

**UNIVERSIDAD CATÓLICA SEDES SAPIENTIAE**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**



Análisis comparativo de hidrogramas en la subcuenca del río  
Yuracyacu para el dimensionamiento de obras hidráulicas

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

**AUTORA**

Yessenia Yoridet Pizan Zegarra

**ASESOR**

Maiquel López Silva

Rioja, Perú

2024

**METADATOS COMPLEMENTARIOS****Datos del autor**

Nombres	Yessenia Yoridet
Apellidos	Pizan Zegarra
Tipo de documento de identidad	DNI
Número del documento de identidad	76678137
Número de Orcid (opcional)	

**Datos del asesor**

Nombres	Maiquel
Apellidos	Lopez Silva
Tipo de documento de identidad	DNI
Número del documento de identidad	49087489
Número de Orcid (obligatorio)	<a href="https://orcid.org/0000-0002-0946-6160">https://orcid.org/0000-0002-0946-6160</a>

**Datos del Jurado****Datos del presidente del jurado**

Nombres	Dayma Sadami
Apellidos	Carmenates Hernandez
Tipo de documento de identidad	DNI
Número del documento de identidad	49086915

**Datos del segundo miembro**

Nombres	Félix German
Apellidos	Delgado Ramírez
Tipo de documento de identidad	DNI
Número del documento de identidad	22264222

**Datos del tercer miembro**

Nombres	Víctor
Apellidos	Garcés Díaz
Tipo de documento de identidad	DNI
Número del documento de identidad	32860015

**Datos de la obra**

Materia*	estadística hidrológica, máximas avenidas, hidrogramas, aprendizaje automático, obras hidráulicas
Campo del conocimiento OCDE Consultar el listado: <a href="#">enlace</a>	<a href="https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.01.00">https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.01.00</a>
Idioma (Normal ISO 639-3)	SPA - español
Tipo de trabajo de investigación	Tesis
País de publicación	PE - PERÚ
Recurso del cual forma parte (opcional)	
Nombre del grado	Ingeniero Civil
Grado académico o título profesional	Título Profesional
Nombre del programa	Ingeniería Civil
Código del programa Consultar el listado: <a href="#">enlace</a>	732016

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



**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ACTA N° 086-2024-UCSS-FI/TPICIV**

**SUSTENTACIÓN DE TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO CIVIL  
FILIAL RIOJA: NUEVA CAJAMARCA**

**Los Olivos, 05 de diciembre del 2024**

Siendo las 10:05 horas del 05 de diciembre del 2024, utilizando los recursos para la videoconferencia disponibles en la Universidad Católica Sedes Sapientiae, se dio inicio a la sustentación de la Tesis:

**Análisis comparativo de hidrogramas en la subcuenca del río Yuracyacu para el dimensionamiento de obras hidráulicas**

Por la Bachiller en Ciencias de la Ingeniería Civil:

**PIZAN ZEGARRA, YESSANIA YORIDET**

Ante el Jurado calificador conformado por el:

Dra. CARMENATES HERNANDEZ, Dayma Sadami

Presidente

Dr. DELGADO RAMIREZ, Félix German

Secretario

Mgtr. GARCES DIAZ, Víctor

Miembro

Siendo las 11:10 horas, habiendo sustentado y atendido las preguntas realizadas por cada uno de los miembros del jurado; y luego de la respectiva deliberación, el jurado le otorgó la calificación de:

**APROBADO**

En mérito a la calificación obtenida se expide la presente acta con la finalidad que el Consejo de Facultad considere se le otorgue al Bachiller PIZAN ZEGARRA, YESSANIA YORIDET el Título Profesional de:

**INGENIERO CIVIL**

En señal de conformidad firmamos,

.....  
**Mgtr. GARCES DIAZ, Víctor**  
Miembro

.....  
**Dr. DELGADO RAMIREZ, Félix German**  
Secretario

.....  
**Dra. CARMENATES HERNANDEZ, Dayma Sadami**  
Presidente

**Anexo 2**

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

Lima, 18 de noviembre de 2024

Señor(a),

Dayma Carmenates Hernández

Jefe del Departamento de Investigación/Coordinador Académico de Unidad de Posgrado

Facultad Ingeniería UCSS

Reciba un cordial saludo.

Sirva el presente para informar que la tesis, bajo mi asesoría, con título: Análisis comparativo de hidrogramas en la subcuenca del río Yuracyacu para el dimensionamiento de obras hidráulicas, presentado por PIZAN ZEGARRA, YESSÉNIA YORIDET (Código: 2015102051 y DNI: 76678137) para optar el título profesional de Ingeniero Civil ha sido revisado en su totalidad por mi persona y **CONSIDERO** que el mismo se encuentra **APTO** para ser sustentado ante el Jurado Evaluador.

Asimismo, para garantizar la originalidad del documento en mención, se le ha sometido a los mecanismos de control y procedimientos antiplagio previstos en la normativa interna de la Universidad, **cuyo resultado alcanzó un porcentaje de similitud de 15%**. \* Por tanto, en mi condición de asesor, firmo la presente carta en señal de conformidad y adjunto el informe de similitud del Sistema Antiplagio Turnitin, como evidencia de lo informado.

Sin otro particular, me despido de usted. Atentamente,



---

LÓPEZ SILVA, MAIQUEL

DNI: 49087489

ORCID: 0000-0002-0946-6160

Facultad de Ingeniería UCSS

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

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

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

## DEDICATORIA

Este proyecto de investigación se lo dedico con todo mi corazón a Dios por haber derramado su bendición sobre mí y guiar cada uno de mis pasos, dándome la fuerza necesaria para superar cada obstáculo.

A mi familia, en especial a mi mamá Cristina Zegarra Crespín y a mi papá Constante Pizan Guillen, por haberme brindado su apoyo incondicional, y haberme inculcado buenos valores y principios para ser un ser humano de bien.

A mis hermanas y hermano por siempre estar para mí en todo momento, y brindarme sus sabios consejos y apoyo moral e incondicional

## AGRADECIMIENTO

Agradezco de todo corazón a Dios por permitir desarrollar mi proyecto de tesis y guiarme en todo este proceso, ya que sin Él nada hubiese sido posible.

Agradezco infinitamente al Dr. Maiquel López Silva, asesor de mi proyecto de tesis por brindarme la confianza, tiempo y apoyo incondicional para la realización eficiente de mi proyecto de tesis.

A la Dra. Dayma Sadamy Carmentes Hernández, por haberme brindado su conocimiento, tiempo y paciencia durante el curso Seminario de la Investigación II, y así como también, por haber sido de bastante ayuda para la elección mi proyecto de tesis.

A mis padres por ser el pilar fundamental en el todo el trayecto de mi formación profesional y brindarme su apoyo económico y moral para que pueda cumplir mis metas trazadas.

## RESUMEN

La presente investigación fue realizada con el propósito de hacer el análisis comparativo de los hidrogramas en la subcuenca del río Yuracyacu para el dimensionamiento de obras hidráulicas. Como metodología se utilizó una serie de teorías y herramientas actualizadas para el tema de investigación. Inicialmente se determinaron los parámetros geomorfológicos de la subcuenca; fue analizada una serie histórica de precipitaciones de 48 años con la respectiva completación de datos y consistencia. Se aplicaron 19 modelos matemáticos para definir el hidrograma de mejor ajuste en la subcuenca; para ello se realizó un riguroso análisis estadístico que integró la confiabilidad y validez, así como tres modelos de aprendizaje automático, selección no atribuida de Greedy y el método M5. Los resultados más importantes indican que la subcuenca tiene un área de 202.39 Km<sup>2</sup>, siendo una subcuenca alargada con baja susceptibilidad de avenidas, con una pendiente accidentada de 25.52 % y una densidad de drenaje baja. El análisis estadístico determinó que las estaciones son consistentes; consecuentemente, el método Water Resources Council corroboró que la estación Naranjillo es la más óptima para trabajar, puesto que no hay datos dudosos altos y bajos en la muestra. El modelo matemático de mejor ajuste fue el de Clark, con caudales de 31.6 m<sup>3</sup>/s y 350.20 m<sup>3</sup>/s, y según el modelo de aprendizaje automático con el método M5 dio un coeficiente de correlación de 0.932.

**Palabras claves:** estadística hidrológica, máximas avenidas, hidrogramas, aprendizaje automático, obras hidráulicas

## ABSTRACT

This research was carried out with the purpose of making a comparative analysis of the hydrographs in the Yuracyacu River sub-basin for the sizing of hydraulic works. A series of updated theories and tools for the research topic were used as a methodology. Initially, the geomorphological parameters of the sub-basin were determined; a historical series of rainfall of 48 years was analyzed with the respective data completion and consistency. Nineteen mathematical models were applied to define the best-fitting hydrograph in the sub-basin; for this, a rigorous statistical analysis was carried out that integrated reliability and validity, as well as three machine learning models, Greedy's non-attributed selection and the M5 method. The most important results indicate that the sub-basin has an area of 202.39 km<sup>2</sup>, being an elongated sub-basin with low susceptibility to floods, with a rugged slope of 25.52 % and a low drainage density. The statistical analysis determined that the stations are consistent; consequently, the Water Resources Council method confirmed that the Naranjillo station is the most optimal to work with, since there are no doubtful high and low data in the sample. The best-fit mathematical model was Clark's, with flows of 31.6 m<sup>3</sup>/s and 350.20 m<sup>3</sup>/s, and according to the machine learning model with the M5 method it gave a correlation coefficient of 0.932.

**Keywords:** hydrological statistics, maximum floods, hydrographs, machine learning, hydraulic works

## ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA .....	ii
AGRADECIMIENTO .....	iii
RESUMEN .....	iv
ABSTRACT.....	v
ÍNDICE GENERAL .....	vi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	x
ÍNDICE DE TABLAS .....	xiii
INTRODUCCIÓN .....	1
CAPÍTULO 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	2
1.1. Preguntas de investigación.....	2
1.1.1. Pregunta general.....	2
1.1.2. Problemas específicos.....	2
1.2. Objetivos de investigación .....	2
1.2.1. Objetivo general.....	2
1.2.2. Objetivos específicos .....	2
1.3. Justificación de la investigación .....	3
1.3.1. Justificación técnica .....	3
1.3.2. Justificación teórica .....	3
1.3.3. Justificación social .....	3
1.3.4. Justificación ambiental.....	4
1.4. Delimitación de la investigación.....	4
1.4.1. Delimitación del contenido .....	4
1.4.2. Delimitación espacial.....	4
1.5. Limitaciones de la investigación.....	5

CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO.....	6
2.1. Antecedentes de investigación .....	6
2.1.1. Antecedentes internacionales.....	6
2.1.2. Antecedentes nacionales .....	8
2.2. Bases teóricas .....	10
2.2.1. Marco conceptual hidrológico .....	10
2.2.2. Cuenca.....	11
2.2.3. Subcuenca .....	22
2.2.4. Estudio hidrológico.....	25
2.2.5. Software y herramientas .....	32
2.2.6. Modelos y métodos.....	33
2.3. Definición de términos básicos .....	40
CAPÍTULO 3. HIPÓTESIS Y VARIABLES .....	42
3.1. Hipótesis general.....	42
3.2. Hipótesis específicas .....	42
3.3. Variables .....	42
3.3.1. Concepto de variable independiente (CVI).....	42
3.3.2. Concepto de variable dependiente (CVD) .....	43
3.3.3. Variables intervinientes o secundarias.....	43
3.4. Operacionalización de variables (OV).....	43
CAPÍTULO 4. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN.....	44
4.1. Diseño de ingeniería.....	44
4.2. Métodos y técnicas del proyecto .....	44
4.3. Diseño estadístico .....	45
4.3.1. Población.....	45

4.3.2.	Muestra .....	45
4.3.3.	Muestreo .....	45
4.4.	Técnicas y herramientas estadísticas.....	46
4.4.1.	Técnicas de recolección de datos .....	46
4.4.2.	Técnicas de análisis de la información .....	46
4.4.3.	Instrumentos.....	46
<b>CAPÍTULO 5. DESARROLLO EXPERIMENTAL.....</b>		<b>48</b>
5.1.	Proyecto piloto, pruebas y ensayos .....	48
5.1.1.	Recopilación de la información .....	48
5.1.2.	Modelamiento de los hidrogramas.....	48
5.1.3.	Descripción de los procedimientos .....	49
5.2.	Aplicación estadística.....	54
5.2.1.	Análisis de consistencia .....	54
5.2.2.	Prueba de datos dudosos (Método Water Resources Council) .....	54
5.2.3.	Distribuciones .....	55
5.2.4.	Prueba de bondad de ajuste.....	55
5.2.5.	Tiempo de concentración .....	55
5.2.6.	Cálculo de máximas avenidas.....	57
<b>CAPÍTULO 6. ANÁLISIS COSTO/BENEFICIO .....</b>		<b>59</b>
6.1.	Beneficios no financieros.....	59
6.2.	Evaluación económica - financiera .....	59
<b>CAPÍTULO 7. RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>		<b>60</b>
7.1.	Cálculos y análisis de resultados.....	60
7.1.1.	Parámetros geomorfológicos de la subcuenca del río Yuracyacu .....	60
7.1.2.	Análisis estadístico de las precipitaciones .....	67

7.1.3.	Completación de datos faltantes de las estaciones.....	67
7.1.4.	Análisis de consistencia .....	71
7.1.5.	Determinación de datos dudosos (Método Water Resources Council) .....	76
7.1.6.	Prueba de bondad de ajuste.....	81
7.1.7.	Elaboración de las curvas IDF .....	81
7.1.8.	Tiempo de concentración .....	84
7.1.9.	Prueba de bondad de ajuste.....	85
7.1.10.	Modelación de hidrogramas.....	88
7.1.11.	Cálculo de errores .....	108
7.2.	Contrastación de hipótesis.....	112
7.3.	Conclusiones .....	113
7.4.	Recomendaciones.....	114
	REFERENCIAS.....	116
	ANEXOS .....	127

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	Ubicación de la cuenca del río Yuracyacu .....	5
Figura 2	Representación gráfica del ciclo hidrológico .....	10
Figura 3	Métodos de ordenación de los segmentos y cursos fluviales .....	20
Figura 4	Estación meteorológica mas cercana a la subcuenca .....	23
Figura 5	Estación limnigráfica.....	24
Figura 6	Regla limnimetrica .....	24
Figura 7	Pluviómetro .....	27
Figura 8	Pluviógrafo .....	28
Figura 9	División en franjas sección transversal del río .....	31
Figura 10	Medición de caudales con ADCP .....	32
Figura 11	Hidrograma triaangular .....	37
Figura 12	Hidrograma Unitario Sintético de Snyder. ....	40
Figura 13	El procedimiento a seguir, de acuerdo a los objetivos planteados .....	49
Figura 14	Procedimiento del Objetivo Específico1 .....	50
Figura 15	Procedimiento del Objetivo Específico 2 .....	51
Figura 16	Procedimiento del Objetivo Específico 3 .....	52
Figura 17	Procedimiento del Objetivo Específico 4.....	53
Figura 18	Cuenca delimitada .....	60
Figura 19	Delimitación de microcuencas. ....	63
Figura 20	Precipitación máxima 24 horas, promedio anual, en la estación Naranjillo .....	75
Figura 21	Precipitación máxima 24 horas, promedio anual, en la estación Naranjillo .....	78
Figura 22	Curvas IDF de la estación Naranjillo .....	83

