16	30.67
1985	6.73	38.58
1986	31.8	19.81
1987	13.07	37.87
1988	9.42	21.64
1989	10.44	2.94
1990	19.4	4.14
1991	4.05	31.19
1992	7.02	53.49
1993	10.4	10.06
1994	11.48	16.44
1995	12.51	20.00
1996	10.3	5.38
1997	6.73	19.18
1998	31.8	26.78
1999	13.07	15.88
2000	9.42	2.17
2001	10.44	3.85
2002	18.42	40.56
2003	4.05	3.58
2004	7.29	13.13
2005	10.4	21.40
2006	11.48	13.05
2007	12.51	23.40
2008	10.3	9.49
2009	6.45	12.26
2010	31.8	30.56
2011	13.07	61.97
2012	9.42	15.68
2013	5.77	55.96
2014	8.12	48.90
2015	4.4	35.47
2016	5.18	2.348
2017	8.3	27.29
2018	12.48	51.41

A partir de los valores de escurrentía, evapotranspiración se pueden estimar los parámetros de los modelos de Temez Y GR2M, para la estimación de la capacidad de simulación de caudales se tiene que tener en cuenta los valores de caudales medidos en las estaciones que estén en el recorrido del área de interés, con ello se logró establecer cuál de los 2 modelos de estimación es el más adecuado para la proyección de caudales.

Por el método de GR2M

Tabla 15

Parámetros iniciales para el modelo GR2M

Nombre de la cuenca	Río Huallaga	
Área de la cuenca (km²)	5580.72	
Parámetros del modelo	Transf.	Actual
x1: Capacidad de producción (mm)	6.20	490.46
x2: Parámetro de intercambio (mm)	0.74	0.74
Valores Iniciales		
S0 (max.: x1 mm)	245.23	
R0 (max.: 60 mm)	30	
Periodo		
Periodo de análisis (años)	54	
Duración del periodo de prueba (años)	30	
Año de partida	1965	
Año de fin	2018	
Precipitación media observada (mm/año)	68.2	
Promedio de ETP observada (mm/año)	59.1	
Promedio de caudal observado (mm/año)	18.2	
Promedio de las raíces de los caudales observados	4.0	
Promedio logarítmico de los caudales observados	2.7	

Para la elaboración del modelo GR2M, fue necesario establecer los valores de la capacidad de producción, el parámetro de intercambio y los valores iniciales para la estimación de la simulación, dichos valores son alterados de acuerdo a las características que presenta la cuenca y con la cual se logren estimar una simulación más cercana a la realidad, para el presente modelo se tomó como condición inicial de capacidad de producción el valor de 6.20, los valores iniciales de S0 y R0 fueron de 245.23 y 60 mm

respectivamente obteniendo así un ajuste adecuado para los valores de caudal establecidos.

Tabla 16

Estimación de caudales por el método GR2M

Variables del modelo										
S1	P1	S2	S	P2	P3	R1	F	R2	R	Caudal Simulado
298.3 7	23.86	289.6 4	272.1 2	17.5 3	41.39	71.39	- 18.5 6	52.82	21.48	31.34
331.4 3	36.79	315.1 7	291.3 9	23.7 8	60.57	82.04	- 21.3 4	60.71	20.21	40.50
356.9 5	52.14	320.7 9	295.4 7	25.3 2	77.47	97.68	- 25.4 0	72.28	36.31	35.97
340.5 7	33.09	279.1 4	263.8 3	15.3 1	48.40	84.71	- 22.0 3	62.68	57.02	5.66
313.2 0	26.43	233.8 4	225.9 5	7.88	34.31	91.34	- 23.7 5	67.58	63.82	3.77
282.8 3	21.23	270.8 4	257.1 4	13.6 9	34.92	98.74	- 25.6 8	73.06	59.73	13.32
321.3 3	34.91	310.6 9	288.0 9	22.5 9	57.50	117.2 4	- 30.4 9	86.75	86.03	0.72
347.0 3	43.37	337.6 7	307.3 3	30.3 4	73.70	159.7 4	- 41.5 4	118.2 0	93.25	24.95
382.4 3	76.40	376.0 5	332.1 9	43.8 6	120.2 6	213.5 1	- 55.5 2	157.9 8	157.1 7	0.82
385.5 3	62.86	382.5 0	336.0 7	46.4 3	109.2 8	266.4 5	- 69.2 9	197.1 6	186.7 3	10.42
378.0 7	48.01	366.7 0	326.4 0	40.2 9	88.30	275.0 3	- 71.5 3	203.5 1	137.1 1	66.40
360.2 0	32.71	351.5 0	316.6 3	34.8 7	67.58	204.6 9	- 53.2 3	151.4 6	105.4 8	45.98
379.5 9	65.74	369.6 8	328.2 7	41.4 1	107.1 5	212.6 3	- 55.3 0	157.3 3	120.7 1	36.62
371.2 3	45.04	354.0 3	318.2 9	35.7 4	80.78	201.4 9	- 52.4 0	149.0 9	127.5 4	21.55
400.5 6	100.8 3	396.6 0	344.2 8	52.3 2	153.1 5	280.6 9	- 73.0 0	207.7 0	182.4 4	25.26
413.0 2	106.4 6	405.3 8	349.1 9	56.1 9	162.6 5	345.1 0	- 89.7 5	255.3 5	156.0 6	99.29

390.7 2	55.67	380.7 0	335.0 0	45.7 0	101.3 7	257.4 4	- 66.9 5	190.4 9	155.3 3	35.16
384.9 3	59.47	374.0 3	330.9 6	43.0 8	102.5 5	257.8 8	- 67.0 6	190.8 2	163.8 6	26.96
383.7 3	61.02	371.8 8	329.6 3	42.2 5	103.2 7	267.1 3	- 69.4 7	197.6 6	194.2 5	3.41
369.7 6	41.97	360.2 7	322.3 2	37.9 4	79.91	274.1 6	- 71.3 0	202.8 6	158.9 4	43.93
376.3 0	56.73	369.9 5	328.4 4	41.5 1	98.24	257.1 8	- 66.8 8	190.3 0	124.0 8	66.22
381.7 8	60.06	352.0 1	316.9 7	35.0 4	95.10	219.1 8	- 57.0 0	162.1 8	136.8 1	25.37
351.6 5	30.32	339.7 2	308.7 3	30.9 8	61.30	198.1 2	- 51.5 2	146.6 0	93.94	52.66
356.4 4	41.19	347.7 7	314.1 6	33.6 1	74.80	168.7 4	- 43.8 8	124.8 6	99.20	25.65
364.8 9	47.47	355.1 9	319.0 5	36.1 4	83.62	182.8 2	- 47.5 4	135.2 7	131.6 6	3.62
363.5 3	42.31	345.6 2	312.7 3	32.9 0	75.21	206.8 7	- 53.8 0	153.0 7	147.9 7	5.10
361.6 3	44.50	357.8 7	320.7 8	37.0 8	81.58	229.5 5	- 59.7 0	169.8 6	129.6 4	40.22
369.5 4	48.64	362.9 7	324.0 5	38.9 2	87.56	217.2 0	- 56.4 8	160.7 1	67.81	92.90
371.9 7	49.38	362.2 3	323.5 8	38.6 5	88.03	155.8 4	- 40.5 3	115.3 1	106.1 9	9.12
364.5 8	40.20	353.9 3	318.2 2	35.7 0	75.90	182.0 9	- 47.3 5	134.7 4	116.2 8	18.46
349.7 7	27.45	338.3 8	307.8 2	30.5 6	58.01	174.2 9	- 45.3 3	128.9 6	96.24	32.72
346.1 6	30.95	336.8 2	306.7 5	30.0 7	61.02	157.2 7	- 40.9 0	116.3 7	109.3 0	7.07
337.7 1	23.64	331.6 5	303.1 7	28.4 9	52.13	161.4 2	- 41.9 8	119.4 4	103.4 8	15.96
354.3 0	42.37	325.5 1	298.8 4	26.6 7	69.04	172.5 2	- 44.8 6	127.6 5	103.2 8	24.37
358.4 8	49.66	346.4 5	313.2 8	33.1 7	82.83	186.1 1	- 48.4 0	137.7 1	109.2 1	28.50
384.9 6	76.41	376.0 2	332.1 7	43.8 5	120.2 6	229.4 7	- 59.6 8	169.8 0	167.4 6	2.34

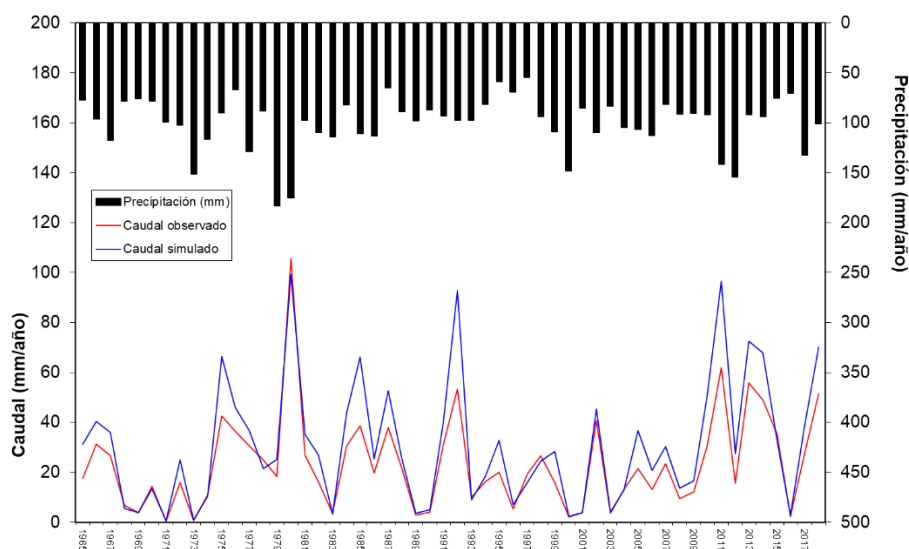
373.0 7	44.30	363.2 8	324.2 4	39.0 3	83.33	250.7 9	- 65.2 2	185.5 7	181.7 2	3.85
377.3 2	56.73	360.0 4	322.1 8	37.8 6	94.58	276.3 1	- 71.8 6	204.4 5	159.2 4	45.21
364.3 3	40.95	360.5 5	322.5 1	38.0 4	78.99	238.2 4	- 61.9 6	176.2 8	172.1 5	4.13
373.9 0	53.21	367.0 4	326.6 2	40.4 2	93.63	265.7 8	- 69.1 2	196.6 6	183.7 6	12.90
377.8 7	55.66	368.0 6	327.2 6	40.8 0	96.46	280.2 2	- 72.8 7	207.3 5	170.6 4	36.71
380.6 6	59.30	369.8 1	328.3 5	41.4 6	100.7 6	271.4 0	- 70.5 8	200.8 2	180.0 0	20.82
368.5 3	41.42	356.8 7	320.1 4	36.7 3	78.15	258.1 5	- 67.1 3	191.0 2	160.6 3	30.38
366.3 9	45.05	356.8 0	320.0 9	36.7 1	81.76	242.3 9	- 63.0 4	179.3 6	165.7 8	13.58
366.1 3	44.76	360.1 2	322.2 3	37.8 9	82.65	248.4 3	- 64.6 1	183.8 2	167.3 3	16.49
368.1 3	45.70	338.8 2	308.1 2	30.7 0	76.40	243.7 3	- 63.3 8	180.3 5	129.5 7	50.77
379.0 2	70.70	366.7 0	326.4 1	40.2 9	111.0 0	240.5 7	- 62.5 6	178.0 1	81.42	96.59
395.7 5	85.36	386.7 2	338.5 7	48.1 5	133.5 0	214.9 2	- 55.8 9	159.0 3	131.6 7	27.36
380.7 7	49.80	375.3 0	331.7 3	43.5 7	93.37	225.0 4	- 58.5 2	166.5 1	93.99	72.52
376.3 9	49.34	368.7 4	327.6 9	41.0 6	90.40	184.3 9	- 47.9 5	136.4 4	68.56	67.88
365.3 6	37.92	361.2 6	322.9 6	38.3 0	76.22	144.7 8	- 37.6 5	107.1 3	74.17	32.95
359.0 7	34.09	354.2 8	318.4 5	35.8 3	69.91	144.0 9	- 37.4 7	106.6 2	103.7 5	2.87
382.1 8	68.37	374.3 2	331.1 3	43.1 9	111.5 6	215.3 0	- 55.9 9	159.3 1	120.7 8	38.53
378.7 9	53.34	367.0 3	326.6 1	40.4 2	93.75	214.5 4	- 55.7 9	158.7 4	88.57	70.17

Con los valores del caudal simulado se lograron establecer las comparaciones para la estimación de los factores de confiabilidad, este

proceso se realizó con la finalidad de establecer un correcto ajuste del modelo y con ello obtener resultados que se ajusten a la realidad.

Figura 21

Comparación gráfica de los valores de caudal simulados y observados



Se puede observar que los valores de caudal observados y simulados no son al completo iguales, estos valores se acercan en cuanto a los picos generados y a algunos valores decrecientes, siguiendo así un patrón establecido para el comportamiento de los caudales del río Huallaga.

Tabla 17

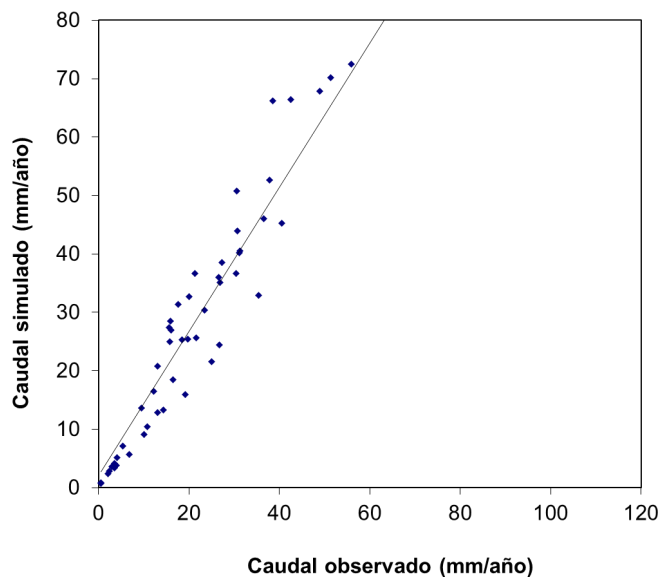
Valores de confiabilidad del modelo GR2M

Criterios de eficiencia (%)	
Nash(Q)	0.76
Nash(VQ)	0.64
Nash(ln(Q))	0.32
Bilan	0.90

De acuerdo a la serie de caudales observados y a los valores de caudal simulados se puede establecer que la simulación se encuentra dentro de los parámetros aceptados por el criterio de Nash teniendo una clasificación de “Muy bueno” ya que se encuentra dentro del rango de valores de 0.6 a 0.8, con un valor de 0.76.

Figura 22

Dispersión del modelo GR2M



De la Figura se puede identificar que el modelo no presenta una dispersión de datos considerable y cuenta con una consistencia que se ajuste a una tendencia en específico.

Por el método de TEMEZ

El método de escorrentía por TEMEZ se trabajó a partir del software Aquatool, para la elaboración del modelo se establecieron los parámetros que rigen las características peruanas con la cual se puedan ajustar los valores de estimación de caudales.

Tabla 18

Parámetros del modelo de Témez

	Valor de <i>H_{máx}</i>	<i>C</i>	<i>Imáx</i>	α
Mínimo	45	0.25	15	0.0001
Máximo	255	1	155	0.99

Los rangos de valores se estimaron a partir del modelo aplicado en el software Aquatool para la zona de la sierra de España, la cual presenta características similares a la del Perú y con ella adaptarlo al modelo de la presente investigación.

Tabla 19*Listado de valores para el Hmáx para diversos usos de suelo*

Uso de suelo	Hmáx
Suelos artificiales	40
Zonas con pobre vegetación	100
Tierras con actividades secanas	155
Tierras con actividades de riego	215
Zonas de pradera y con pastizales	150
Sistemas agrícolas diferentes	195
Zonas agrícolas permanentes	210
Zonas arbustivas	135
Zonas de bosque mixto	220
Zonas coníferas	230
Zonas húmedas	300

Valores del parámetro Hmáx con el cual se elaboró el modelo Témez para la zona de la sierra de España de la cual se adaptaron los valores para la presente investigación.

Tabla 20*Valores de calibración para el modelo de Témez*

Hmáx	145.53
C	0.49
Imáx	78.45
α	0
Hi	0
Vi	15743.25

Los valores se estimaron para un mejor ajuste del modelo con la finalidad de que el modelo sea lo más ajustado posible a la realidad de la serie muestral.

Tabla 21*Estimación de los caudales simulados por el método de Témez*

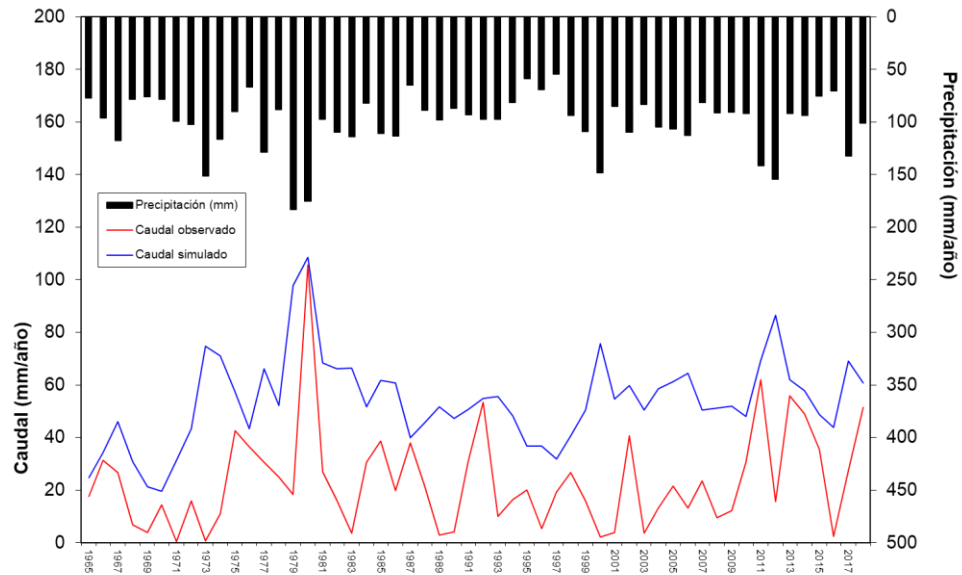
Año	Caudales			
	Precipitación (mm)	ETP (mm)	Caudal (mm)	Caudal Simulado
1965	77	10.4	17.64	24.73
1966	96.1	18.4	31.32	34.26
1967	117.7	40	26.62	46.13
1968	78.2	71.25	6.80	30.94
1969	75.8	99.2	3.96	21.21
1970	78.1	14.8	14.32	19.64
1971	99.1	12.19	0.55	31.28
1972	102.3	10.3	15.85	43.31
1973	151.5	6.73	0.60	74.64