Figura 23	Caudales máximos con distribuciones estadísticas para diferentes probabilidades. ...	87
Figura 24	Caudales máximos por métodos empíricos de Estación Naranjillo .....	90
Figura 25	Caudales máximos por métodos hidrológicos de la Estación Naranjillo .....	92
Figura 26	Hidrograma unitario SCS para diferentes probabilidades de ocurrencia .....	93
Figura 27	Hidrograma de Snyder para diferentes probabilidades de ocurrencia.....	94
Figura 28	Hidrograma de Clark para diferentes probabilidades de ocurrencia .....	95
Figura 29	Hidrograma de caudales máximos por diferentes métodos para una probabilidad de 50% .....	96
Figura 30	Hidrogramas de caudales máximos por diferentes métodos para una probabilidad de 20% .....	97
Figura 31	Hidrogramas de caudales máximos por diferentes métodos para una probabilidad de 10% .....	98
Figura 32	Hidrogramas de caudales máximos por diferentes métodos para una probabilidad de 5% .....	99
Figura 33	Hidrogramas de caudales máximos por diferentes métodos para una probabilidad de 4% .....	100
Figura 34	Hidrogramas de caudales máximos por diferentes métodos para una probabilidad de 3.33% .....	101
Figura 35	Hidrogramas de caudales máximos por diferentes métodos para una probabilidad de 2% .....	102
Figura 36	Hidrogramas de caudales máximos por diferentes métodos para una probabilidad de 1% .....	103
Figura 37	Hidrogramas de caudales máximos por diferentes métodos para una probabilidad	

de 0.5% .....	104
Figura 38 Hidrogramas de caudales máximos por diferentes métodos para una probabilidad de 0.2 % .....	105
Figura 39 Caudales máximos más significativos.....	107
Figura 40 Gráfico de dispersión para una probabilidad de 20% del año 2005.....	109
Figura 41 Gráfico de dispersión para una probabilidad de 0.2% del año 2005 .....	110
Figura 42 Hietograma de la estación Naranjillo para P 50% .....	133
Figura 43 Hietograma de la estación Naranjillo para P 20%.....	133
Figura 44 Hietograma de la estación Naranjillo para P 10%.....	134
Figura 45 Hietograma de la estación Naranjillo para P 5%.....	134
Figura 46 Hietograma de la estación Naranjillo para P 4%.....	135
Figura 47 Hietograma de la estación Naranjillo para P 3.3%.....	135
Figura 48 Hietograma de la estación Naranjillo para P 2%.....	136
Figura 49 Hietograma de la estación Naranjillo para P 1%.....	136
Figura 50 Hietograma de la estación Naranjillo para P 0.5%.....	137
Figura 51 Hietograma de la estación Naranjillo para P 0.2%.....	137

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Clasificación de pendientes medias .....	17
Tabla 2	Valores de interpretación de la densidad de drenaje.....	18
Tabla 3	Valores de Kn para datos dudosos.....	26
Tabla 4	Presupuesto del proyecto de investigación .....	59
Tabla 5	Parámetros geomorfológicos .....	61
Tabla 6	Parámetros geomorfológicos las microcuencas.....	65
Tabla 7	Cálculo de áreas según polígono de Thiessen (Km <sup>2</sup> ) .....	67
Tabla 8	Estación Naranjillo con datos completados.....	68
Tabla 9	Estación Rioja con datos completados.....	70
Tabla 10	Resultados de análisis de consistencia de la estación Naranjillo.....	73
Tabla 11	Estadística descriptiva de la estación Naranjillo.....	76
Tabla 12	Estadística descriptiva de la estación Rioja.....	79
Tabla 13	Resumen de prueba de bondad de ajuste - Estación Naranjillo.....	81
Tabla 14	Intensidades tiempo de duración de la estación Naranjillo.....	81
Tabla 15	Tiempo de concentración para la subcuenca del río Yuracyacu.....	84
Tabla 16	Prueba de bondad de ajuste (Smirnov-Kolmogorov) para la estación La Florida.....	85
Tabla 17	Cálculo de caudal por el método estadístico para las diferentes probabilidades (m <sup>3</sup> /s). .....	86
Tabla 18	Cálculo de caudal por los métodos empíricos .....	88
Tabla 19	Cálculo de caudal por métodos empíricos para diferentes probabilidades de la estación Naranjillo (m <sup>3</sup> /s).....	89
Tabla 20	Cálculo de caudal por métodos hidrológicos para diferentes probabilidades (m <sup>3</sup> /s)...	91

Tabla 21	Resumen de caudales máximos por diferentes métodos para la estación Naranjillo ( $\text{m}^3/\text{s}$ ).....	106
Tabla 22	Error relativo y R2 para las diferentes probabilidades .....	108
Tabla 23	Error relativo y R2 para las diferentes probabilidades .....	111
Tabla 24	Definición y operacionalización de variable .....	127
Tabla 25	Matriz de consistencia .....	128
Tabla 26	Precipitaciones máximas mensuales de la estación Naranjillo .....	129
Tabla 27	Precipitaciones máximas mensuales de la estación Rioja .....	131
Tabla 28	Teoría de errores para un caudal de $175.5 \text{ m}^3/\text{s}$ .....	138
Tabla 29	Teoría de errores para un caudal de $24.2 \text{ m}^3/\text{s}$ .....	138
Tabla 30	Teoría de errores para un caudal de $55.4 \text{ m}^3/\text{s}$ .....	139

## INTRODUCCIÓN

Los siniestros conforman nuestro medio ambiente, por tanto, nuestra sociedad comprende la situación que se crea debido a éstos. Entre los siniestros tenemos las anegaciones que son causadas por las fuertes precipitaciones, ocasionando el desborde de los ríos y produciendo movimiento de lodos, desgaste y anegación de los medios urbanos y rurales.

La base de este proyecto de tesis es la creación de un análisis comparativo de varios hidrogramas que muestran cómo los datos hidrológicos han cambiado a lo largo del tiempo y puede utilizarse para identificar inundaciones provocadas por precipitaciones significativas en la subcuenca. Por lo tanto, tener información más precisa sobre las dimensiones de las obras hidráulicas durante toda la fase de planificación y diseño beneficiará en este trabajo a los profesionales de la ingeniería civil.

Para el desarrollo de esta investigación se tomaron en consideración cuatro fases: La primera fase define la subcuenca del río Yuracyacu y se conocen sus características fisiográficas y geomorfológicas de la subcuenca; en la segunda fase se efectúa el análisis estadístico de las precipitaciones registradas en la estación hidrométrica La Florida y en las estaciones meteorológicas de Rioja y Naranjillo, para esto se cuenta con una data meteorológica de 48 años (de 1976 al 2023); en la tercera fase se elaboran las curvas IDF, se calculan y crean hietogramas utilizando programas para gráficos y matemáticos para determinar áreas susceptibles a inundaciones. En esta fase se calculan todas las variables necesarias para poder aplicar métodos estadísticos, empíricos e hidrográficos; y finalmente, en la fase cuatro se realizan los análisis comparativos de los 19 modelos de hidrogramas estudiados, y se elige el más adecuado para la subcuenca del río Yuracyacu.

## **CAPÍTULO 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

### **1.1. Preguntas de investigación**

#### ***1.1.1. Pregunta general***

¿Cómo realizar un análisis comparativo de hidrogramas en la subcuenca del río Yuracyacu para el dimensionamiento de obras hidráulicas?

#### ***1.1.2. Problemas específicos***

- ¿Cuáles son los parámetros geomorfológicos a tener en cuenta en el estudio para realizar el análisis comparativo de hidrogramas en la subcuenca del río Yuracyacu para el dimensionamiento de obras hidráulicas?
- ¿Qué modelos y/o métodos probabilísticos ayudarán a determinar los hidrogramas del río Yuracyacu para el dimensionamiento de obras hidráulicas?
- ¿Qué modelo matemático permitirá obtener los hidrogramas del río Yuracyacu?
- ¿Cómo comparar los hidrogramas de posible aplicación en la subcuenca del río Yuracyacu?

### **1.2. Objetivos de investigación**

#### ***1.2.1. Objetivo general***

Realizar el análisis comparativo de los hidrogramas en la subcuenca del río Yuracyacu para el dimensionamiento de obras hidráulicas.

#### ***1.2.2. Objetivos específicos***

- Determinar los parámetros geomorfológicos de la subcuenca del río Yuracyacu, Nueva Cajamarca.
- Realizar el análisis estadístico de las precipitaciones y la estación hidrométrica de la subcuenca del río Yuracyacu, Nueva Cajamarca.

- Realizar la modelación matemática utilizando diferentes métodos para la obtención de los hidrogramas.
- Comparar los hidrogramas de la subcuenca del río Yuracyacu, para el dimensionamiento de obras hidráulicas.

### **1.3. Justificación de la investigación**

#### ***1.3.1. Justificación técnica***

Mediante el uso del análisis comparativo de hidrogramas, de diecinueve métodos lineales para la inferencia del hidrograma de la subcuenca, se tomará el hidrograma que más se ajuste a las características fisiográficas y geomorfológicas de la subcuenca del río Yuracyacu.

#### ***1.3.2. Justificación teórica***

La investigación se ampara fundamentalmente en el conocimiento previo de los recursos hídricos, hidrológicos y meteorológicos; del empleo de herramientas numéricas, de literatura actualizada como el Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje, el Reglamento de la Ley N° 29338 - Ley de Recursos Hídricos, de la Autoridad Local del Agua (ALA); y Autoridad Nacional del Agua (ANA), y del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI).

Además, hay acceso completo a literatura sobre el tema en estudio en tesis, artículos de revistas, novelas y otras publicaciones, lo cual es determinante en el aporte teórico y el logro de los objetivos establecidos para este estudio.

#### ***1.3.3. Justificación social***

El desarrollo de este proyecto será de beneficio para los profesionales que planifiquen proyectos que requieran de datos hidrológicos mucho más precisos, lo cual beneficiará a más de 200 familias aproximadamente que residen cerca de la ribera del río Yuracyacu, puesto que se

podrán anticipar o en todo caso reducir el efecto de caudales elevados como cuando colapsa un puente o se pierden vidas humanas y materiales.

#### ***1.3.4. Justificación ambiental***

Los acontecimientos naturales no pueden precedirse y a menudo ocasionan mayor perjuicio a la humanidad al transformar el estado natural de una zona; con tal motivo es preciso tomar en cuenta los daños que causan en el desarrollo de cualquier proyecto a ejecutar.

En la actualidad existen registros de estos sucesos con los que se puede determinar el tiempo, la intensidad y las probabilidades de su ocurrencia; y para los cuales se deben tomar precauciones y estar preparados.

### **1.4. Delimitación de la investigación**

#### ***1.4.1. Delimitación del contenido***

La hidrogeotecnia es el campo de investigación relevante para este estudio, ya que se enmarca en la línea de investigación de estructuras, geotecnia y recursos hídricos. Para el dimensionamiento de las obras hidráulicas en el distrito de Nueva Cajamarca se realizaron estudios de hidrología, hidráulica y suelos en base a datos meteorológicos de los 48 años anteriores. Esto permitirá un examen comparativo de los hidrogramas.

#### ***1.4.2. Delimitación espacial***

La subcuenca del río Yuracyacu en el distrito de Nueva Cajamarca, provincia de Rioja, departamento de San Martín, es el sitio geográfico que sirve de delimitación espacial para el presente proyecto de estudio, y su ubicación exacta es la siguiente:

Latitud sur: 5°56'27.11" (Latitud Sur)

Latitud oeste: 77°18'33.70" (Longitud Sur Oeste)

Coordenada este: 18M 244328.70

Coordenada oeste: UTM 9342798.94

Altura: 869 m s.n.m.

### Figura 1

*Ubicación de la cuenca del río Yuracyacu*



*Nota.* Elaboración propia

#### 1.5. Limitaciones de la investigación

El extenso tiempo que tarda SENAMHI en responder a las solicitudes sobre la data meteorológica requerida del lugar de estudio en que se realizó la investigación. Así mismo, la ausencia de una estación hidrométrica en funcionamiento, puesto que desde el 2017 ya no se cuenta con datos de la estación hidrométrica “La Florida”; y finalmente los escasos antecedentes a nivel nacional y local.

## CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO

### 2.1. Antecedentes de investigación

#### 2.1.1. Antecedentes internacionales

Yáñez y Tapia (2017) en la tesis “Estimación de los HS según las características geomorfológicas de la cuenca del río Pindo Grande y afluente”, tuvieron como objetivo principal la estimación de los hidrogramas sintéticos en función de las características geomorfológicas de esta cuenca, dando como resultado que la cuenca es relativamente pequeña, tiene forma ovoide con relieve suave, y en la parte baja se presentan los mayores flujos a lo largo del semestre. La metodología utilizada en la investigación se basó en la observación directa, en el levantamiento de información de campo, el análisis estadístico y realizar el modelado de software (HEC-HMS). El desarrollo se delimitó a la cuenca hidrográfica, calculando los parámetros de forma, relieve y red de drenaje; posterior a ello se obtuvo la curva número y tiempo de concentración, con la cual se dio origen al cálculo de los caudales. Los autores concluyeron que la proyección de las coordenadas recabadas del trabajo de campo sobre los puntos de monitoreo en medición de caudales e infiltración, no se reflejan con exactitud en los mapas cartográficos del INAMHI, IGM y SIN del río Pindo Grande y el afluente S/N, ya que corresponde a la información geográfica más precisa y actualizada que se obtuvo como resultado del estudio realizado.

Balochi et al., (2014) en el artículo denominado “Análisis comparativo de tres hidrogramas unitarios sintéticos en dos cuencas mediterráneas de Chile, región del Maule”, tuvieron como objetivo realizar un análisis comparativo de tres métodos para obtener dichos hidrogramas. La metodología es experimental, enfocada en analizar dos cuencas mediterráneas en Chile con los métodos de Snyder, del "U.S. Bureau of Reclamation" y el de Temez. Para el desarrollo se empleó datos de tres tormentas reales cuya intensidad se clasificó como alta, media y baja, para obtener los

hidrogramas de escorrentía directa (HED) de las dos cuencas. La escorrentía respecto a los eventos de precipitación se estableció mediante el uso del método del número de curva. Concluyendo que, para el tipo de estudio realizado es muy importante la caracterización de la cobertura vegetal para determinarlo, ya que condiciona los parámetros de los HUS; así mismo, en lugares donde falta información fluviométrica, es fundamental el uso de dichos hidrogramas debido a que realiza un peritaje de flujos de la cuenca, así como también emplea variables de fácil medición, convirtiéndose en un instrumento sencillo y eficaz. Por ende, el empleo de los tres HUS observados es indiferente, puesto que no existió discrepancia. Consecuentemente el HUS de Temez es el único que presenta una discrepancia estadísticamente notoria entre las dos unidades hidrológicas. El HUS de Snyder presenta suspicacia en el caso de precipitaciones de gran magnitud, esencialmente por los elevados caudales alcanzados; en tal motivo no se recomienda el modelo de Temez en intensidades mayores a 100 mm/h1.

Ávila et al. (2015) realizaron su tesis titulada "Comparación de los métodos racional e hidrograma unitario para el cálculo de caudales en sectores hidrológicos rurales en el departamento la Molina"; para obtener por el título de ingeniero civil en la Universidad Católica de Colombia. Analizaron la confiabilidad de la aplicación del método racional mediante el uso de la metodología experimental aplicada y los métodos más aplicados para el cálculo en la investigación propuesta como el racional y el del hidrograma unitario; donde el primero muestra como limitación en el análisis debido a que solo se usa en áreas con una extensión máxima de 750 hectáreas, generando diferencia cuando se aplica el método del diagrama unitario. En tal sentido, los autores concluyeron que el empleo del método racional para el cálculo de caudal en cuencas es sumamente oportuno y eficaz por su sencillez, comparado con el desarrollo de cálculo del HU. Por ende, es relevante comprender los criterios relacionados al uso de cada metodología, y así efectuar las estimaciones

de las avenidas de modo eficaz y oportuno. Consecuentemente, se observó que la valoración de caudales por el método racional origina resultados de caudal notablemente elevados referentes al método del HU para áreas superiores a 2,5 Km<sup>2</sup>, y precipitaciones para tiempos de retorno menores a 25 años. Finalmente, cuando se emplea el método racional en extensiones superiores al límite mencionado, se incrementarán las obras de drenaje, elevando arbitrariamente los presupuestos de cualquier proyecto referente a obras. Por tanto, para extensiones superiores a 2.5 km<sup>2</sup> se manifiesta prescindir de éste y se convierte en indispensable la adopción de otros métodos como el del HU para la estimación de caudales más precisos de acuerdo con la realidad.

### **2.1.2. Antecedentes nacionales**

Mundaca (2020) en el estudio denominado “Simulación hidráulica con fines de estimación de las áreas inundables del río Yuracyacu en la ciudad de Nueva Cajamarca”, para optar el título de ingeniero civil en la UNJ, tuvo como objetivo principal simular el comportamiento hidrológico en estas áreas. La metodología empleada para identificar áreas inundables fue la aplicación del software ArcGIS (ArcMap), lo que permitió determinar los parámetros geomorfológicos de la subcuenca Yuracyacu, también con la simulación hidráulica HEC-RAS para los caudales, mediante información hidrológica (datos pluviométricos de 24 horas), y el levantamiento topográfico a lo largo del área de estudio; dándole un carácter descriptivo a la investigación. Por tanto, concluyó que el río Yuracyacu presenta modificaciones significativas de avenidas por las intensas lluvias con un caudal de 394.53 m<sup>3</sup>/s para un período de retorno de 200 años, lo cual indica una avenida elevada, que generaría una anegación sin previa manifestación, y que pone en peligro a los habitantes de Nueva Cajamarca.

Avellaneda y Montalvo (2019) realizaron el estudio "Análisis comparativo del método racional modificado Temez, Hidrogramas unitarios SCS, Clark y Snyder en la obtención de

caudales máximos para las subcuencas Cañad y Alto Chancay Lambayeque - Cuenca Chancay Lambayeque", para obtener el título de ingeniero civil en la Universidad Pedro Ruiz Gallo. La metodología fue experimental aplicada y para su desarrollo utilizaron los métodos de hidrogramas unitarios con el software Hec-HMS, el método Racional Modificado Temez con el uso de una hoja Excel, y con la proyección de los caudales registrados por la E.H. Cirato con distribución probabilística y el uso de métodos estadísticos; se obtuvo como resultado los caudales máximos y que se utilizaron como base para compararlas y concluir en que los métodos H.U. SCS y Racional Modificado Temez sobreestiman los caudales. Con el método de Snyder se obtiene caudales intermedios versus otros métodos, y con el método de Clark se obtiene caudales menores aunque se ajuste mejor en períodos de retornos altos.

Dávila y Oscar (2017) presentaron su tesis "Modelo hidrológico para la generación de crecidas máximas empleando hidrograma unitario instantáneo geomorfológico en la sub cuenca del río Shullcas", para optar por el título de ingeniero civil en la Universidad Nacional del Centro del Perú, el objetivo fue simular crecidas máximas con el uso de características geomorfoclimáticas. La metodología empleada es no experimental aplicada, de tipo longitudinal de tendencia con enfoque mixto. Se empleó métodos para recolectar datos pluviométricos e hidrométricos; usos y características hidrológicas del suelo, modelos digitales de elevación en formato shapefile; así como reconocer el campo de la subcuenca. Los autores concluyeron que los caudales generados reflejan el potencial hídrico desperdiciado que posee el río Shullcas en época de crecida; por lo tanto, estos caudales pueden emplearse como gasto de diseño para dimensionar la estructura hidráulica, asimismo, como metodología para otros estudios sobre cuencas de la región central del país sobre los cuales no se tiene datos hidrométricos.

## 2.2. Bases teóricas

### 2.2.1. Marco conceptual hidrológico

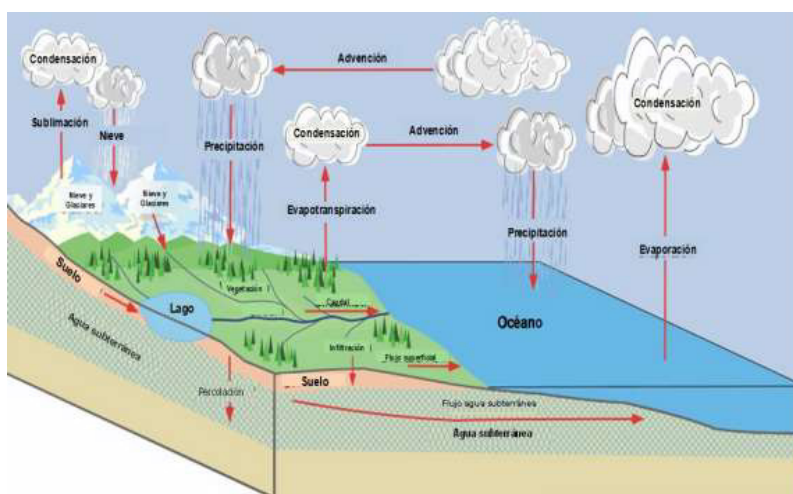
**Hidrología:** Es la ciencia que estudia el agua, su existencia, distribución, propiedades físicas y químicas, incidencia sobre el entorno ambiental, y su relación con los seres vivos. El entendimiento de la hidrología es importante debido a que las cuencas hidrográficas abastecen de agua para los diferentes usos en suelos y consumo urbano; y por tanto la cantidad y calidad del rendimiento hídrico se vuelve crítico (Gaspari et al., 2019).

**Precipitación:** Se considera al agua que cae de la atmósfera al suelo, como parte de un ciclo. En general, las metodologías para el cálculo de umbrales de precipitación se basan en la aplicación de métodos empíricos, métodos basados en modelos hidrológicos o métodos probabilísticos (Castillo, 2020).

**Ciclo hidrológico:** Es el curso del agua que discurre por la superficie; consecuentemente el agua que se encuentra sobre la superficie terrestre o muy cerca de ella se evapora bajo el efecto de la radiación solar y el viento (Cevallos, et al., 2024).

## Figura 2

*Representación gráfica del ciclo hidrológico*



*Nota.* Ordoñez (2011)

**Unidad hidrográfica:** Permitirá efectuar la verificación de las cuencas a evaluar, contribuyendo a reconocer y definir con exactitud el ámbito geográfico, político y de la sociedad que abarca la unidad hidrográfica; consecuentemente, facilitará realizar la descripción hidrográfica de las cuencas principales o secundarias que conforman el ámbito de evaluación (Autoridad Nacional del Agua, 2020).

### 2.2.2. *Cuenca*

La cuenca de drenaje de una corriente es el área de terreno donde todas las aguas caídas por precipitación se unen para formar un solo cuerpo de agua; y cada curso de agua tiene una cuenca bien definida para cada punto de su recorrido (Villón, 2022, p. 20).

a) **Tipos de cuencas hidrográficas.** Ordoñez (2011) clasifica a las cuencas en cinco grupos, las cuales son:

*Por su tamaño geográfico.* Las cuencas se clasifican en grandes, medianas y pequeñas, según sus respectivos tamaños geográficos y las características que presentan.

*Por su ecosistema.* Tenemos cuencas desérticas, tropicales, frías y húmedas, que se crean de manera natural en función del área o hábitat en el que se encuentran.

*Por su capacidad natural.* Por su vocación, capacidad natural de sus recursos, objetivos y características, las cuencas pueden clasificarse como hidroenergéticas, para agua potable, para agua de regadío, agua para navegación, para ganadería y de uso múltiple (Ordoñez, 2011).

*Por su relieve.* Considerando el relieve y accidentes del terreno, las cuencas pueden denominarse como planas, de alta montaña y accidentadas o quebradas (Ordoñez, 2011).

*Por la dirección de la evacuación de las aguas.* Se identifican tres tipos de cuencas:

– **Exorreicas o abiertas:** Son aquellas que drenan su líquido al mar o al océano.

- **Endorreicas o cerradas:** Son las que desfogan en lagunas, lagos o salares que no cuentan con comunicación fluvial al mar.
- **Arreicas:** Son aquellas donde las aguas se evaporan o se filtran en la superficie antes de encauzarse en una red de drenaje; perteneciendo a este tipo los arroyos, aguadas y cañadones de la meseta patagónica central, ya que no desaguan en ningún río u otro cuerpo hidrográfico de importancia (Vásconez et al., 2019).

**b) Parámetros geomorfológicos de una cuenca.** El análisis morfométrico es un análisis cuantitativo y matemático de la geomorfología que proporciona información sobre el funcionamiento hidrológico. Ayuda a comprender las características hidrogeológicas de una cuenca en relación con su topografía y patrones de flujo (Ramírez-Granados et al., 2021).

Ayudan a estimar la permeabilidad y el caudal, así como otras características hidrológicas relevantes de la cuenca que tienen un fuerte impacto en la conservación de los recursos naturales por la erosión y el transporte de sedimentos (Asfaw y Workineh, 2019).

Existen parámetros calculables que consideran la importancia de estos procesos, para establecer comparaciones y establecer cuencas afines de una forma preliminar (Albarracín et al., 2020).

**Parámetros generales.** Dentro de las características generales se recopilan los elementos fundamentales de una unidad hidrográfica, por lo que se recoge la información mínima que tenemos que saber para establecer una primera idea de la naturaleza y conducta de una cuenca (Ibáñez et al., 2011, p. 5).

- **Área de la cuenca (A).** Es el espacio terrestre total que abarca la cuenca y se determina por el ambiente demarcado por el perímetro; dicha recta se traza generalmente mediante la extracción de información de las fotografías aéreas en las que se observa el relieve o sobre un mapa

topográfico en relación a las curvas de nivel; probablemente sea el factor más importante en la relación escorrentía y característica morfológica (Intriago Zambrano et al., 2021).

- **Longitud (L).** Es la distancia con dirección “paralela” al cauce principal; usualmente el cauce principal no se extiende hasta el límite de la cuenca. Es imprescindible considerar un trazado desde la cabecera del cauce hasta el límite de la cuenca, tomando el camino más probable para el recorrido del agua precipitada; Montaña (2015, p. 24).
- **Perímetro (P).** Este parámetro define la forma de la cuenca; por ende, es la distancia longitudinal alrededor de la cuenca; que recorre la divisoria de aguas. Dicho parámetro se mide en unidades de longitud y se expresa normalmente en metros o kilómetros (Cardona, 2016).
- **Ancho medio (Am):** Es la relación que existe entre la superficie de la cuenca y la longitud del cauce principal, en tal sentido el ancho medio de la cuenca se calcula con la siguiente fórmula (Villón, 2022):

$$Am = \frac{A}{L}$$

*Nota.* Máximo Villon (2022)

- **Desnivel altitudinal (DA):** Diferencia entre la cota de nivel más alta y la más baja de la cuenca; dicha característica se relaciona con la variabilidad climática y ecológica puesto que una cuenca con mayor cantidad de pisos altitudinales puede albergar más ecosistemas al presentarse variaciones importantes en su precipitación y temperatura (Autoridad Nacional del Agua, 2021).

**Parámetros de forma.** La forma de una cuenca es necesaria para saber su comportamiento hidrológico, porque tendremos diferentes hidrogramas ante una lámina precipitada de igual magnitud y desarrollo; es por ello que algunos parámetros cuantifican las características morfológicas por medio de índices o coeficientes (Córdova, 2016).

- **Coefficiente de Gravelius (Cg).** Es aquel que asocia el perímetro de una unidad hidrográfica y el perímetro de un círculo de área con unidad adimensional; estima la relación entre el ancho promedio del área de captación y la longitud de la cuenca (Palacios y Loor, 2021).

$$K_C = \left( \frac{P}{2\sqrt{\pi A}} \right)$$

*Nota.* Palacios y Loor (2021)

Si el valor de  $K_C = 1$ , quiere decir que la microcuenca aparenta la forma circular y si  $K_C > 1$  Indica que la cuenca es de forma alargada (Ibáñez et al., 2011).

- **Rectángulo equivalente:** Es la conversión geométrica que facilita plasmar a la cuenca en su forma heterogénea con ciertas características de un rectángulo; es decir, de igual área, perímetro, índice de Gravelius, distribución de alturas, curva hipsométrica y distribución de superficie; en cuanto a sus condiciones de cobertura. Al ser un rectángulo, consta de dos lados, uno mayor L, otro menor l (Villon, 2022).

$$L = \frac{K\sqrt{A}}{1.12} \left[ 1 + \sqrt{1 - \left( \frac{1.12}{K} \right)^2} \right]$$

$$l = \frac{K\sqrt{A}}{1.12} \left[ 1 - \sqrt{1 - \left( \frac{1.12}{K} \right)^2} \right]$$

*Nota.* Máximo Villon 2022

Dónde:

L = lado mayor del rectángulo en km

l = lado menor del rectángulo en km

K = coeficiente de Gravelius

A = superficie de la cuenca en km<sup>2</sup>

- **Factores de forma de Horton.** Según la Autoridad Nacional del Agua (2019), es otro índice numérico con el que se puede expresar la forma y la mayor o menor tendencia crecientes de una cuenca; se estima a partir de la relación entre el área de captación y la longitud del cauce más largo de la microcuenca. Se expresa mediante la siguiente ecuación:

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

*Nota.* Autoridad Nacional del Agua (2019)

Donde:

$Ff$ : Factor de forma

A: Área de la cuenca

L: Longitud del cauce más largo

Si  $Ff = 1$ , este factor relaciona la forma de la microcuenca con la de un cuadrado, para regiones con esta forma imaginaria. Sin embargo,  $Ff > 1$  proporciona el grado de achatamiento de la microcuenca.