1974	116.2	3.18	10.85	71.13
1975	90	12.07	42.50	57.43
1976	66.5	9.4	36.55	43.37
1977	128.7	10.5	30.46	66.17
1978	88	18.45	24.98	52.28
1979	183.1	4.105	18.43	97.74
1980	175.2	7.85	105.58	108.44
1981	97.2	10.5	26.83	68.39
1982	109.4	11.48	16.06	66.22
1983	113.8	12.51	3.57	66.47
1984	82.1	10.16	30.68	51.78
1985	110.7	6.73	38.58	61.65
1986	113.4	31.8	19.82	60.80
1987	65	13.07	37.88	39.99
1988	88.9	9.42	21.64	45.47
1989	98.2	10.44	2.95	51.66
1990	86.8	19.4	4.14	47.31
1991	93.4	4.05	31.20	50.66
1992	97.4	7.02	53.49	54.79
1993	97.3	10.4	10.07	55.59
1994	81.2	11.48	16.44	48.19
1995	59	12.51	20.00	36.67
1996	69.3	10.3	5.39	36.79
1997	54.6	6.73	19.19	31.73
1998	93.5	31.8	26.78	40.62
1999	109.3	13.07	15.88	50.46
2000	148.1	9.42	2.17	75.67
2001	85.2	10.44	3.85	54.71
2002	109.8	18.42	40.58	59.69
2003	83.1	4.05	3.59	50.53
2004	104.6	7.29	13.13	58.58
2005	106.9	10.4	21.41	61.32
2006	112.7	11.48	13.06	64.36
2007	81.6	12.51	23.40	50.49
2008	91.3	10.3	9.50	51.18
2009	90.8	6.45	12.27	51.81
2010	91.6	31.8	30.57	48.06
2011	141.6	13.07	61.98	69.32
2012	154.7	9.42	15.68	86.53
2013	92	5.77	55.96	61.87
2014	94	8.12	48.90	57.85
2015	75.6	4.4	35.47	48.64
2016	70.2	5.18	2.35	43.74
2017	132.1	8.3	27.29	69.06
2018	101	12.48	51.41	60.68

Aplicando los parámetros de la metodología de Témez en los datos se puede observar una variación en los valores considerables con el cual se pueden identificar que las variaciones de los valores observados y simulados varían de manera en que el modelo no presenta un ajuste correcto.

Figura 23

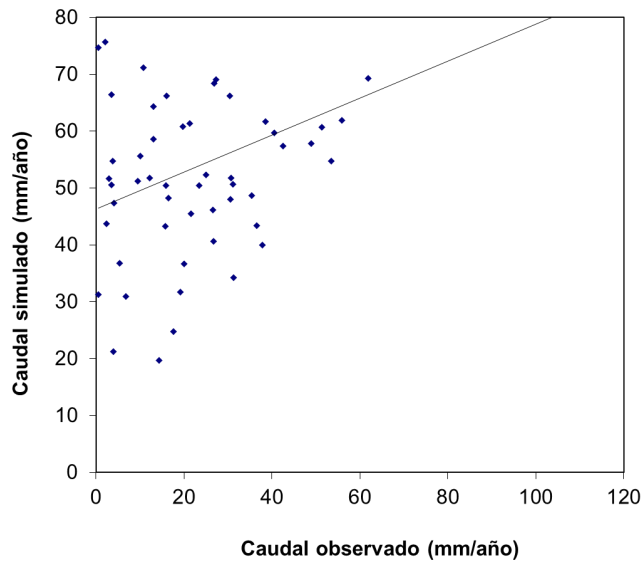
Comparación gráfica de los valores de caudal simulados y observados por Témex



Se puede observar de manera gráfica la variación de los valores simulados por la metodología de Témex en la cual, si bien se presentan correlaciones en los picos, los caudales de estiaje no coinciden en su totalidad calculando los extremos inferiores por muy debajo de lo que se pudo observar.

Figura 24

Dispersión de datos estimados aplicando la metodología de Témex



Con la gráfica de dispersión se logra demostrar la variación en los datos observados y simulados con la metodología de Témex, logrando así una dispersión alta sin mucha consistencia en los valores estimados.

Tabla 22*Valores de confiabilidad modelo Témez*

Criterios de eficiencia (%)	
Nash(Q)	0.62
Nash(VQ)	0.75
Nash(ln(Q))	0.75
Bilan	1.25

De la consistencia de valores se pudo estimar que el valor de confiabilidad del modelo Témez cuenta con un valor de Nash de 0.62, el cual lo cataloga como un valor de “Muy Bueno”.

4.2. CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS

H1: Si los modelos de GR2m y Témez son aptos para mostrar el comportamiento de un proceso de lluvia escorrentía en la cuenca del río Huallaga.

Si bien los modelos de GR2M y Témez logran demostrar los comportamientos de lluvia – escorrentía de la cuenca del río Huallaga estos varían en su confiabilidad.

Tabla 23*Valores de confiabilidad modelo Témez*

Parámetros de Confiabilidad		
-	Modelo GR2M	Témez
Nash(Q)	0.78	0.62
Nash(VQ)	0.64	0.75
Nash(ln(Q))	0.32	0.75
Bilan	0.90	1.25

De acuerdo a la Tabla 23 se puede representar lo valores de confiabilidad de los métodos planteados para el análisis de escorrentía de la cuenca del río Huallaga, para el modelo GR2M se tiene una confiabilidad del 78% de confiabilidad, mientras que para que el modelo de Témez se tiene un valor de 62% estimando así que ambos modelos según el criterio de Nash se encuentran en una confiabilidad “Muy Buena” pero que para la cuenca del río Huallaga se ajusta mejor el modelo GR2M.

CAPÍTULO V

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Según Rincón (2019), basa su investigación en la comparación de los métodos de escorrentía GR2M Y GR4J los cuales fueron aplicados a la cuenca del río Guali con el fin de estimar los valores de los caudales diarios y mensuales, para la investigación se pudo determinar que el modelo GR2M presenta un valor de confiabilidad del 79.10% para la cuenca del río Guali, mientras que para la cuenca del río Huallaga el modelo GR2M presenta una confiabilidad según Nash de 78%, si bien los valores son cercanos esto no quiere decir que sean igual de válidos, para la investigación de Rincón se tomaron en cuenta las series de valores mensuales, mientras que para la investigación se tomaron en cuenta solo los valores máximos anuales de precipitación con lo cual la muestra de datos se reduce para la investigación estableciendo una menor cantidad de valores con los cuales se puedan determinar los parámetros de confiabilidad, sin embargo, el modelo es igual de válido para la cuenca del río Huallaga con un alto valor de confiabilidad. Según Sánchez (2017), para el análisis que se plantea del modelo de Témez se pudo identificar que el esquema simplificado que se plantea se ajusta a la serie de datos con los que se contaba para la cuenca del río Huallaga con lo cual se pudo establecer que el valor de confiabilidad según el índice de Nash es del 62%, siendo este menor que el valor que se pudo determinar con el modelo GR2M sin embargo también presenta un alto grado de confiabilidad del modelo de Témez para la serie de datos que se analizaron. Para Campos (2021), en su investigación comparativa entre los modelos GR2M y SMAP se pudo identificar que el modelo GR2M al contar con pocos parámetros de ajuste presenta un mejor desempeño con la cuenca del Jequetepeque y característicamente con cuencas que presenta un gran altitud y con ríos que se encuentren en estado maduro, esta información se valida en la comparación del modelo GR2M con el modelo de Témez para la presente investigación, teniendo en cuenta que la cuenca es de una altitud media se pudo identificar que el modelo GR2M presenta un mejor desempeño que el

de Témez, aunque no se tanta la diferencia en los niveles de confiabilidad de Nash se pudo identificar un mejor ajuste con el modelo GR2M.

CONCLUSIONES

- Para la investigación se determinó que los niveles de confiabilidad según la prueba de Nash son de 78% y 62% para los modelos GR2M y Témez respectivamente, dando así que el modelo más apto en relación a la transformación de lluvia a escorrentía para la cuenca del río Huallaga es el modelo GR2M.
- Se pudo identificar que para las épocas de estiaje el modelo GR2M presenta mayores cercanías a los valores observados esto pues es un efecto directo de la mínima variación de los caudales, sin embargo en algunos puntos de pico de caudal estos no se mantienen en correlación por los que no siempre es óptimo el modelo y requiere de un ajuste más preciso, para el modelo de Témez este presenta una deficiencia al inicio del modelo ejecutado dando valores por debajo de los observados y en algunos puntos de picos subestimando los valores, esto es debido a que el modelo se centra en los promedios estimados dando así una subestimación en gran parte de los valores.
- Para los parámetros de calibración del modelo GR2M se tomó que el valor de la capacidad de producción es de 8.20 mm (x1) y para el parámetro de intercambio o transvase de la cuenca es de 0.74 mm (x2), dichos valores netamente son estimados para ajustar al modelo y responden a las características físicas con las que cuenta la cuenca, para el modelo de Témez se utilizaron los parámetros establecidos en el software Aquatool para la zona de la sierra de España ya que estos parámetros se ajustan a las características geomorfológicas de las cuencas del Perú dando así los parámetros con los cuales se tiene que regir el modelo de lluvia – escorrentía.
- La validación de ambos modelos se dio a partir de la ejecución del modelo de confiabilidad de Nash, dicho modelo analizó la dispersión entre los valores observados y simulados, con lo cual se determinó que el modelo más adecuado para la cuenca del río Huallaga fue el modelo GR2M.