**Parámetros de relieve.** La Autoridad Nacional del Agua (2021) indica que el relieve de una cuenca influye más sobre la respuesta hidrológica que su forma; en general podemos afirmar que, a mayor relieve o pendiente, la generación de escorrentía se produce en lapsos de tiempo menores.

- **Curva hipsométrica:** Es la representación gráfica de cómo varía la característica del relieve de toda la superficie de la unidad, y se construye llevando al eje x de las abscisas los valores de la superficie drenada proyectada en km<sup>2</sup> o en porcentaje, obtenida hasta un determinado nivel, que se lleva al eje y de las ordenadas, generalmente en metros. Además, se puede decir que en los extremos de la curva tienen ciertas variaciones (Escobar et al., 2020).

- **Frecuencia de altitudes:** Es un complemento a la curva hipsométrica, y es una representación gráfica de la distribución porcentual de las superficies habitadas por diferentes elevaciones (Villon, 2022).

#### **Altitudes características**

- **Altitud media de la cuenca.** La elevación media de la cuenca se obtiene a partir de la curva hipsométrica, que equivale a la cota correspondiente al 50% del área de la cuenca (Autoridad Nacional del Agua, 2021).
- **Altitud de frecuencia media.** Es la altitud respecto al punto de abscisa media de la curva de frecuencia de altitudes; en ella, la mitad del área de la unidad hidrográfica está situada por encima de esa altitud y la otra mitad por debajo de ella (Administración Local de Agua, 2020).
- **Altitud más frecuente.** Corresponde al intervalo de abscisa máxima del diagrama de frecuencias altimétricas (Autoridad Nacional del Agua, 2021).
- **Pendiente.** Es un parámetro crucial en el análisis de toda la cuenca, ya que tiene una conexión significativa y complicada con la infiltración, la escorrentía superficial, la humedad del suelo, y la contribución de agua subterránea a la escorrentía (Villon, 2022).
- **Pendiente media de la cuenca.** Es uno de los parámetros fundamentales que determina el relieve de la misma y posibilita realizar semejanzas entre cuencas para ver los fenómenos erosivos que se manifiestan en el área (Cardona, 2014).

$$J = 100 * \frac{(\Sigma Li)(E)}{A}$$

Donde:

J = Pendiente media (%)

$\Sigma Li$  = Total de longitudes de curvas de nivel (km)

E = Igualdad de distancia entre curvas de desnivel (km).

A = área (km<sup>2</sup>)

**Tabla 1**

*Clasificación de pendientes medias*

<b>Pendiente %</b>	<b>Tipo de Relieve</b>
0-3	plano
3-7	suave
7-12	mediano
12-35	accidentado
35-50	fuerte
50-75	muy fuerte
>75	escarpado

*Nota.* Ortiz (2004)

### *Parámetros de la red de drenaje*

- **Densidad de drenaje.** Permite tener un mejor conocimiento de la complejidad y desarrollo del sistema de drenaje de la cuenca; en tal sentido, una mayor densidad de escurrimientos indica mayor estructuración de la red fluvial, o bien que existe mayor potencial de erosión; además representa la longitud de cauces por unidad de superficie y se calcula con la siguiente fórmula (Orrillo, et al., 2023):

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

*Nota.* Orrillo et al., 2023

Donde:

Dd: densidad de drenaje

L: Longitud de las corrientes efímeras, intermitentes y perennes de la cuenca en Km

A: Área de la cuenca en Km<sup>2</sup>

**Tabla 2***Valores de interpretación de la densidad de drenaje*

Densidad de drenaje (km/km <sup>2</sup> )	Categoría
<1	baja
1-2	moderada
2-3	alta
>3	muy alta

*Nota.* Densidad de drenaje según Delgadillo y Paéz (2008).

- **Longitud del cauce principal.** Es la medida del escurrimiento principal de la cuenca, medido desde la parte más alta hasta la salida. Dicho parámetro influye en el tiempo de concentración y en la mayoría de los índices morfométricos (Fuentes, 2004).
- **Perfil longitudinal de cauce.** Describe la forma en el que varía su cota a lo largo de su longitud y recorrido; de tal modo que refleja la pendiente, estableciendo su principio desde las condiciones exigidas por el tramo superior aguas arriba, hasta su desfogue en el punto de contacto con otro cauce, lago o laguna (Gaspari et al., 2019).
- **Pendiente media del cauce.** Es la conexión que hay entre el desnivel altitudinal del cauce y su longitud (Dolores y Gabriel, 2018).

$$J = \frac{G}{Y}$$

- **Ecuación de Taylor y Schwarz.** Taylor y Schwarz plantean calcular la pendiente media del mismo modo que un canal de sección transversal equitativamente que tenga la misma longitud y tiempo de recorrido que la corriente en cuestión (Villon, 2022).

Considera que un río está formado por n tramos de la misma longitud, cada uno de ellos con pendiente equitativa (SENAMHI, 2016).

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

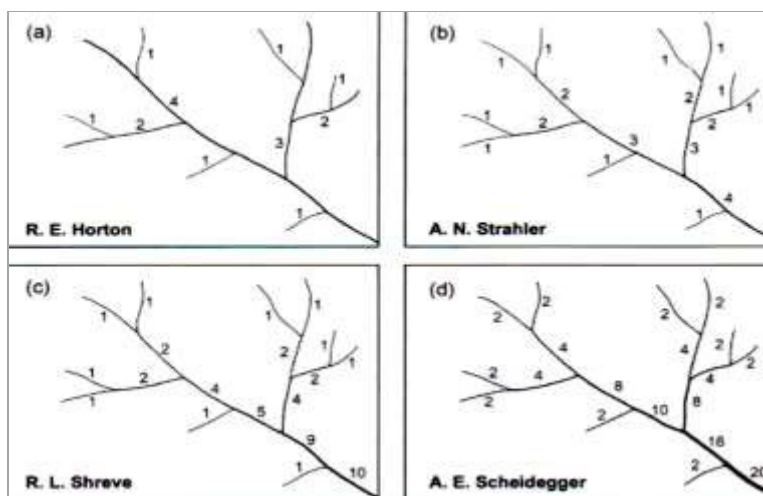
- **Orden de corrientes.** Es el número que tiene conexión angosta con la cifra de ramificaciones de la red de drenaje; por esa razón el cauce principal posee el orden más elevado, que es el orden de la cuenca (Gaspari, 2013).

Existen diversos autores que presentan múltiples sistemas de jerarquización, siendo los más empleados el de Horton (1945) y el de Strahler (1952).

- **Horton.** Los canales van enumerados en relación de la cantidad de afluentes que poseen, que son de 1 a 4, cada canal contiene un orden específico, que concernirá con el mayor que puede haber al final de su recorrido (Ibáñez, 2009).
- **Strahler.** Es muy parecido a Horton, con la diferencia de que un mismo canal puede tener segmentos de diferente orden en el recorrido de su curso, en función de los afluentes que le vienen en cada tramo; el orden no se aumenta cuando a un segmento de un determinado orden confluye con uno de orden menor (Ibáñez, 2009).
- **Shreve.** Define la magnitud de un canal como la cantidad de afluentes que confluyen en él (Ibáñez, 2009).
- **Scheidegger.** Sólo asigna números pares por cuestiones algebraicas (Ibáñez, 2009).

### Figura 3

*Métodos de ordenación de los segmentos y cursos fluviales*



*Nota.* Ibáñez (2009)

- **Frecuencia de ríos:** Este parámetro relaciona la suma total del orden de todos los cauces, es decir el número total de todos los ríos de la cuenca, con la superficie total, y muestra el valor del número de ríos por Km<sup>2</sup> (Cordova, 2016).

Según SENAMHI (2020), se expresa de la siguiente forma:

$$Fr = \frac{N \text{ ríos}}{A}$$

*Nota.* SENAMHI, 2020

Donde:

Fr: Frecuencia de ríos

Nº ríos: Número de ríos de la cuenca

A: Área de la cuenca en km<sup>2</sup>.

- **Extensión media de escurrimiento superficial (*Es*).** Este parámetro refleja la longitud media que recorre el agua de la precipitación hasta un curso de agua cercano.

$$Es = \frac{A}{4Li}$$

Donde:

$A$  = área (km<sup>2</sup>)

$Li$  = longitud total de corrientes (km)

- **Relación de bifurcación ( $Rb$ )**. Muestra la relación, que a menudo es constante en todos los órdenes de flujo, entre el número de canales en un orden determinado y los del nivel inmediato superior.

$$Rb = \frac{Ni}{Ni + 1}$$

*Nota.* Córdova 2016

donde:

$N_i$  = Cantidad de cursos de agua de una orden.

$N_i + 1$  = Cantidad de cursos de agua de orden inmediatamente superior.

- **Coefficiente de torrencialidad ( $Ct$ )**. Este parámetro se asocia con el número de orden 1 y el área de la cuenca en Km<sup>2</sup>, comprendiendo que, a superior número de cursos de primer orden y menor área, la tormenta de la cuenca será mayor (López y Romero, 1987, pp. 44-62).

Teniendo la siguiente fórmula:

$$Ct = \frac{N1}{A}$$

*Nota.* López y Romero, 1987

Donde:

$Ct$  = Coeficiente de torrencialidad

$N1$  = Número total de corrientes de primer orden

$A$  = Área de la cuenca en km<sup>2</sup>

### 2.2.3. *Subcuenca*

Una subcuenca viene a ser un “Conjunto de microcuencas que drenan a un solo cauce con caudal fluctuante pero permanente.” (Ordoñez, 2011, p. 10).

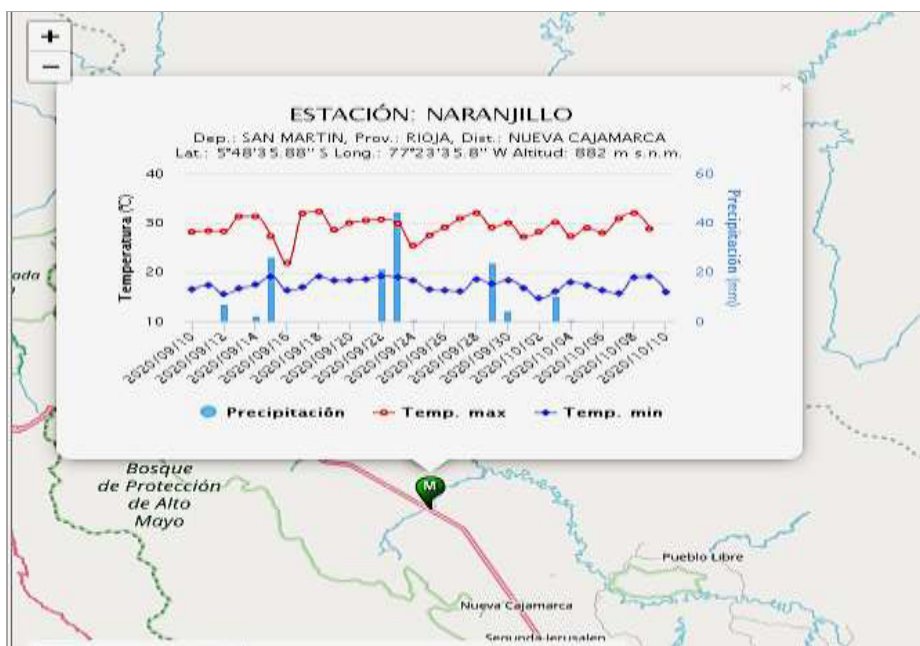
#### **Estaciones subcuenca del río Yuracyacu**

*Estación meteorológica.* Es un dispositivo que recoge los datos de distintas variables atmosféricas que son de interés para la meteorología, obteniendo la información meteorológica. Es una de las herramientas más importantes para la toma de decisiones en la agricultura (Weiss y Robb, 1986). Entre sus aplicaciones podemos citar el cálculo de las necesidades de agua de los cultivos y la programación de riegos, el diseño de los sistemas de riego y drenaje, la lucha integrada contra plagas y enfermedades de los cultivos, el desarrollo de modelos de cultivos y la lucha contra heladas (Meyer y Hubbard, 1992).

Para el desarrollo de la vigente investigación se tomará la información de la data meteorológica histórica más cercana al sitio donde se llevará a cabo la investigación; de este modo, siendo la más apropiada la “estación Naranjillo” que, está ubicada en el centro poblado Naranjillo, distrito de Nueva Cajamarca, provincia de Rioja (lat: 5° 48'35.88, long: 77°23'35.8 y altitud: 882 m s.n.m.).

## Figura 4

*Estación meteorológica mas cercana a la subcuenca*

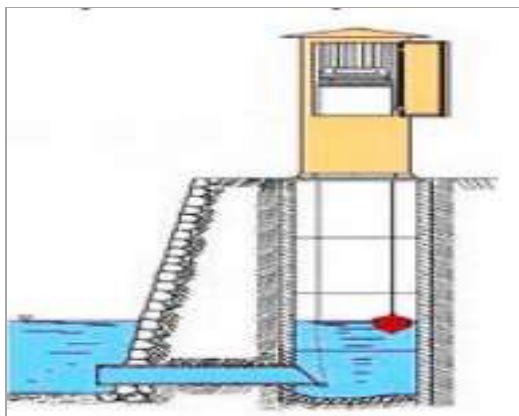


Nota. Datos meteorológicos en Rioja – SENAMHI

**Estación hidrométrica.** Consiste en reglas graduadas colocadas escalonadamente en un río, arroyo, laguna o embalse que miden la cantidad de agua disponible en estos cuerpos de agua, que son originados por las lluvias y los escurrimientos (SENAMHI, 2018).

Es un lugar fijo en una determinada sección del río, donde se realiza un conjunto de operaciones que permitan determinar el caudal circulante en un momento y tiempo determinado (Vera, 2001).

Estas estaciones deben estar ubicadas en zonas de fácil acceso donde el lecho del río sea estable, es decir que no se erosione, sedimente o se inunde fácilmente, y donde el tramo del río sea lo más recto posible (50 m aguas arriba y aguas abajo de la estación), y así evitar distorsión en la información obtenida (SENAMHI, 2018).

**Figura 5***Estación limnigráfica*

*Nota.* Vera (2011)

***Limnómetro o simple.*** Es un tipo de estación que solo cuenta con el instrumento de medición denominado limnómetro, que registra el nivel del río respecto a una referencia fija, Este tipo de estaciones realiza cuatro lecturas diarias de nivel en épocas de estiaje, y cinco en épocas de avenida (Hernández, et al., 2014).

**Figura 6***Regla limnimétrica*

*Nota.* Vera (2011)

#### **2.2.4. Estudio hidrológico**

**2.2.4.1. Delimitación de una cuenca (software ArcGIS).** Se diseña la línea divisoria conocida como parteaguas ubicada en la parte más alta, divide el curso de la escorrentía a una u otra cuenca.

Hoy en día, debido al progreso de la tecnología se puede efectuar el proceso mediante el software ArcGIS, HecGeoHms, el cual favorece la adquisición de datos especificados anteriormente y con menos margen de error.

**2.2.4.2. Precipitaciones.** Es toda forma de humedad que se origina en las nubes y que llega a la superficie terrestre de distintas formas (Villón, 2022, p. 69):

- Llovizna
- Lluvia
- Escarcha
- Nieve
- Granizo

**2.2.4.3. Elementos que ocasionan las precipitaciones.** Entre los elementos más importantes que forman precipitaciones encontramos cinco (Rodríguez, et al., 2004):

- Presión barométrica
- Temperatura
- Humedad
- Radiación solar
- Viento

#### 2.2.4.4. Análisis de precipitación máxima en 24 horas

*Identificación de datos dudosos.* Según Fuentes (2004), los datos dudosos son puntos de la información que se alejan significativamente de la tendencia de la información restante; así mismo, la inserción o eliminación de dichos datos puede influir notablemente en el tamaño de los parámetros estadísticos calculados para la información, sobre todo en muestras pequeñas.

De acuerdo con el Water Resources Council (1981), si la asimetría de la estación es mayor que +0,4, se consideran primero las pruebas para detectar datos dudosos altos; si la asimetría de la estación es menor que -0,4, primero se consideran pruebas para detectar datos dudosos bajos; así mismo cuando la asimetría de la estación se encuentre entre  $\pm 0,4$  se debe emplear pruebas para determinar datos dudosos altos y bajos, antes de eliminar cualquier dato dudoso del conjunto de datos.

$$YH = \hat{y} + KnSy \text{ datos dudosos altos}$$

$$YL = \hat{y} - KnSy \text{ datos dudosos bajos}$$

**Tabla 3**

*Valores de Kn para datos dudosos*

Tamaño de muestra	Kn	Tamaño de muestra	Kn	Tamaño de muestra	Kn	Tamaño de muestra	Kn
10	2.036	24	2.467	38	2.661	60	2.837
11	2.088	25	2.486	39	2.671	65	2.866
12	2.134	26	2.502	40	2.682	70	2.893
13	2.175	27	2.519	41	2.692	75	2.917
14	2.213	28	2.534	42	2.7	80	2.94
15	2.247	29	2.549	43	2.71	85	2.961
16	2.297	30	2.563	44	2.719	90	2.981
17	2.309	31	2.577	45	2.727	95	3
18	2.335	32	2.591	46	2.736	100	3.017
19	2.361	33	2.604	47	2.744	110	3.049

Tamaño de muestra Kn	Kn	Tamaño de muestra Kn	Kn	Tamaño de muestra Kn	Kn	Tamaño de muestra Kn	Kn
20	2.385	34	2.616	48	2.753	120	3.078
21	2.408	35	2.628	49	2.76	130	3.104
22	2.429	36	2.639	50	2.768	140	3.129
23	2.448	37	2.65	55	2.804		

*Nota.* Chow et al., (1994)

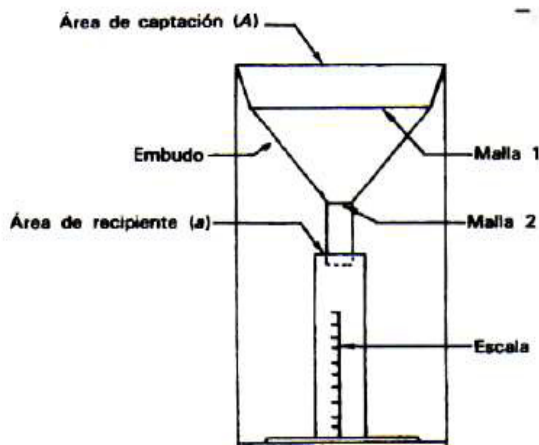
#### 2.2.4.5. Elementos de medición de precipitación

**Pluviómetro.** Es el instrumento que sirve para medir la cantidad de precipitación caída en un determinado lugar.

Los pluviómetros son formados por un recipiente cilíndrico graduado de área transversal ‘a’, al que descarga un embudo que capta el agua de lluvia, y cuya área de captación es ‘A’ (Aparicio, 1992). El área de captación ‘A’ es normalmente 10 veces mayor que el área del recipiente ‘a’, con el objeto de que se puedan leer sencillamente milímetros o aún fracciones de milímetros (Alor, 2009).

#### Figura 7

##### *Pluviómetro*

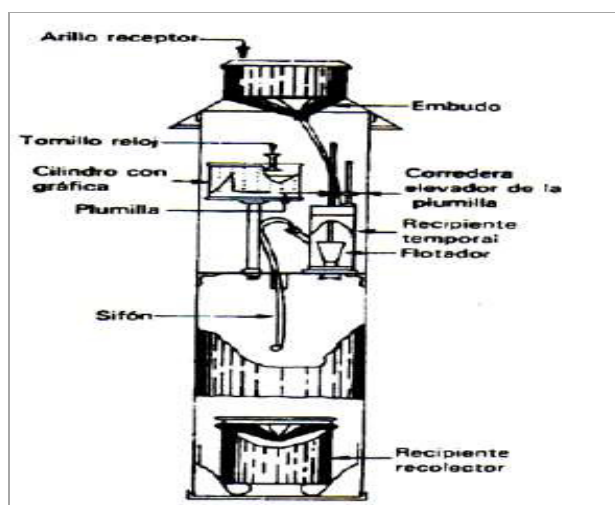


*Nota.* Alor (2009)

**Pluviógrafo.** Son semejantes a los pluviómetros, con la diferencia que tienen un mecanismo para producir un registro continuo de precipitación (Aparicio, 1989). El mecanismo está formado por un tambor que gira a velocidad uniforme, sobre él se coloca un papel graduado especial, y en el recipiente se coloca un flotador que se une mediante un juego de varillas a una plumilla, que marca las alturas de precipitación en el papel (Alor, 2009).

### Figura 8

#### *Pluviógrafo*



*Nota.* Alor (2009)

**2.2.4.6. Método para el cálculo de precipitación media.** Según Alvarado (2019), los métodos son los siguientes:

**Método del promedio aritmético.** Es el promedio de los valores de la variable registrada en la cuenca (Singh, 1988).

Es el método que provee una buena estimación si las estaciones pluviométricas están distribuidas uniformemente dentro de la cuenca; además, el área de la cuenca es bastante plana y la variación de las medidas pluviométricas entre las estaciones es pequeña (Juárez, 2014).

Fórmula para el cálculo de la precipitación media.

$$P_m = \frac{\sum_{i=1}^n P_i}{n}$$

$$P_m = \frac{P_1 + P_2 + P_3 + \dots + P_n}{n}$$

Donde:

$n$  = Número de estaciones

$P_m$  = Precipitación media

$P_1, P_2, P_3 \dots P_n$  = Precipitación en cada una de las estaciones

**Método del Polígono de Thiessen.** Se puede aplicar para una distribución no uniforme de estaciones pluviométricas; provee resultados más exactos con un área de cuenca aproximadamente plana, pues no considera influencias orográficas (Juárez, 2014).

$$P_m = \frac{\sum_{i=1}^n A_i * P_i}{A_t}$$

Donde:

$n$  = Número de polígonos

$P_m$  = Precipitación media sobre la cuenca

$A_t$  = Área total de la cuenca

$A_i$  = Área de polígono  $i$

$P_i$  = Precipitación en la estación  $i$

**Método de las Isoyetas:** Es el método de mayor precisión, pues permite la consideración de los efectos orográficos en el cálculo de la lluvia media sobre la cuenca en estudio; y se realiza mediante el trazado de curvas de nivel (Zapata, 2008).

#### 2.2.4.7. Prueba de bondad de ajuste de Smirnof – Kolmogorov

Consiste en comparar las diferencias en valor absoluto entre la probabilidad empírica y la probabilidad teórica seleccionada; luego se toma el valor máximo que se denomina discrepancia máxima calculada (Aparicio, 2018).

#### 2.2.4.8. Métodos basados en la medición del escurrimiento superficial

**Método del flotador.** Es un método de campo, simple y rápido para estimar el caudal de agua que pasa en una sección transversal del río; con este método se calculan las velocidades superficiales de la corriente de un canal o río (SENAMHI, 2019).

$$Q = K * V * A$$

*Nota.* SENAMHI, 2019

**Método volumétrico.** Se usa para corrientes pequeñas como nacimientos de agua o riachuelos, siendo el método más preciso, a condición de que el depósito sea lo suficientemente grande y de que pueda medir su capacidad de forma precisa. Se obtiene mediante la siguiente fórmula (Alvarado, 2017):

$$Q = \frac{V}{T}$$

*Nota.* Alvarado (2017)

Donde:

Q = es el caudal expresado en m<sup>3</sup> /s

V = volumen dado en m<sup>3</sup>

T = Tiempo en segundos

**Método del correntómetro.** Las mediciones con el correntómetro se utilizan para la determinación precisa de la velocidad directa, siempre que no haya demasiada materia suspendida

que pueda obturar el medidor, y se obtiene hasta 30 mediciones separadas de media, mínima y máxima velocidad, que se pueden almacenar en la memoria (Atunez, 2014).

$$Q = V * A$$

*Nota.* Albarado, 2017

Donde:

Q=caudal m<sup>3</sup>/s

A= área de la sección en m<sup>3</sup>

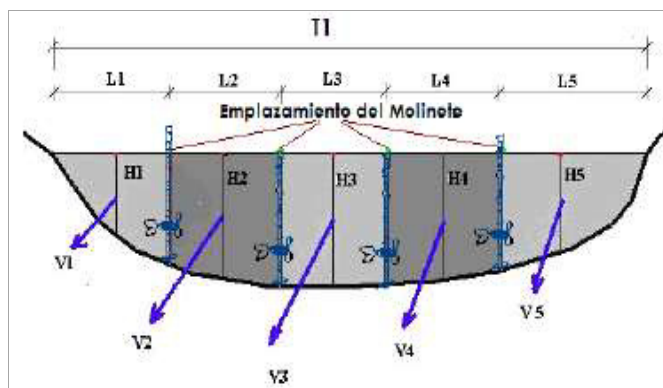
V= velocidad del agua s

**Método del molinete.** Es el método más común, mide la velocidad de la corriente en varios puntos del mismo vertical y en varias verticales de la sección del cauce, mientras que mide la anchura exacta del cauce y la profundidad en cada vertical; Esto permite establecer la sección con bastante precisión (Sevilla, 2018).

La medición con molinete o correntómetro se basa en el conteo del número de revoluciones que da una hélice colocada en el sentido de flujo; el número de revoluciones se da a conocer a través de señales sonoras, visuales o por contadores eléctricos (Villón, 2022)

### Figura 9

*División en franjas sección transversal del río*



*Nota.* Cahuana & Yugar (2009)

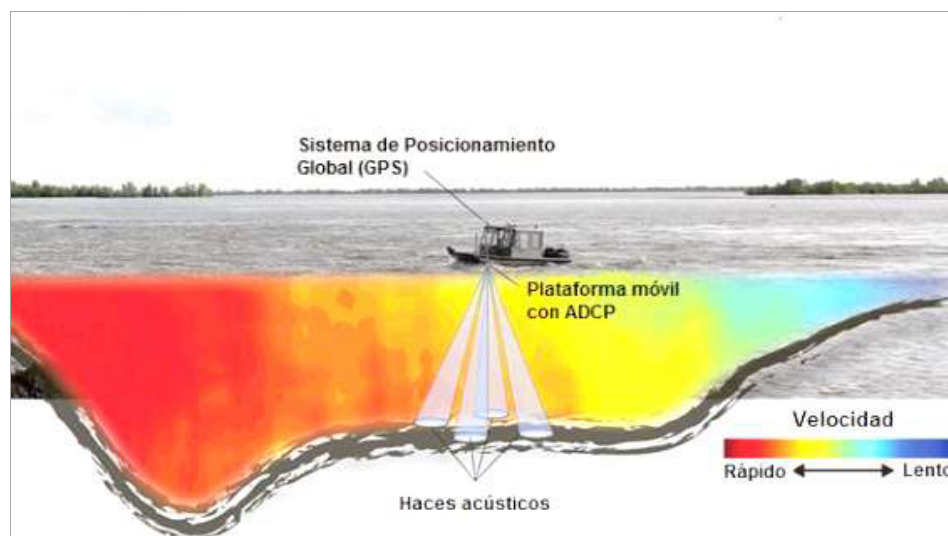
### **Medición de caudales mediante perfiladores de corriente acústicos Doppler (adcp):**

los perfiladores de corriente acústicos Doppler (ADCP) son instrumentos basados en el efecto Doppler para medir las componentes de la velocidad del agua en tres dimensiones en diferentes capas de la columna de agua a lo largo de un perfil (Flores, 2016).

**Medición de caudal con ADCP desde plataformas móviles:** Las mediciones con ADCP se realizan atravesando los cursos de agua (por lo general ríos o canales), por medio de plataformas móviles; en su mayoría estas plataformas móviles son embarcaciones comandadas por personal a bordo o, en caso de esto no ser posible, se utilizan plataformas comandadas por medio de cables desde puentes o desde las márgenes del curso de agua a través de roldana (Flores, 2016).

### **Figura 10**

*Medición de caudales con ADCP*



*Nota.* Fricker (2014)

#### **2.2.5. Software y Herramientas**

- **AutoCAD Civil 3D:** “Es una herramienta específica para diseño gráfico de vías, carreteras, cálculo, perfiles y animaciones entre otras cosas” (Renard, 2018, p. 12).

- **ArcGIS:** Es un software que permite con mayor facilidad realizar la delimitación de unidades hidrográficas.
- **HecGeoHms:** Es una herramienta que nos brinda la modelación de las subcuencas mediante el ArcGIS, teniendo una compatibilidad con el Hec Hms.
- **Trend:** Es un software que permite realizar el análisis de consistencia de los datos meteorológicos con mayor facilidad.
- **Hec Hms:** Es un software que permite hacer el modelamiento hidrológico para obtener caudales máximos; así como también calibrar los hidrogramas en otras funciones.
- **Weka:** Programa de inteligencia artificial que ayuda a elegir los valores más óptimos requeridos en un estudio.
- **Excel:** Es un programa que permite el cálculo de funciones matemáticas con mayor facilidad.

#### 2.2.6. Modelos y métodos

**Métodos estadísticos.** Es un método enfocado en procedimientos estadísticos que facilitan calcular el caudal máximo asociado con probabilidad de ocurrencia, donde el nivel de confianza depende de la precisión de la data histórica, y la incertidumbre propia de la distribución de probabilidades seleccionada (Quimbayo y Molina, 2015).