RECOMENDACIONES

- Para la calibración y validación del modelo es recomendable contar con una serie de datos más amplia ya que a medida que se analicen periodos de tiempo más amplios el modelo se podrá ajustar de mejor manera, es también de consideración tener en cuenta los fallos al momento de hacer las lecturas en las estaciones y analizar la consistencia de los valores de lluvia con las cuales se trabaje.
- Los parámetros de ajuste de los modelos GR2M y Témez tendrán que ser estimados de acuerdo a la realidad de cada una de las cuencas con la finalidad de estimar los valores más precisos con los cuales se puedan calcular ambos modelos.
- Es recomendable elaborar para el modelo de Témez un ajuste específico para cada cuenca del Perú a fin de establecer unos parámetros para la región que estén validados por las instituciones climáticas del país y que brinden un mejor ajuste a comparación del cual se extrapolará de la Sierra de España.
- Es recomendable iterar cada uno de los modelos con la finalidad de ejecutar un mejor ajuste de la serie de datos simulados, ya que con este tipo de ajuste se lograría que el valor de confiabilidad de Nash sea más alto y por ende los valores simulados sean los más óptimos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguilera, N. M. (2018). . *Estimación de funciones de probabilidad, para caudales máximos, en la región del Maule*. Talca - Chile.
- Aliaga, V. (1985). *Hidrología Estadística*. Lima.
- Aparicio, F. (1992). *Fundamentos de Hidrología de Superficie*. México.
- Cabrera, J. (2013). *Modelos Agregados: GR2m*. Lima.
- Callañaupa, T. O. (2019). *Medición de caudales máximos en los ríos Chancay y Piura y, su influencia en el dimensionamiento de estructuras hidráulicas*. LIMA.
- Campos, L. G. (2021). *Aplicación de los modelos hidrológicos GR2M y SMAP para la generación de caudales medios mensuales en subcuencas no aforadas. Caso de estudio: Cuencas Jequetepeque, Chancay – Lambayeque Y Piura*. Lima- Perú.
- Chagua, C. J. (2018). *Estudio de inundación de la zona correspondiente al distrito de Calango, provincia de Cañete, departamento de Lima, Mediante el uso de los modelos matemáticos HEC-HMS Y HEC-RAS*. Lima.
- Chavarri, E. (2008). *Metodos de Analisis de Ingenieria de Recurso Hidricos*. Lima.
- Chereque, W. (1987). *Mecanica de Fluidos I*. Lima-Perú.
- Chow, V. (1994). *HIDROLOGIA APLICADA*.
- Chuvieco, E. (1992). *II Curso Avanzado sobre Sistemas de Información Geográfica - Sistema de Información Geográfica*. Santiago de Chile.
- Contreras, L. (2005). *Vulnerabilidades mediante presipitaciones*.
- Egoavil, F. R. (03 de 09 de 2022). *Estimacion de la escorrentia directa usando imagenes del goes 12 y modelamiento en HEC-HMS, en la cuenca alta del huallaga*. Obtenido de <http://repositorio.unas.edu.pe/bitstream/handle/UNAS/393/T.CSA-120.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Fattorelli, S., & Fernández, P. (2011). *Diseño Hidrologico*.
- Fernández, R. (2013). *Mitos y realidades de las cabeceras de cuencas andinas peruanas*.

- Gamarra, C. H. (2018). *Aplicacion del Modelo Hidrologico Lutz Scholz para Determinar Caudales Medio Mensuales en la Sub Cuenca del rio Quiroz*. Piura - Perú.
- GAMBA, M. J., & GONZÁLEZ, H. J. (2018). *CURVAS DE RENDIMIENTO DE CAUDALES MÁXIMOS INSTANTÁNEOS ASOCIADOS A DIFERENTES PERIODOS DE RETORNO EN COLOMBIA, CASO DE ESTUDIO RÍO MAGDALENA*. COLOMBIA.
- GARCIA, C. A., & INFANTE, A. F. (2018). *DETERMINACIÒN DEL CAUDAL MÀXIMO PARA DISEÑO DE DEFENSAS RIBEREÑAS DEL SECTOR TAMARINDO RIO TUMBES*. TUMBES.
- Garcia, R. L. (2020). *Propuesta y análisis de metodologías para la evaluación de recursos mediante modelos precipitación-escorrentía*. Valencia - España.
- Hernandez, R. F. (2014). *Metodología de la Investigación*. (6ta ed.). México D.F.: McGraw-Hill.
- Hernandez, R., Barrios, H., & Ramires, A. (2017). *Analisis de riesgo por inundacion: Metodologia y Aplicacion a la cuanca Atemajac*. Mexico.
- Hernández, S. R. (2014). *Metodología de la Investigación*. Mexico: McGraw-Hill.
- Horton, R. (2010). *Cuencas- Caracterisitcas Fisiograficas*.
- Linsley, R. (1974). *Ingeniería de los recursos hidráulicos*. MEXICO.
- Londoño, C. (1995). *La geomorfometría aplicada a las cuencas hidrográficas*. . colombia.
- Monsalve, G. (1999). *Hidrología en la Ingeniería*.
- Montoya, S. (2014). *El ciclo Hidrologico en cuencas andinas*. Lima.
- Paredes, J., Solera, A., Andreu, J., & Lema, N. (2014). *Heramienta EvalHid para evaluacion de Recurso Hidricos*. Valencia.
- Ramos, U. J., & Julio, A. L. (2017). *Regionalización de Distribuciones Hidrológicas de Caudales Máximos Instantáneos en Colombia*. colombia .
- Reyes, L. (1992). *Hidrología Básica*. Lima – PE.
- Rincon, A. L. (2019). *Aplicacion de los Modelos lluvia - escorrentia GR2M y GR4J en la cuenca del rio Guali para la gestion de recursos hidricos*. Bogota.

Sanchez, B. B. (2017). *Revision, Analisis y Actualizacion del Modelo de Temez en el Ambito de las Comarcas de la Marina Alta y la Marina Baja (Alicante)*. Valencia.

Villón, M. (2002). *Hidrología Estadística*. Costa Rica.

Villón, M. (2011). *Hidrología*. LIMA.

COMO CITAR ESTE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

Pimentel Herrada, S. (2024). *Análisis comparativo de los modelos lluvia escorrentía de gr2m y temez en el rio Huallaga –Huánuco- 2023* [Tesis de pregrado, Universidad de Huánuco]. Repositorio Institucional UDH. <http://...>

ANEXOS

ANEXO 1

MATRIZ DE CONSISTENCIA

Tabla 24

Matriz de Consistencia

FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS
Problema General:	Objetivo General	
¿Identificar cuál de los modelos de GR2m y Témez es el más apto para mostrar el comportamiento de un proceso de lluvia escorrentía en la cuenca del río Huallaga?	Identificar cuál de los modelos de GR2m y Témez es el más apto para mostrar el comportamiento de un proceso de lluvia escorrentía en la cuenca del río Huallaga.	Hipótesis General H1: Si los modelos de GR2m y Témez son aptos para mostrar el comportamiento de un proceso de lluvia escorrentía en la cuenca del río Huallaga
Problemas Específicos:	Objetivos Específicos	
¿De qué manera se puede describir los modelos hidrológicos de Gr2 y Témez en su estructura y sus parámetros?	Describir los modelos hidrológicos de Gr2 y Témez en su estructura y sus parámetros.	
¿De qué forma se puede validar y calibrar los parámetros en un periodo de tiempo	Validar y calibrar los parámetros en un periodo de tiempo seleccionado de los modelos hidrológicos de Gr2m y Témez.	

seleccionado de los modelos hidrológicos de Gr2m y Téméz?

Comparar los modelos hidrológicos de Gr2m y Téméz en su eficiencia mediante una prueba de bondad de ajuste.

¿Cómo comparar los modelos hidrológicos de Gr2m y Téméz en su eficiencia mediante una prueba de bondad de ajuste?

ENFOQUE, ALCANCE Y DISEÑO	POBLACIÓN Y MUESTRA	VARIABLES
Enfoque: Cuantitativo.	Población: La cuenca del rio Huallaga, en el distrito de Huanuco, en la región de Huánuco.	Variable dependiente Modelos de Gr2m y Temez.
Alcance o nivel: Descriptivo.	Muestra: los datos que se obtienen de la población de la cuenca del Huallaga, en Huánuco de la región de Huánuco.	Variable independiente Proceso de lluvia escorrentida

ANEXO 2

UBICACIÓN

Figura 25

Imagen del río Huallaga en el tramo de estudio



Tabla 25*Datos de precipitación*

ESTACION HUANUCO														
N°	Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	MAX
1	1965	30.9	66.7	77	28.1	4.3	2	4.6	2.3	13.2	17.7	66.3	34.3	77
2	1966	73.4	37	55	3.6	18.7	0.7	0.7	6.9	11.8	38	41.4	96.1	96.1
3	1967	59.3	117.7	99.7	16.9	31.9	4.9	12.8	5.5	15.7	52.4	34.4	47.3	117.7
4	1968	78	78.2	43.3	15.1	1.3	4.9	1.6	15.5	47.2	37.2	10.8	47	78.2
5	1969	75.8	45	28.1	17.8	3.3	7.7	0.9	7.4	13.7	12.5	70.4	64.3	75.8
6	1970	29.4	43.9	36	35.4	8.5	21.4	14.6	0.2	18.2	15.9	50.4	78.1	78.1
7	1971	99.1	37.6	78.6	42.8	10.7	6.1	7.3	11.8	3.4	30	47.2	56.7	99.1
8	1972	38.2	51.8	102.3	42.1	11.4	0	0	6	26.5	26.6	41.5	29	102.3
9	1973	51.5	100.4	60.3	46.4	12.2	11	9.9	34.2	1.6	64.5	66.8	151.5	151.5
10	1974	58	42.9	116.2	70.9	2.8	12.5	2.7	14.7	3.4	15.8	13.5	29.7	116.2
11	1975	64	90	74.2	14.2	48.2	8.3	4.5	5.1	21.4	60.6	39.8	67.6	90
12	1976	66.5	64.3	14.7	6.5	1.6	0	0	0	5.7	26.4	18.6	33	66.5
13	1977	45.5	61.8	46.2	54.9	24.6	0.5	2	8.6	36.7	31.5	128.7	60	128.7
14	1978	53.6	27.4	88	28.3	22.2	1.6	0.8	3	1.7	11.5	27.5	33.9	88
15	1979	31.8	69.3	183.1	51.2	0	0	3.2	0	5.9	60.1	52.1	9.6	183.1
16	1980	68.9	175.2	128	149.5	0	15.7	7.2	13.8	5.9	53.4	38.4	56	175.2
17	1981	30.6	45.9	49.7	19.9	8.6	0.6	1.4	5.7	7.4	50	97.2	81.7	97.2
18	1982	109.4	105.7	106.4	30.1	4	2.4	4.2	11.5	6	39.7	40	46.9	109.4
19	1983	49.2	35.2	113.8	38.3	1	2.9	0.5	3.4	4.4	18	36.8	32.7	113.8
20	1984	37.5	55.4	53.3	38.5	49.7	16.3	9.4	17.8	48.2	7.4	82.1	45.4	82.1

21	1985	60.8	63.1	61.7	33.5	0.3	2.2	0	2.6	22.3	31.3	110.7	48.7	110.7
22	1986	40.7	83.9	113.4	9.8	21.7	12.9	4	15.8	12.2	12.9	22.7	56.7	113.4
23	1987	35.6	65	57	32.6	6.3	10.7	8.9	4	11	23.2	37.5	40.2	65
24	1988	88.9	83.8	34.9	42.7	6.5	0	6.2	1.9	9.7	14.5	22.4	25.1	88.9
25	1989	56.8	43.8	98.2	20.8	14.8	11.5	0	2.5	12	67.9	41.3	59.1	98.2
26	1990	45.8	13.5	34.7	52.2	32.6	15.1	1.5	7.1	10.9	86.8	77	59.2	86.8
27	1991	25.7	44.3	93.4	29.1	3	10.1	4.8	0	8.5	33.4	40.2	39.6	93.4
28	1992	43.1	88.7	66.2	20.6	0	14.4	0	37.2	4	97.4	37.4	21.6	97.4
29	1993	18.1	40.9	76.8	25.9	16.8	12.3	6.1	6.3	8	17.2	97.3	50.1	97.3
30	1994	81.2	57.5	41.3	57.6	23.4	0	0	0	32.7	64.4	20.4	41	81.2
31	1995	38.7	50.4	50.3	26	3.6	1.4	1.2	0.4	7.2	23.2	48.8	59	59
32	1996	59.5	33.1	41.7	69.3	23	0	0.1	5.3	2.3	23.6	57.8	15.7	69.3
33	1997	54.6	41.6	26.5	15.1	9.6	2.2	0	9.6	7.6	29.8	41.5	47.3	54.6
34	1998	93.5	63	66.9	3.1	2.8	2.1	0	2.8	3.8	29.3	64.5	34	93.5
35	1999	81.7	88.5	109.3	22.3	18.4	15.1	8.6	0.6	57.6	20.8	33.8	58.2	109.3
36	2000	68.2	89.6	148.1	30.3	10.1	16	3.6	17.1	11.9	9.5	61	77.2	148.1
37	2001	45.2	36.2	85.2	46.2	10.4	3.3	8.4	10.2	7.4	36.9	72.7	55.8	85.2
38	2002	29.5	56.4	83.1	56.5	18.2	2.9	12.8	4.1	8.4	109.8	40.8	21	109.8
39	2003	44.7	26.9	70.5	24.6	14.3	0.3	0.1	9.4	12.6	17.1	77.3	83.1	83.1
40	2004	33.6	31.7	56.9	31.2	24.8	5.1	5.6	16.7	16.2	28.6	34.8	104.6	104.6
41	2005	32.6	45	92.7	12.6	1.4	0	2	8.6	5.8	51.5	26.3	106.9	106.9
42	2006	81.9	48.4	112.7	38.6	2	6.2	3.5	2.9	11.4	49.1	66.7	89.1	112.7
43	2007	33.9	6.9	81.6	35.8	7.8	1.9	6.7	3.9	4.4	59.2	40.6	70.3	81.6
44	2008	29.8	90.8	91.3	36.3	3.6	5.5	0.1	2	33.4	38	50.9	68.1	91.3
45	2009	68	72.5	90.8	85.9	14.2	10.3	12.3	4.4	11	44.6	40.2	59.6	90.8
46	2010	21.8	85.9	91.6	19	3.4	2.6	4.9	7.2	14.1	26.7	55.1	81.9	91.6

47	2011	76.8	64	141.6	43.9	21.1	1.9	1.9	3.7	22.6	67.7	56.6	132.3	141.6
48	2012	78.6	55.7	30.1	74.8	13.7	3.8	7.8	3.4	4.9	75	94.5	154.7	154.7
49	2013	36.2	90	92	33.6	5.7	10.7	12.5	22.1	6.6	37.8	71.3	76.1	92
50	2014	72	94	76	43.1	29.2	6.6	2.9	0.7	28.9	49.7	32.1	84.9	94
51	2015	75.6	48.9	62.3	59	37.8	2.8	3.9	2.3	3.1	22.7	71.4	35.3	75.6
52	2016	34.7	47.1	67.8	11.6	0.2	0.8	0.2	1.1	1.7	34.3	37.5	70.2	70.2
53	2017	72.1	70.9	74	24.6	12.3	4	4.8	5.1	15.9	32.3	49.4	132.1	132.1
54	2018	88.5	87.9	85.3	61.4	10.6	12	8.8	2	0	101	81.3	22.5	101

Tabla 26

Datos de precipitación

CÁLCULO DE PRECIPITACIONES MÁXIMAS ANUALES PARA DIFERENTES PERIODOS DE RETORNO USANDO LAS DISTRIBUCIONES NORMAL, LOGNORMAL, LOG GUMBEL, Y GUMBEL PARA PRECIPITACIONES MÁXIMAS INSTANTÁNEAS				
ESTACIÓN: HUANUCO				
DEPARTAMENTO: HUANUCO				
N°	ESTACIÓN	AÑO	P _{máx} (mm)	Log P
1	HUANUCO	1965	77	1.886490725
2	HUANUCO	1966	96.1	1.982723388
3	HUANUCO	1967	117.7	2.070776463
4	HUANUCO	1968	78.2	1.893206753
5	HUANUCO	1969	75.8	1.879669206
6	HUANUCO	1970	78.1	1.892651034
7	HUANUCO	1971	99.1	1.996073654
8	HUANUCO	1972	102.3	2.009875634
9	HUANUCO	1973	151.5	2.180412633
10	HUANUCO	1974	116.2	2.065206128
11	HUANUCO	1975	90	1.954242509
12	HUANUCO	1976	66.5	1.822821645
13	HUANUCO	1977	128.7	2.109578547
14	HUANUCO	1978	88	1.944482672
15	HUANUCO	1979	183.1	2.262688344
16	HUANUCO	1980	175.2	2.243534102
17	HUANUCO	1981	97.2	1.987666265
18	HUANUCO	1982	109.4	2.039017322
19	HUANUCO	1983	113.8	2.056142262
20	HUANUCO	1984	82.1	1.914343157
21	HUANUCO	1985	110.7	2.044147621
22	HUANUCO	1986	113.4	2.054613055
23	HUANUCO	1987	65	1.812913357
24	HUANUCO	1988	88.9	1.948901761
25	HUANUCO	1989	98.2	1.992111488
26	HUANUCO	1990	86.8	1.938519725
27	HUANUCO	1991	93.4	1.970346876
28	HUANUCO	1992	97.4	1.988558957
29	HUANUCO	1993	97.3	1.98811284
30	HUANUCO	1994	81.2	1.909556029
31	HUANUCO	1995	59	1.770852012
32	HUANUCO	1996	69.3	1.840733235
33	HUANUCO	1997	54.6	1.737192643
34	HUANUCO	1998	93.5	1.970811611
35	HUANUCO	1999	109.3	2.038620162
36	HUANUCO	2000	148.1	2.170555059
37	HUANUCO	2001	85.2	1.930439595
38	HUANUCO	2002	109.8	2.04060234
39	HUANUCO	2003	83.1	1.919601024
40	HUANUCO	2004	104.6	2.019531685
41	HUANUCO	2005	106.9	2.028977705
42	HUANUCO	2006	112.7	2.051923916
43	HUANUCO	2007	81.6	1.911690159
44	HUANUCO	2008	91.3	1.960470778
45	HUANUCO	2009	90.8	1.958085849
46	HUANUCO	2010	91.6	1.961895474
47	HUANUCO	2011	141.6	2.151063253
48	HUANUCO	2012	154.7	2.189490314
49	HUANUCO	2013	92	1.963787827
50	HUANUCO	2014	94	1.973127854
51	HUANUCO	2015	75.6	1.878521796
52	HUANUCO	2016	70.2	1.846337112
53	HUANUCO	2017	132.1	2.120902818
54	HUANUCO	2018	101	2.004321374
PROMEDIO (mm)			100.202	1.98664666
DESVIACIÓN ESTÁNDAR			27.046	0.11067840
COEFICIENTE DE VARIACIÓN (C.V.)			0.27	0.055711
COEFICIENTE DE ASIMETRÍA			1.13	0.332531761
K/6			0.188231918	0.05542196
N°			54	54