- **Distribución Log normal.** En esta función los logaritmos naturales de la variable aleatoria se distribuyen normalmente, donde  $\alpha$  y  $\beta$  son los parámetros de la distribución, y corresponden a la media y la desviación estándar de los logaritmos de la variable aleatoria. (Aparicio, 2018).
- **Distribución Gamma III parámetros:** Es una de las distribuciones más utilizadas en la hidrología, se dice que si una variable aleatoria  $X$ , tiene una distribución Gamma o Pearson tipo III, se deberá calcular la media, la desviación estándar y el coeficiente de asimetría (Cahuana y Yugar, 2009).

- **Distribución Gumbel:** Es también llamada distribución de Valores Extremos Tipo I o distribución doble exponencial, y se ajusta muy bien al cálculo de valores extremos de variables para datos de caudales máximos, data meteorológica de precipitaciones, etc. (Cahuana y Yugar, 2009).

**Modelo probabilístico de distribución Gumbel.** Ese modelo, también llamado como doble exponencial, posee como función de distribución de probabilidades la siguiente ecuación (Ministerio de Transporte y Comunicaciones, 2018):

$$F(X) = e^{-e^{-a(x-\beta)}}$$

Se tiene las siguientes relaciones:

$$a = \frac{1.2825}{S}$$

$$\beta = \mu - 0.45 * S$$

Donde:

$a$ : Parámetro de concentración

$\beta$ : Parámetro de localización

Para Ven te Chow (2001), la distribución se expresa de la siguiente forma:

$$X = \bar{X} + K * SX$$

Donde:

$X$ : Valor con una probabilidad dada

$\bar{X}$ : Media de la serie

$K$ : Factor de frecuencia

**Método de programación lineal y de programación lineal modificado.** Se utiliza la programación lineal para la obtención de la solución del HU, puesto que es un proceso adecuado para el desarrollo de problemas en los que haya más ecuaciones que incógnitas, obteniendo a la

vez una mejora del resultado cuyo objetivo principal es alcanzar un HU tal que la diferencia entre los valores de Q observados y los reconstruidos a partir del HU y los valores de precipitación efectiva sea mínima (Ayuso et al., 1994).

**Mínimos cuadrados.** Este método reduce la suma de los cuadrados de las discrepancias entre los valores observados de Q y los calculados a partir del HU; así mismo es muy utilizado en la determinación de la respuesta pulso de una cuenca (Hanke y Wichern, 2006).

**Mínimos cuadrados suavizados.** Los HU estimados por el método de los mínimos cuadrados pueden adolecer de algunos defectos, como no poseer un volumen unitario, carecer de una forma suave y unimodal, tener ordenadas negativas y fuertes oscilaciones en los valores de las ordenadas del HU; dichos defectos pueden ser debido a error del modelo cuando la respuesta de la cuenca no es aproximadamente lineal o invariable en el tiempo, y/o a errores de los datos que se amplifican durante el proceso de estimación (Ayuso et al., 1994)

**Modelo de Nash.** Determina el hidrograma unitario instantáneo (HUI) de la cuenca, hidrograma correspondiente a una precipitación efectiva de 1 mm que cae en un tiempo  $dt = 0$ . El HUI representa la respuesta impulso de la cuenca a una entrada impulso instantánea y permite determinar el HU de la cuenca para cualquier duración (Ministerio de Transporte y Comunicaciones, 2014).

**Hidrogramas.** El hidrograma es la representación gráfica de las variaciones del caudal con respecto al tiempo en orden cronológico, y en un lugar dado de la corriente (Cahuana y Yugar, 2009).

**Hidrograma unitario.** Es un método lineal propuesto por Sherman en 1932, como un hidrograma típico para la cuenca, el cual se representa mediante un gráfico que muestra la variación en el tiempo de alguna información hidrológica; se denomina unitario puesto que, el

volumen de escorrentía bajo el hidrograma se ajusta generalmente a 1 cm ó 1 pulg. (Villón, 2022, p. 215).

***Hidrogramas unitarios naturales.*** Para la obtención de los hidrogramas unitarios naturales se parte de valores registrados que se obtienen a partir de: una tormenta de intensidad razonablemente uniforme, una duración deseada, y un volumen de escorrentía cercano o mayor a 1 cm ó 1 pulg (Ministerio de Transporte y Comunicaciones, 2018).

El desarrollo para la obtención de HU a partir de registros naturales de caudales es el siguiente:

- Dispersar el flujo base de la escorrentía directa.
- Disponer del volumen de escorrentía directa.
- Las ordenadas del hidrograma de escorrentía directa se dividen por la profundidad de escorrentía observada.
- Las ordenadas ajustadas forman el hidrograma unitario.

***Hidrogramas unitarios sintéticos.*** Son simulados o artificiales, y se logran empleando las características fisiográficas y parámetros de la cuenca, cuya finalidad es representar o simular un hidrograma representativo del fenómeno hidrológico de la cuenca, para determinar el caudal pico a diseñar (Manual de Hidrología Hidráulica y Drenaje, 2014).

***Hidrograma sintético triangular del SCS.*** Con base en la revisión de un gran número de HU, el SCS sugiere este hidrograma donde el tiempo está dado en horas y el caudal en  $m^3/s.cm$ ; así mismo, el volumen generado por la separación de la lluvia en neta y abstracciones, es propagado a través del río mediante el uso del hidrograma unitario. (Manual de Hidrología Hidráulica y Drenaje, 2014)

El tiempo de recesión  $t_r$  puede asimilarse a:

$$T_r = 1.67 * T$$

Como el área bajo el HU debe ser igual a una escorrentía de 1 cm, puede demostrarse que:

$$q_p = 2.08 \frac{A}{T_p}$$

Donde:

A: área de drenaje en Km<sup>2</sup>

T<sub>p</sub>: tiempo de ocurrencia del pico en h

$$t_p = 0,6tc$$

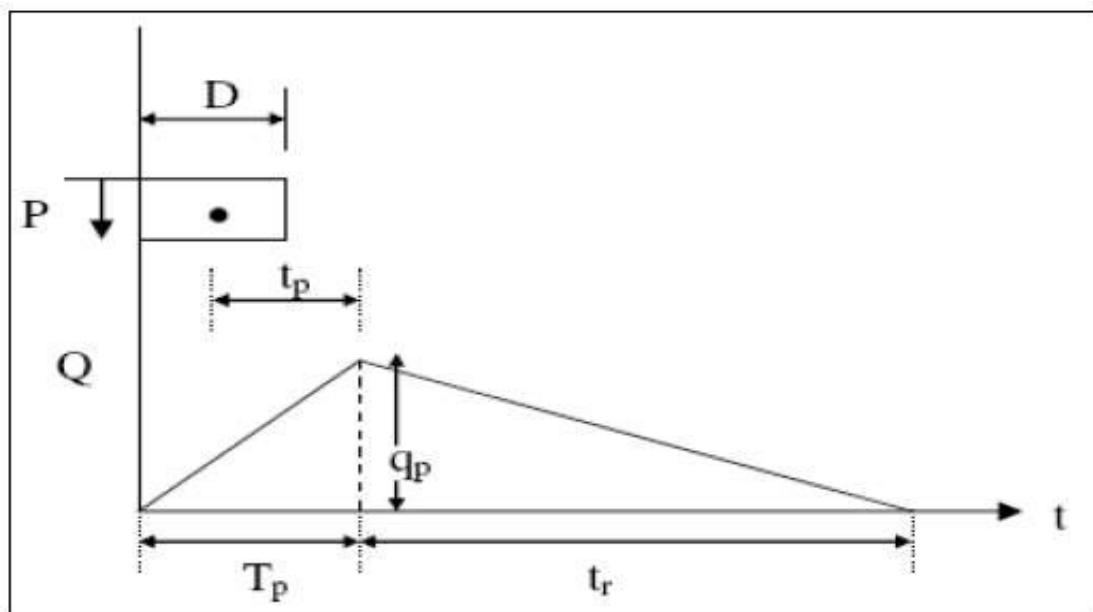
$$T_p = \frac{D}{2} + t_p$$

Donde:

D: duración de la lluvia (h)

### Figura 11

*Hidrograma triangular*



*Nota.* Hidrograma triangular del SCS de Hidrología Aplicada (Ven te Chow))

**Método Hidrograma Unitario Sintético de Snyder.** Según Vélez (2000), el modelo de Snyder fue desarrollado a partir de una serie de estudios sobre cuencas cuyas áreas oscilan en un rango de entre 10 y 10000 millas cuadradas en los Montes Apalaches de Estados Unidos, para una duración de lluvia efectiva igual a  $T_L/5.5$ , donde  $T_L$  es el tiempo de rezago.

El modelo pretende derivar un Hidrograma Unitario, a partir de algunas características físicas de la cuenca, para ser aplicado en las cuencas donde no se posea registro de caudal (Ministerio de Transporte y Comunicaciones, 2018).

El tiempo de rezago se calcula:

$$T_L = \frac{L_c^{0.8}(S + 1)^{0.7}}{1900 * s_c^{0.5}}$$

Para unidades hidrográficas donde se obtiene el tiempo de rezago mayor que el tiempo de concentración, se recomienda utilizar la siguiente expresión:

$$T_L = 0.6 * T_C$$

**Duración de la lluvia seleccionada por Snyder.** Snyder consideró lluvias que estuvieran de acuerdo con el tamaño de la cuenca, definiendo para ellas una duración de  $1/5.5$  veces el tiempo al pico de la cuenca (Velez, 2000).

$$T_s = \frac{T_L}{5.5}$$

Donde  $T_s$  es la duración de la lluvia efectiva en horas.

**Caudal pico.** El modelo expresa calcular el caudal pico por milla cuadrada,  $U_p$ :

$$U_p = C_p * \frac{640}{T_L}$$

El  $C_p$  depende de la topografía de la unidad hidrográfica y se recomienda utilizar  $C_p = 0.8$ .

Cuando el HUS corresponda a una precipitación efectiva cuya duración coincide con  $T_s$ , el caudal pico del HU por unidad de área puede calcularse con la ecuación mencionada

anteriormente; consecuentemente, esta condición es difícil que se presente en la práctica, y si la duración es distinta a  $T_s$ , el caudal pico por unidad de área puede calcularse con la ecuación que se presenta a continuación (Velez, 2000):

$$U_p = C_p * \frac{640}{[T_L + (T - T_s)/4]}$$

En donde:

$T$  es la duración de la precipitación efectiva a la cual se le va a calcular el HUS.

Ya obtenido el caudal pico por unidad de área de la unidad hidrográfica, el caudal pico total se obtiene como:

$$U_p = u_p A$$

**Tiempo al pico.** Es en el que se presenta la máxima concentración de esorrentía directa, y puede calcularse como:

$$T_p = \frac{T}{2} + T_L$$

**Duración de la esorrentía superficial.** Para el cálculo del tiempo base del HU, se tiene la siguiente ecuación:

$$T_b = 3 + 3 * \frac{T_L}{24}$$

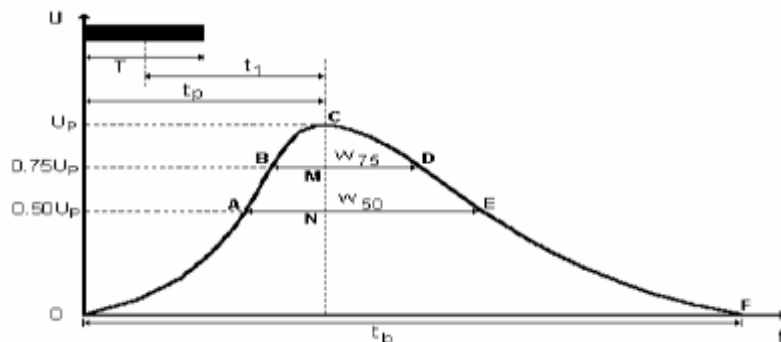
$T_b$ : Tiempo base en días, con  $T_L$  (h)

Consecuentemente, la ecuación da una valoración ecuánime del tiempo base para cuencas extensas, y ocasiona valores muy elevados para cuencas de poca superficie. El tiempo base se calcula de forma aproximada como 3 a 5 veces el tiempo al pico.

**Esquemmatización de la hidrógrafa:** El Cuerpo de Ingenieros de EE. UU. ha desarrollado dos ecuaciones complementarias para este modelo con el fin de derivar cuatro puntos HUSS adicionales que ayuden en su formulación.

**Figura 12**

*Hidrograma Unitario Sintético de Snyder.*



*Nota.* Hidrología para ingenieros (Vélez, 2000)

**Hidrograma unitario de Clark.** Consiste en la superposición de un tramo de transporte lineal que representa el retraso, y un embalse lineal, que representa la amortiguación (estos dos componentes se modelan separadamente).

La entrada del depósito lineal es la salida de la sección de transporte lineal y la HU es la salida del depósito lineal.

### 2.3. Definición de términos básicos

- **Cuenca.** Es la superficie delimitada por una línea divisoria, lo cual aloja el agua, lo cual posibilita desaguar las aguas de toda la superficie hacia un punto específico denominado como cuenca.
- **Microcuenca.** Es una parte de una cuenca formada por quebradas, alcanzando un área de tres mil a cinco mil hectáreas, y es la división de las subcuencas.
- **Subcuenca.** Es la superficie conformada por ríos y lagos direccionados en un punto.
- **Río.** Es un curso continuo de agua, en donde el aumento de su caudal depende de las precipitaciones ocasionadas por fuertes lluvias.

- **Hidrología.** Es la ciencia mediante la cual sabemos la conformación del agua, que se encuentra en la atmósfera y en el área terrestre, así como sus propiedades y su interrelación con el medio que nos rodea.
- **Hidrometría.** Es la ciencia que se fundamenta específicamente sobre la medición y análisis pertinente del líquido, haciendo uso de métodos y herramientas de medición especializadas.
- **Geomorfología.** Es aquella que estudia la forma y su conducta del área de la tierra.
- **Hidrograma.** Es la representación gráfica de la diferencia del caudal con respecto al tiempo.
- **Curva IDF.** Conocida a menudo como curva de intensidad-duración-frecuencia, muestra la cantidad de lluvia intensa en un período de tiempo específico, y calcula la probabilidad de que ocurra, o la frecuencia, medida en años.

## CAPÍTULO 3. HIPÓTESIS Y VARIABLES

### 3.1. Hipótesis general

El análisis comparativo de hidrogramas influye significativamente en la determinación de un modelo lluvia escorrentía en la subcuenca del río Yuracyacu para el dimensionamiento de obras hidráulicas.

### 3.2. Hipótesis específicas

- Con la determinación de parámetros geomorfológicos, se obtienen las características principales de la subcuenca del río Yuracyacu para el dimensionamiento de obras hidráulicas.
- El análisis estadístico de las precipitaciones y la estación hidrométrica, facilita datos probabilísticos para la obtención de los hidrogramas del río Yuracyacu.
- Con la aplicación de los hidrogramas estadísticos, empíricos e hidrológicos, se obtienen diferentes hidrogramas para la subcuenca del río Yuracyacu para el dimensionamiento de obras hidráulicas.
- Al realizar la comparación de hidrogramas, se obtiene el que más se adecua a las características hidrográficas de la subcuenca del río Yuracyacu.