Figura 26

Distribución Normal para TR=50

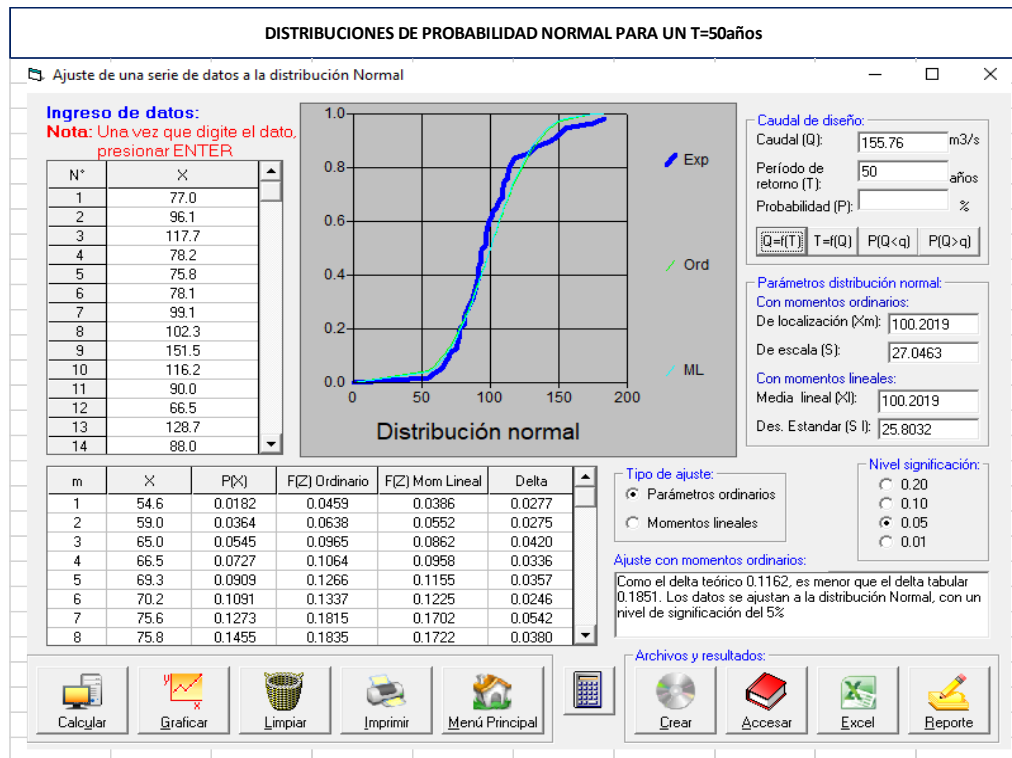


Figura 27

Distribución Log-Normal para TR=50

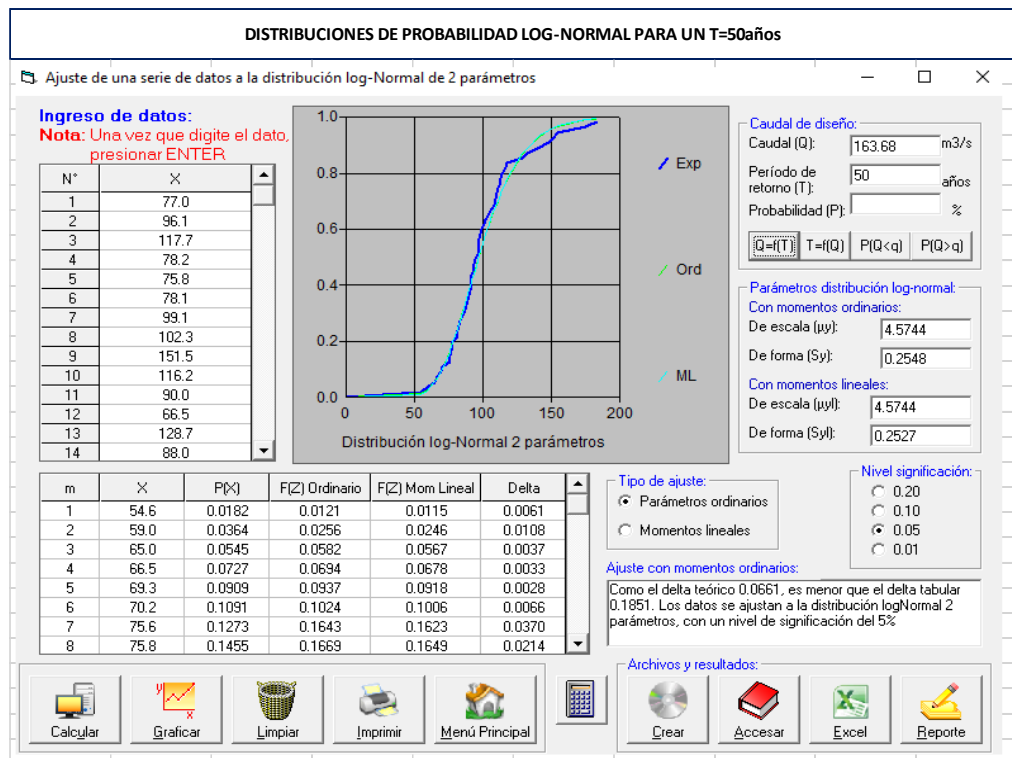


Figura 28

Distribución Gumbel para TR=50

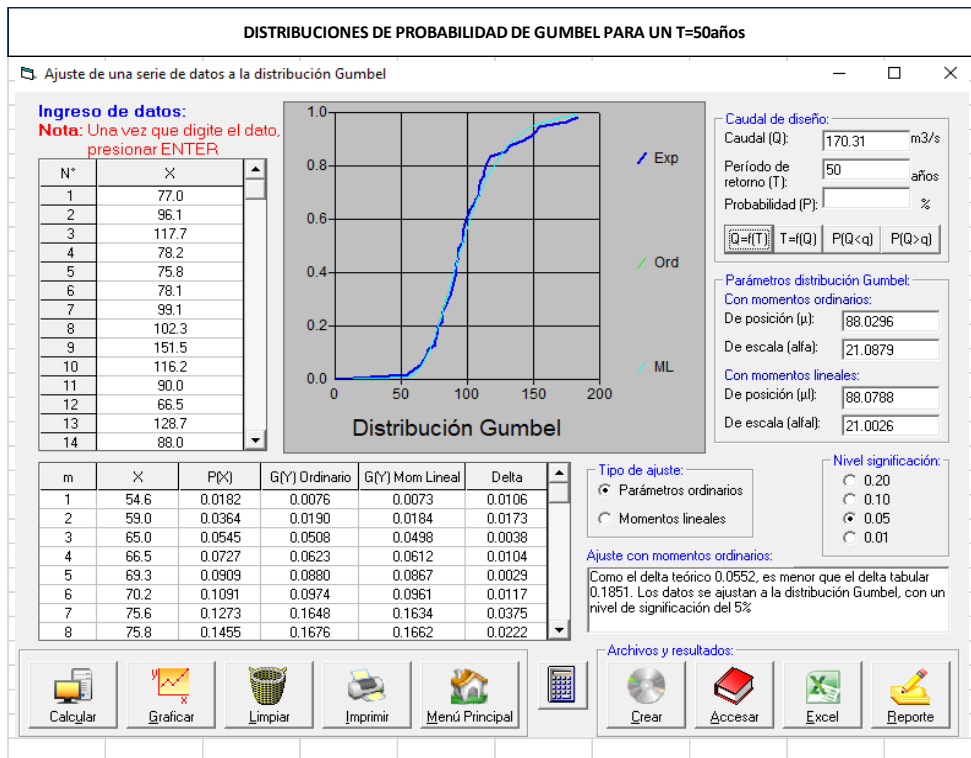


Figura 29

Distribución Log-Pearson para TR=50

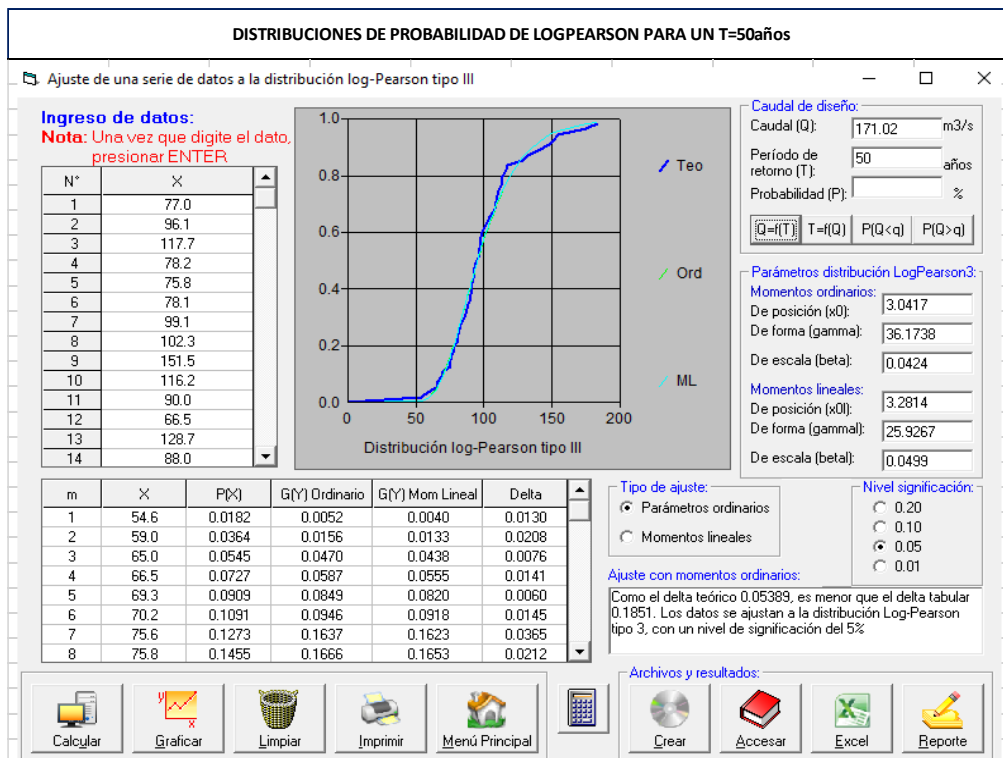


Tabla 27

Ficha de prueba de Kolmogorov-Smirnov

PRUEBA DE BONDAD DE AJUSTE KOLMOGOROV - SMIRNOV

Media	100.20
D.S.	27.05
Coef. Asim.	1.13
N	54
Var. Coef. Asi.	
D.S. Coef. Asi.	
Media	1.99
D.S.	0.11
Coef. Asim.	0.33
N	54.00
Var. Coef. Asi.	
D.S. Coef. Asi.	
k/6	0.05542

Prueba Kolmorov - Smirnov para Distribución Normal							
Intervalo	Probabilidad	z	Normal LS (mm.)	N° Datos	Frec. Rango	Frec. Acum	Δ
1	0.143	-1.06757	71.3280	6	0.111	0.111	0.0317
2	0.286	-0.56595	84.8950	9	0.167	0.278	0.0079
3	0.429	-0.18001	95.3332	12	0.222	0.500	0.0714
4	0.571	0.18001	105.0705	9	0.167	0.667	0.0952
5	0.714	0.56595	115.5087	8	0.148	0.815	0.1005
6	0.857	1.06757	129.0757	3	0.056	0.870	0.0132
7	1.000		183.1000	7	0.130	1.000	0.0000
				54	1.000		
Se toma el máximo del valor de Δ=							0.1005

Prueba Kolmorov - Smirnov para Distribución Log Normal								
Intervalo	Probabilidad	z	Log Ls	LN LS (mm.)	N° Datos	Frec. Rango	Frec. Acum	Δ
1	0.143	-1.06757	1.8685	73.8737	6	0.111	0.111	0.0317
2	0.286	-0.56595	1.9240	83.9476	9	0.167	0.278	0.0079
3	0.429	-0.18001	1.9667	92.6239	9	0.167	0.444	0.0159
4	0.571	0.18001	2.0066	101.5243	10	0.185	0.630	0.0582
5	0.714	0.56595	2.0493	112.0173	7	0.130	0.759	0.0450
6	0.857	1.06757	2.1048	127.2927	5	0.093	0.852	0.0053
7	1.000		1.9866	183.1000	8	0.148	1.000	0.0000
					54	1.000		
Se toma el máximo del valor de Δ=								0.0582

Prueba Kolmorov - Smirnov para Distribución Log Pearson									
Intervalo	Probabilidad	z	Kt	Log Ls	LP LS (mm.)	N° Datos	Frec. Rango	Frec. Acum	Δ
1	0.143	-1.06757	-1.055	1.8699	74.1192	6	0.111	0.111	0.0317
2	0.286	-0.56595	-0.600	1.9202	83.2177	9	0.167	0.278	0.0079
3	0.429	-0.18001	-0.232	1.9609	91.3961	7	0.130	0.407	0.0212
4	0.571	0.18001	0.125	2.0005	100.1225	11	0.204	0.611	0.0397
5	0.714	0.56595	0.525	2.0448	110.8574	8	0.148	0.759	0.0450
6	0.857	1.06757	1.070	2.1051	127.3712	5	0.093	0.852	0.0053
7	1.000				183.1000	8	0.148	1.000	0.0000
						54	1.000		
Se toma el máximo del valor de Δ=									0.0450

Prueba Kolmogorov-Smirnov para Distribuciones IIDROESTA DELTA TEORIC	
Normal	0.116200000
Log Normal	0.066100000
Log Pearson	0.053890000
Gumbel	0.055200000

Se toma el Mínimo Valos de Δ:

0.0539 → Log Pearson

Tabla 28

Ficha de datos Modelo GR2M y Témez

Nombre de la cuenca		Río Huallaga
Área de la cuenca (km²)		5580.72
Parámetros del modelo		Transf. Actual
x1: Capacidad de producción (mm)	6.20	490.46
x2: Parámetro de intercambio (mm)	0.74	0.74
Valores Iniciales		
S0 (max.: x1 mm)		245.23
R0 (max.: 60 mm)		30
Periodo		
Periodo de análisis (años)		54
Duración del periodod de prueba (años)		30
Año de partida		1965
Año de fin		2018
Precipitación media observada (mm/año)		68.2
Promedio de ETP observada (mm/año)		59.1
Promedio de caudal observado (mm/año)		18.2
Promedio de las raices de los caudales observados		4.0
Promedio logaritmico de los caudales observados		2.7
Criterios de eficiencia (%)		
Nash/S		0.76

Tabla 29

Valores de simulación modelo GR2M

Variables del modelo										
S1	P1	S2	S	P2	P3	R1	F	R2	R	Caudal Simulado
298.37	23.86	289.64	272.12	17.53	41.39	71.39	-18.56	52.82	21.48	31.34
331.43	36.79	315.17	291.39	23.78	60.57	82.04	-21.34	60.71	20.21	40.50
356.95	52.14	320.79	295.47	25.32	77.47	97.68	-25.40	72.28	36.31	35.97
340.57	33.09	279.14	263.83	15.31	48.40	84.71	-22.03	62.68	57.02	5.66
313.20	26.43	233.84	225.95	7.88	34.31	91.34	-23.75	67.58	63.82	3.77
282.83	21.23	270.84	257.14	13.69	34.92	98.74	-25.68	73.06	59.73	13.32
321.33	34.91	310.69	288.09	22.59	57.50	117.24	-30.49	86.75	86.03	0.72
347.03	43.37	337.67	307.33	30.34	73.70	159.74	-41.54	118.20	93.25	24.95
382.43	76.40	376.05	332.19	43.86	120.26	213.51	-55.52	157.98	157.17	0.82
385.53	62.86	382.50	336.07	46.43	109.28	266.45	-69.29	197.16	186.73	10.42
378.07	48.01	366.70	326.40	40.29	88.30	275.03	-71.53	203.51	137.11	66.40
360.20	32.71	351.50	316.63	34.87	67.58	204.69	-53.23	151.46	105.48	45.98
379.59	65.74	369.68	328.27	41.41	107.15	212.63	-55.30	157.33	120.71	36.62
371.23	45.04	354.03	318.29	35.74	80.78	201.49	-52.40	149.09	127.54	21.55
400.56	100.83	396.60	344.28	52.32	153.15	280.69	-73.00	207.70	182.44	25.26
413.02	106.46	405.38	349.19	56.19	162.65	345.10	-89.75	255.35	156.06	99.29
390.72	55.67	380.70	335.00	45.70	101.37	257.44	-66.95	190.49	155.33	35.16
384.93	59.47	374.03	330.96	43.08	102.55	257.88	-67.06	190.82	163.86	26.96
383.73	61.02	371.88	329.63	42.25	103.27	267.13	-69.47	197.66	194.25	3.41
369.76	41.97	360.27	322.32	37.94	79.91	274.16	-71.30	202.86	158.94	43.93
376.30	56.73	369.95	328.44	41.51	98.24	257.18	-66.88	190.30	124.08	66.22
381.78	60.06	352.01	316.97	35.04	95.10	219.18	-57.00	162.18	136.81	25.37
351.65	30.32	339.72	308.73	30.98	61.30	198.12	-51.52	146.60	93.94	52.66
356.44	41.19	347.77	314.16	33.61	74.80	168.74	-43.88	124.86	99.20	25.65
364.89	47.47	355.19	319.05	36.14	83.62	182.82	-47.54	135.27	131.66	3.62