### 3.3. Variables

#### 3.3.1. *Concepto de variable independiente (CVI)*

La variable independiente es aquella a la que se considera como supuesta causa en una relación entre variables (Hernández et al., 2014, p. 122).

**Variable Independiente.** Hidrograma

### 3.3.2. *Concepto de variable dependiente (CVD)*

La variable dependiente, es la que no se manipula, sino que se mide para ver el efecto que la manipulación de la variable independiente tiene en ella (Hernández et al., 2014, p.131).

**Variable dependiente.** Dimensionamiento de obras hidráulicas

### 3.3.3. *Variables intervinientes o secundarias*

- Modelo de lluvia escorrentía de la subcuenca del río Yuracyacu
- Precipitaciones
- Caudal máximo
- Tirantes máximos

### 3.4. **Operacionalización de variables (OV)**

La operacionalización de conceptos o variables es un proceso que desagrega el elemento abstracto para llegar a lo concreto sobre hechos ocurridos que representa indicios del concepto, que se puede observarse, recogerse y valorarse mediante indicadores (Reguant y Martínez, 2014, p. 3).

La tabla de operacionalización de variables (TOV) se detalla en el anexo 1.

## **CAPÍTULO 4. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN**

### **4.1. Diseño de ingeniería**

La finalidad del diseño de la investigación es “proporcionar un modelo de verificación que permita contrastar hechos con teorías, y su forma es la de una estrategia o plan general que determine las operaciones necesarias para hacerlo” (Sabino, 2014).

La presente investigación es no experimental, porque engloba varios métodos que explican las relaciones entre variables, pero esto no conlleva a manejar las variables, solo se van a estudiar tal y como están definidas.

Consecuentemente, de acuerdo a las características de la información que se emplea en el estudio, las investigaciones no experimentales pueden clasificarse en transversales y longitudinales; por consiguiente, son aquellas que estudian la evolución del fenómeno a través del tiempo; es decir, corresponden a las investigaciones históricas (Borja, 2012).

El actual estudio utiliza un diseño longitudinal, puesto que para realizar el análisis comparativo de hidrogramas tomará registros a partir de los eventos de lluvia durante los últimos 48 años (1976-2023); un período de tiempo razonable, que sigue los lineamientos del Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje, y que permitirá estimar el caudal de la cuenca a distintas probabilidades.

### **4.2. Métodos y técnicas del proyecto**

El método científico “es el procedimiento o conjunto de procedimientos que se utilizan para obtener conocimientos científicos; es el modelo de trabajo o secuencia lógica que orienta la investigación científica” (Sabino, 2014).

Para el desarrollo de la presente investigación se utilizará el método científico.

### **4.3. Diseño estadístico**

#### **4.3.1. Población**

“Es el grupo de todos los elementos que pertenecen al ámbito espacial donde se desarrolla el trabajo de investigación” (Alfaro, 2012).

La presente investigación cuenta como población al área de la cuenca del Alto Mayo, con un área general de 7210.41 Km<sup>2</sup>, y dentro de ella se encuentra la subcuenca del río Yuracyacu.

#### **4.3.2. Muestra**

Hernández et al. (2014) sostienen que la muestra “es un subgrupo de la población de interés sobre el cual se recolectarán datos, y que tiene que definirse o delimitarse” (p.173).

Para la investigación se tomará como muestra el área correspondiente a la subcuenca del río Yuracyacu con un área total de 202.36 Km<sup>2</sup>; por tanto, la muestra representa el 2.8% de la población.

#### **4.3.3. Muestreo**

Existen dos tipos de muestreo, el probabilístico y el no probabilístico, de las cuales las muestras no probabilísticas, consiste en la selección de los elementos que no depende de la probabilidad, sino de orígenes relacionados con las características de la investigación o de quien realiza la muestra; aquí el procedimiento no es mecánico ni con base en fórmulas de probabilidad, sino que depende de la fase de toma de decisiones de un investigador. (Hernández et al., 2014, p. 176).

La presente investigación se caracteriza como no probabilística por conveniencia, seleccionando un área de estudio que abarca la subcuenca del río Yuracyacu.

#### **4.4. Técnicas y herramientas estadísticas**

##### **4.4.1. Técnicas de recolección de datos**

La técnica de recolección de datos a utilizar en la actual investigación es la verificación de fuentes, documentales y estadísticas; en este contexto, la data meteorológica de 48 años de anterioridad de la estación Naranjillo y Rioja, que serán conseguidos mediante el SENAMHI, así como también la data hidrométrica de la estación La Florida que serán obtenidos de la ALA. Dichos datos serán tratados, analizados y comparados posteriormente de ser elaborado el hidrograma adecuado con cada método o modelo empleado.

##### **4.4.2. Técnicas de análisis de la información**

El análisis de contenido es una técnica de investigación que se basa en el estudio cuantitativo del contenido, y es útil especialmente, para establecer comparaciones y estudiar en profundidad diversos materiales (Sabino, 2014).

Por ende, para este estudio se realizará el análisis comparativo de 19 hidrogramas contemplados en estadísticos, empíricos e hidrológicos.

##### **4.4.3. Instrumentos**

###### **Equipos y herramientas de registro y toma de datos:**

- Un pluviómetro
- Una regla milimétrica
- Una cámara
- Un cuaderno de anotaciones

###### **Software y herramientas**

- ArcGIS y HecGeoHms.
- AutoCAD y Civil 3D.

- Weka.
- Microsoft Office (Ms. Excel, Ms. Word y PowerPoint)

### **Fuentes de información**

- Registro de precipitaciones del SENAMHI.
- Datos cartográficos del IGN.
- Libros, tesis, manuales, guías de investigación y artículos académicos.

### **Herramientas de escritorio**

- Computadora, laptop
- Impresora
- Papel bond
- Lápices, lapiceros
- Reglas, compás, etc.

## **CAPÍTULO 5. DESARROLLO EXPERIMENTAL**

### **5.1. Proyecto piloto, pruebas y ensayos**

#### ***5.1.1. Recopilación de la información***

Consistió en realizar la recopilación de la data hidrométrica y meteorológica mediante la ALA y la ANA de Rioja, y datos meteorológicos de 48 años de anterioridad desde 1976 hasta 2023 por medio del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI), de la estación Rioja y Naranjillo. Luego se descargó el DEM de la subcuenca del río Yuracyacu por SASPlanet, y se empezó el modelamiento de la subcuenca en el programa ArcGIS mediante la herramienta HecGeoHms. Así mismo se hizo uso del Instituto Geográfico Nacional (IGN) y GEO GPS PERÚ a fin de la obtención de coordenadas y red hídrica.

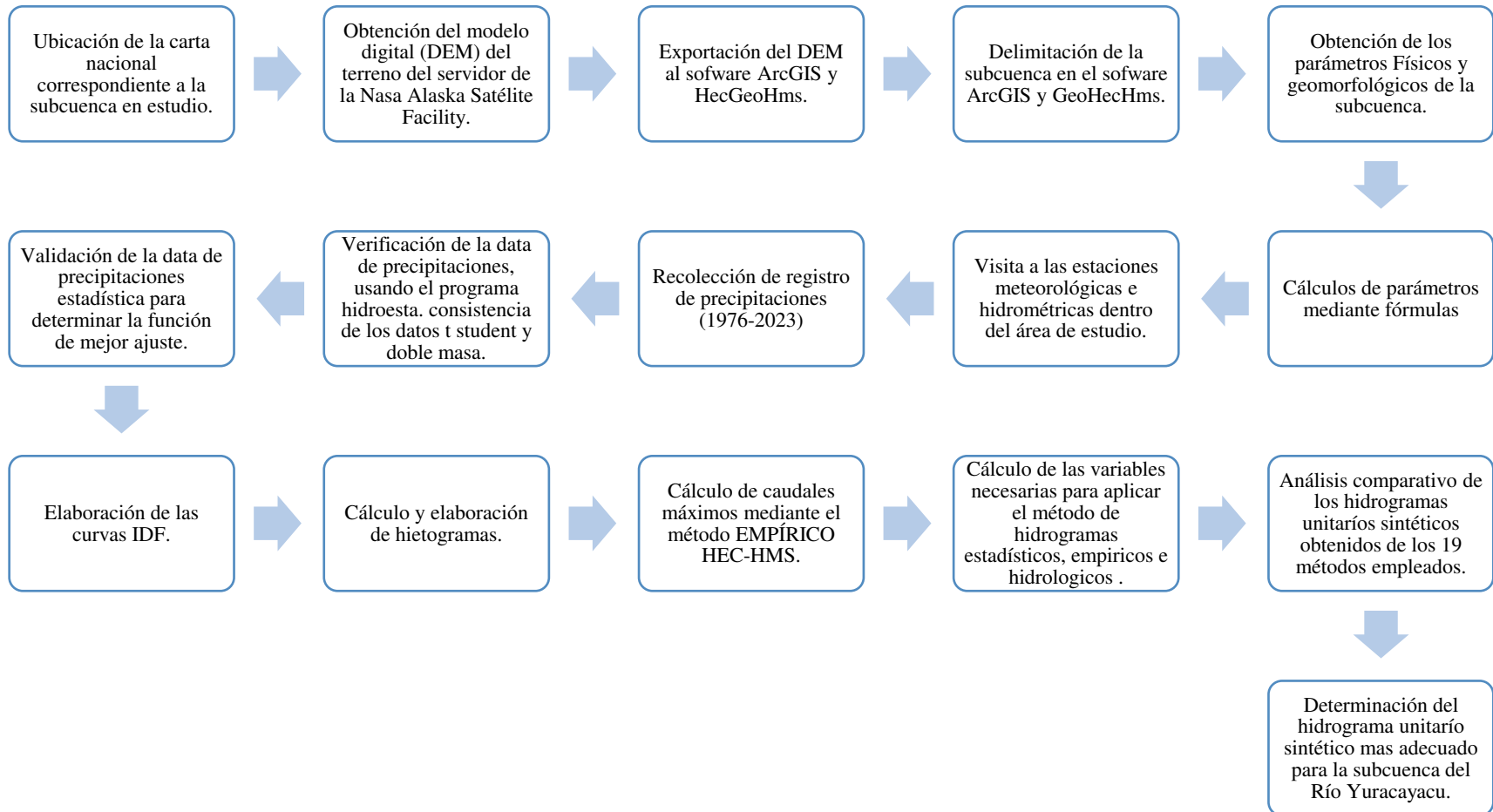
#### ***5.1.2. Modelamiento de los hidrogramas***

Para la comparación de hidrogramas se realizó el modelamiento de la subcuenca dividida en 17 microcuencas haciendo el uso del programa HEC-HMS, y posterior a ello se realizó la calibración de cada uno de los hidrogramas en base al caudal observado obtenido de la data hidrométrica del año 2005, 2008 y 2010.

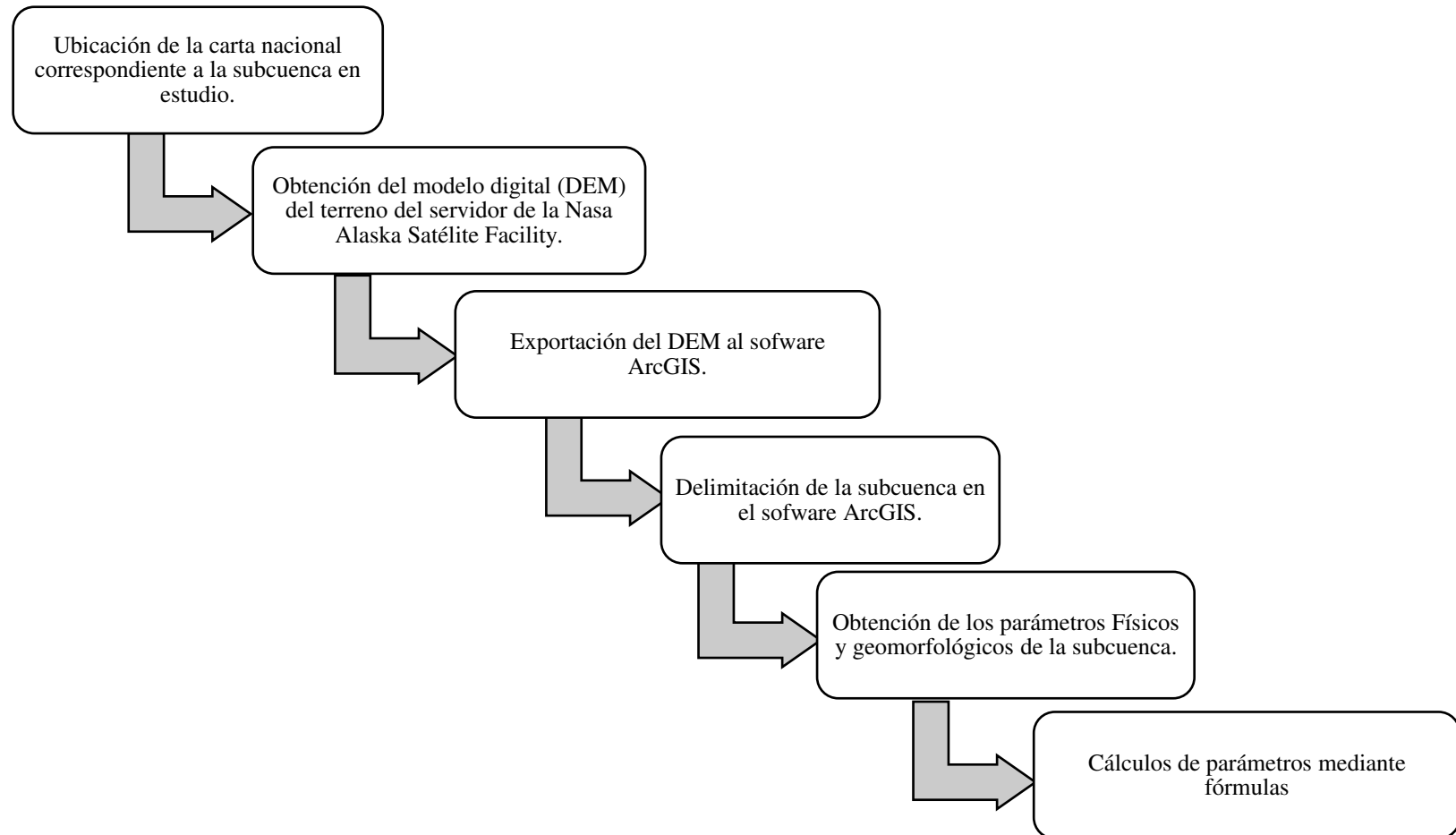
### 5.1.3. Descripción de los procedimientos