363.53	42.31	345.62	312.73	32.90	75.21	206.87	-53.80	153.07	147.97	5.10
361.63	44.50	357.87	320.78	37.08	81.58	229.55	-59.70	169.86	129.64	40.22
369.54	48.64	362.97	324.05	38.92	87.56	217.20	-56.48	160.71	67.81	92.90
371.97	49.38	362.23	323.58	38.65	88.03	155.84	-40.53	115.31	106.19	9.12
364.58	40.20	353.93	318.22	35.70	75.90	182.09	-47.35	134.74	116.28	18.46
349.77	27.45	338.38	307.82	30.56	58.01	174.29	-45.33	128.96	96.24	32.72
346.16	30.95	336.82	306.75	30.07	61.02	157.27	-40.90	116.37	109.30	7.07
337.71	23.64	331.65	303.17	28.49	52.13	161.42	-41.98	119.44	103.48	15.96
354.30	42.37	325.51	298.84	26.67	69.04	172.52	-44.86	127.65	103.28	24.37
358.48	49.66	346.45	313.28	33.17	82.83	186.11	-48.40	137.71	109.21	28.50
384.96	76.41	376.02	332.17	43.85	120.26	229.47	-59.68	169.80	167.46	2.34
373.07	44.30	363.28	324.24	39.03	83.33	250.79	-65.22	185.57	181.72	3.85
377.32	56.73	360.04	322.18	37.86	94.58	276.31	-71.86	204.45	159.24	45.21
364.33	40.95	360.55	322.51	38.04	78.99	238.24	-61.96	176.28	172.15	4.13
373.90	53.21	367.04	326.62	40.42	93.63	265.78	-69.12	196.66	183.76	12.90
377.87	55.66	368.06	327.26	40.80	96.46	280.22	-72.87	207.35	170.64	36.71
380.66	59.30	369.81	328.35	41.46	100.76	271.40	-70.58	200.82	180.00	20.82
368.53	41.42	356.87	320.14	36.73	78.15	258.15	-67.13	191.02	160.63	30.38
366.39	45.05	356.80	320.09	36.71	81.76	242.39	-63.04	179.36	165.78	13.58
366.13	44.76	360.12	322.23	37.89	82.65	248.43	-64.61	183.82	167.33	16.49
368.13	45.70	338.82	308.12	30.70	76.40	243.73	-63.38	180.35	129.57	50.77
379.02	70.70	366.70	326.41	40.29	111.00	240.57	-62.56	178.01	81.42	96.59
395.75	85.36	386.72	338.57	48.15	133.50	214.92	-55.89	159.03	131.67	27.36
380.77	49.80	375.30	331.73	43.57	93.37	225.04	-58.52	166.51	93.99	72.52
376.39	49.34	368.74	327.69	41.06	90.40	184.39	-47.95	136.44	68.56	67.88
365.36	37.92	361.26	322.96	38.30	76.22	144.78	-37.65	107.13	74.17	32.95
359.07	34.09	354.28	318.45	35.83	69.91	144.09	-37.47	106.62	103.75	2.87
382.18	68.37	374.32	331.13	43.19	111.56	215.30	-55.99	159.31	120.78	38.53
378.79	53.34	367.03	326.61	40.42	93.75	214.54	-55.79	158.74	88.57	70.17

Figura 30

Grafica de ajuste modelo GR2M

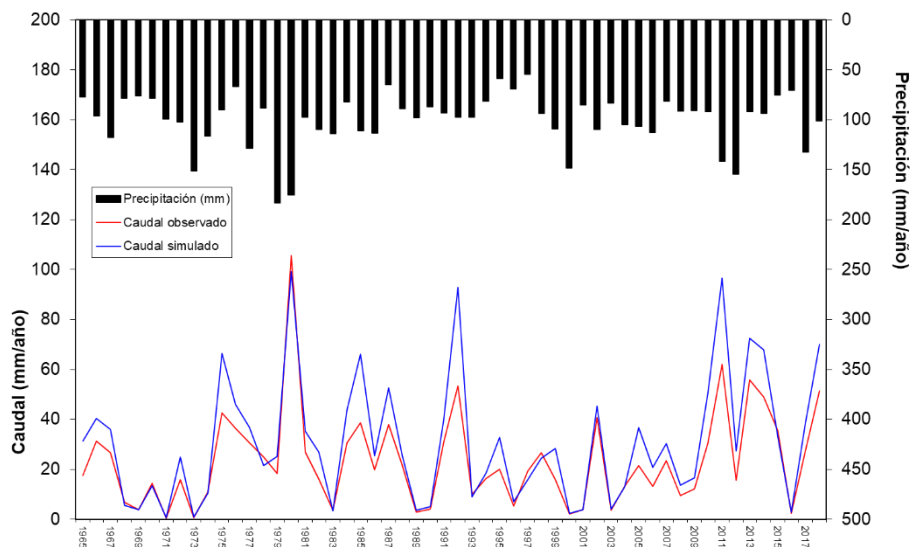


Figura 31

Dispersión modelo GR2M

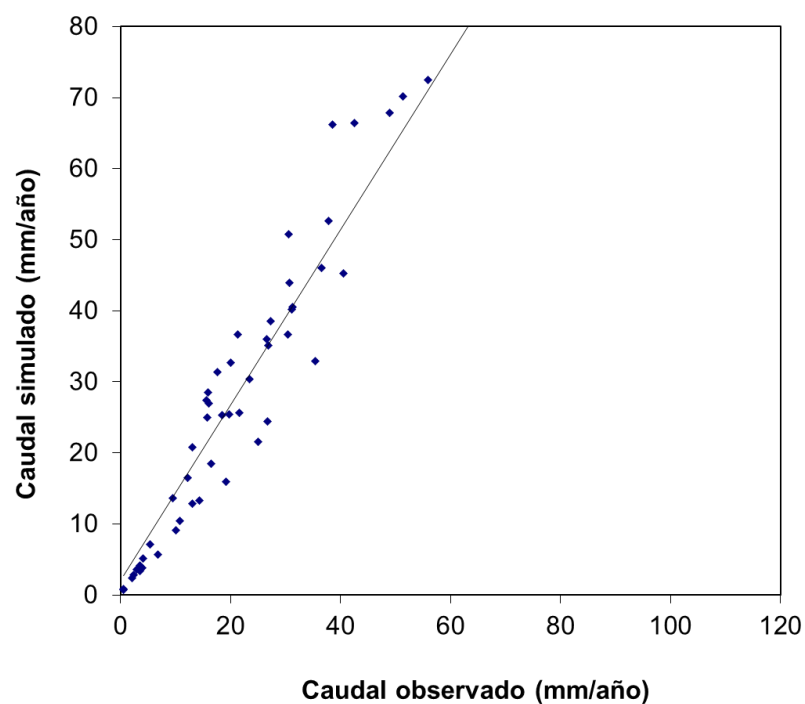


Tabla 30

Valores de simulación modelo Témez

Año	Caudales			
	Precipitación (mm)	ETP (mm)	Caudal (mm)	Caudal Simulado
1965	77	10.4	17.64	24.73
1966	96.1	18.4	31.32	34.26
1967	117.7	40	26.62	46.13
1968	78.2	71.25	6.80	30.94
1969	75.8	99.2	3.96	21.21
1970	78.1	14.8	14.32	19.64
1971	99.1	12.19	0.55	31.28
1972	102.3	10.3	15.85	43.31
1973	151.5	6.73	0.60	74.64
1974	116.2	3.18	10.85	71.13
1975	90	12.07	42.50	57.43
1976	66.5	9.4	36.55	43.37
1977	128.7	10.5	30.46	66.17
1978	88	18.45	24.98	52.28
1979	183.1	4.105	18.43	97.74
1980	175.2	7.85	105.58	108.44
1981	97.2	10.5	26.83	68.39
1982	109.4	11.48	16.06	66.22
1983	113.8	12.51	3.57	66.47
1984	82.1	10.16	30.68	51.78
1985	110.7	6.73	38.58	61.65
1986	113.4	31.8	19.82	60.80
1987	65	13.07	37.88	39.99

1988	88.9	9.42	21.64	45.47
1989	98.2	10.44	2.95	51.66
1990	86.8	19.4	4.14	47.31
1991	93.4	4.05	31.20	50.66
1992	97.4	7.02	53.49	54.79
1993	97.3	10.4	10.07	55.59
1994	81.2	11.48	16.44	48.19
1995	59	12.51	20.00	36.67
1996	69.3	10.3	5.39	36.79
1997	54.6	6.73	19.19	31.73
1998	93.5	31.8	26.78	40.62
1999	109.3	13.07	15.88	50.46
2000	148.1	9.42	2.17	75.67
2001	85.2	10.44	3.85	54.71
2002	109.8	18.42	40.58	59.69
2003	83.1	4.05	3.59	50.53
2004	104.6	7.29	13.13	58.58
2005	106.9	10.4	21.41	61.32
2006	112.7	11.48	13.06	64.36
2007	81.6	12.51	23.40	50.49
2008	91.3	10.3	9.50	51.18
2009	90.8	6.45	12.27	51.81
2010	91.6	31.8	30.57	48.06
2011	141.6	13.07	61.98	69.32
2012	154.7	9.42	15.68	86.53
2013	92	5.77	55.96	61.87
2014	94	8.12	48.90	57.85
2015	75.6	4.4	35.47	48.64
2016	70.2	5.18	2.35	43.74
2017	132.1	8.3	27.29	69.06
2018	101	12.48	51.41	60.68

Figura 32

Grafica de ajuste modelo Témez

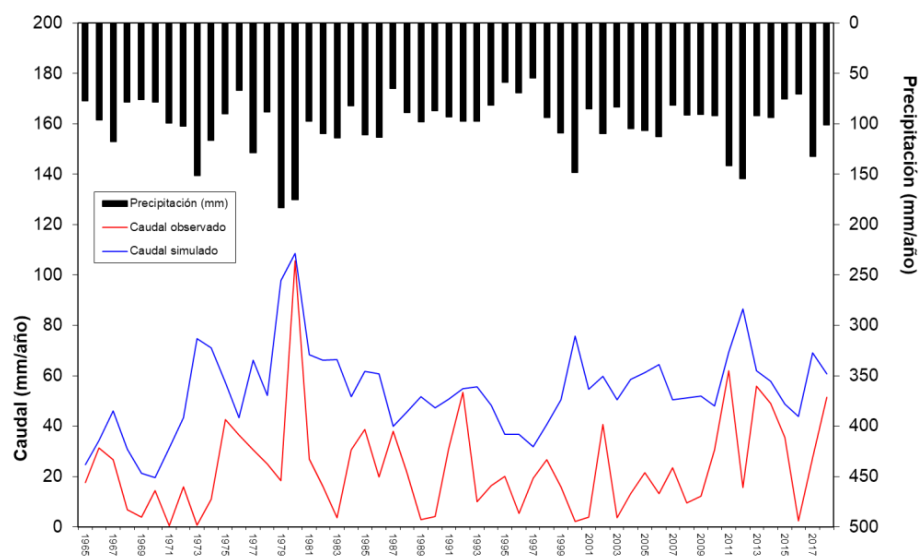


Figura 33

Dispersión modelo Témez