**Figura 13**

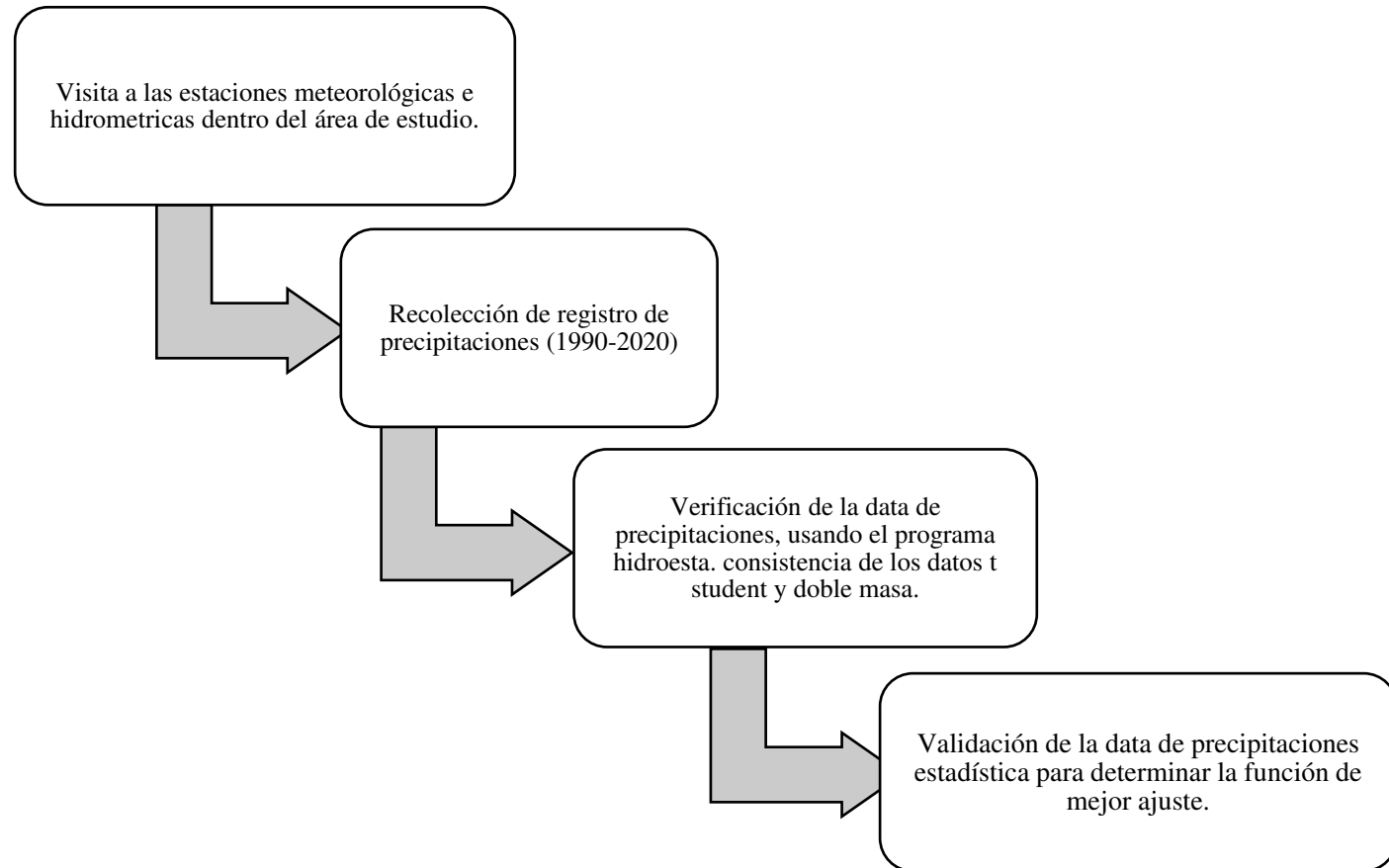
*El procedimiento a seguir, de acuerdo a los objetivos planteados*



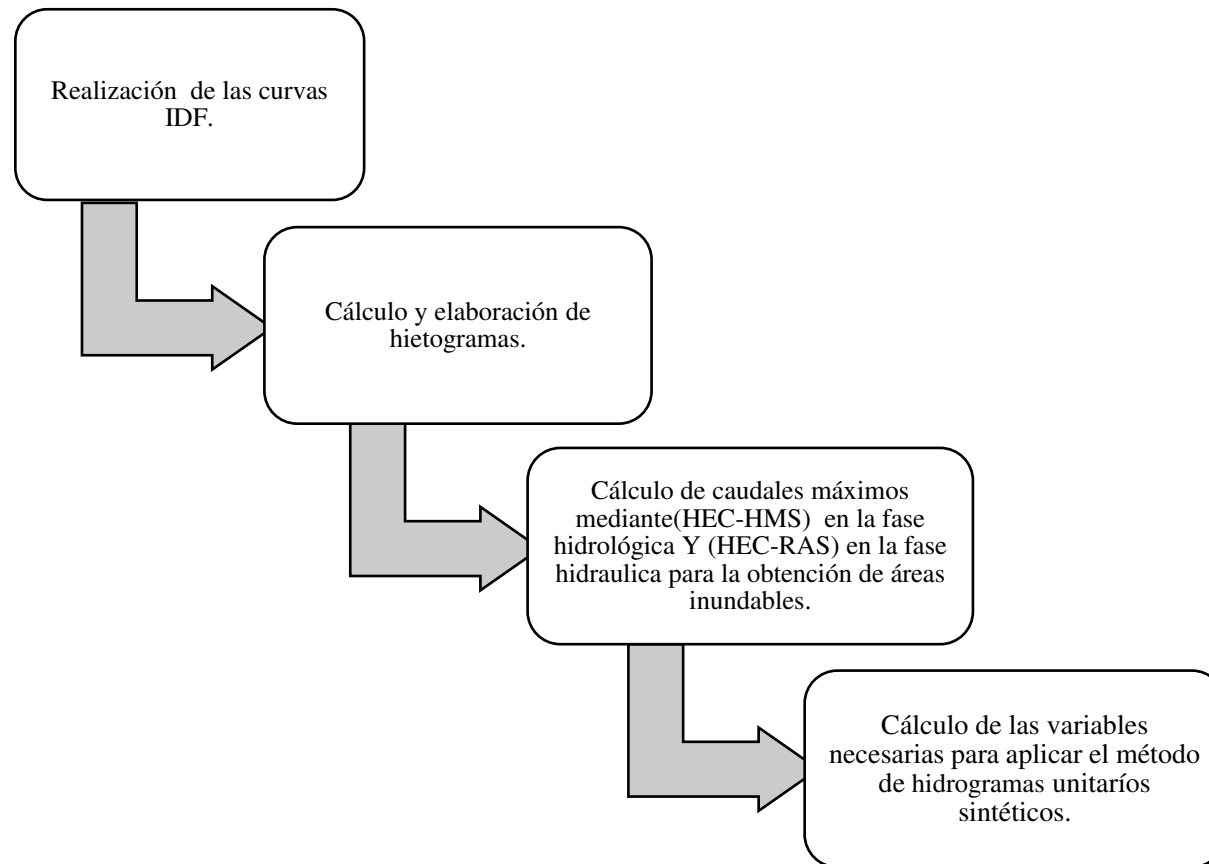
*Nota.* Elaboración propia

**Figura 14***Procedimiento del Objetivo Especifico1*

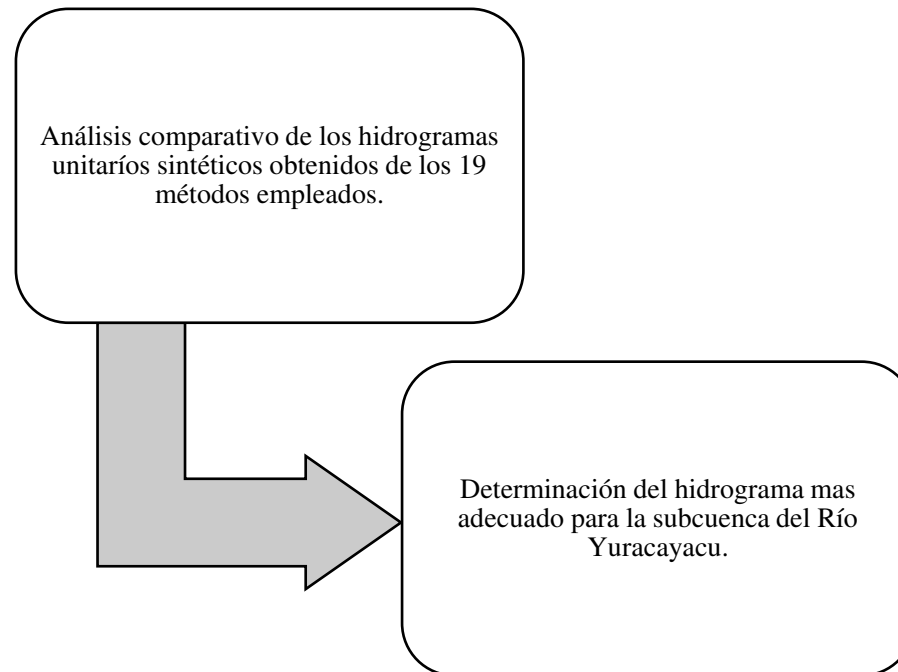
*Nota.* Elaboración propia

**Figura 15***Procedimiento del Objetivo Específico 2*

*Nota.* Elaboración propia

**Figura 16***Procedimiento del Objetivo Específico 3*

*Nota.* Elaboración propia (2024)

**Figura 17***Procedimiento del Objetivo Específico 4*

*Nota.* Elaboración propia (2024)

## 5.2. Aplicación estadística

### 5.2.1. Análisis de consistencia

Se realizó el análisis de consistencia a las estaciones de Rioja y Naranjillo con el software Trend, se aplicó 12 funciones matemáticas para determinar la homogeneidad. Dependiendo de si el Pvalor es mayor al z crítico es porque hay consistencia; caso contrario es inconsistente.

### 5.2.2. Prueba de datos dudosos (*Método Water Resources Council*)

Para determinar la presencia de datos dudosos se empleó el método de Water Resources Council. Dicho método aplica el valor sugerido de  $K_n$  que varía dependiendo de la cantidad de años contemplados en la data meteorológica, cuya finalidad es descartar valores que se encuentren fuera del límite de datos altos en la muestra  $X_H$  y datos mínimos de la muestra  $X_L$ , teniendo la siguiente fórmula para la determinación:

$$X_H = \bar{X} + K_n * S$$

Donde:

$X_H$ : Umbral dudoso alto

$\bar{X}$ : promedio de los datos

$K_n$ : valor recomendado

$S$ : desviación estándar

$$X_L = \bar{X} - K_n * S$$

Donde:

$X_L$ : Umbral dudoso bajo

$\bar{X}$ : Promedio

$K_n$ : Valor recomendado

$S$ : Desviación estándar

Para obtener la lámina mayor y menor se usa la siguiente fórmula:

$$P_H = 10^{X_H}$$

$$P_L = 10^{X_L}$$

### 5.2.3. *Distribuciones*

Se emplearon ocho distribuciones para llevar a cabo el análisis estadístico de las precipitaciones, dentro ello se contempla la distribución Normal, Log Normal 2P, Log Normal 3P, Log Gumbel, Gamma 2P, Gamma 3P y Log Pearson Tipo III; las mismas que nos ayudaron a evaluar y determinar cuál de ellas tiene mejor ajuste a la distribución de las precipitaciones para trabajar las curvas IDF.

### 5.2.4. *Prueba de bondad de ajuste*

Se aplicó dicha prueba para la verificación de las distribuciones mediante el método de Kolmogorov-Smirnov. Para comprobar gráfica y estadísticamente si hay un ajuste en los valores muestrales y teóricos.

El método de Kolmogorov-Smirnov trabaja con datos no agrupados y se basa en comparar la diferencia que se encuentra entre el delta teórico y tabular; por ende, si el delta tabular es mayor que el delta teórico entonces los datos se ajustan a la distribución con un cierto nivel de significancia.

### 5.2.5. *Tiempo de concentración*

Para realizar el cálculo del tiempo de concentración de la subcuenca del río Yuracyacu se empleó un cálculo con 24 fórmulas propuesto por diferentes autores que se mencionan a continuación:

#### **Kirpich**

$$T_C = 0.066247L^{0.770}S^{-0.385}$$

#### **California Highway**

$$T_C = 0.95 \left( \frac{L^3}{H} \right)^{0.385}$$

**Ecuación de retardo SCS**

$$T_C = \frac{0.02872L^{0.8} \left( \frac{1000}{CN} - 9 \right)^{0.7}}{S^{0.5}}$$

**Rowe**

$$T_C = \left( \frac{0.86L}{H} \right)^{0.385}$$

**Pizarro**

$$T_C = 13.548 \left( \frac{L^2}{H} \right)^{0.77}$$

**Valencia y Zuluaga**

$$T_C = 0.465L^{-0.096} A^{0.325} S^{-0.29}$$

**Guari**

$$T_C = 0.355 \left( \frac{A}{\sqrt{S}} \right)^{0.595}$$

**Giandiotti**

$$T_C = \frac{4\sqrt{A} + 1.5L}{0.8\sqrt{H}}$$

**Passini**

$$T_C = \left( \frac{0.108(AL)^{\frac{1}{3}}}{S^{0.5}} \right)$$

**Ahn-Lee**

$$T_C = 5.6256^{0.9417} A^{-0.3666} S^{-0.2639}$$

**Bransby-Williams**

$$T_C = 0.1914LA^{-0.25}(S)^{-0.25}$$

**Chow**

$$T_C = 0.1602L^{0.64}S^{-0.32}$$

**Chereque****Corps of engineers**

$$T_C = \left( \frac{0.871L^3}{H} \right)^{0.3}$$

$$T_C = 0.191L^{0.76}S^{-0.19}$$

**Dooge**

$$T_C = 0.365A^{0.41}S^{-0.17}$$

**Australiana**

$$T_C = \frac{58L}{S^{0.2}A^{0.1}}$$

**Federal Aviation Administration**

$$T_C = \frac{0.7035(1.1 - 0.44)L^{0.5}}{S^{0.333}}$$

**Johnstone-Cross**

$$T_C = 0.4623L^{0.5}S^{0.25}$$

**Picking**

$$T_C = 0.0883L^{0.667}S^{-0.332}$$

**Pilgrim-Mac Derm Ott**

$$T_C = 0.76A^{0.38}$$

**Temez**

$$T_C = 0.3L^{0.76}S^{-0.19}$$

**USBR**

$$T_C = 0.066L^{0.77}S^{-0.385}$$

**Ventura**

$$T_C = 4A^{0.5}L^{0.5}H^{-0.5}$$

**Yoon**

$$T_C = 1.08A^{0.09}L^{0.16}S^{-0.12}$$

**5.2.6. Cálculo de máximas avenidas**

Para el cálculo de máximas avenidas se empleó 19 modelos contemplados en estadísticos, empíricos e hidrológicos.

**Modelo estadístico**

- Log Pearson tipo III

**Modelos empíricos**

- Fórmula de Quijano
- Fórmula de Zapata
- Fórmula de Santi
- Formula Hec Ras
- Fórmula de Kresnik
- Fórmula de Forti
- Fórmula de Meyer
- Fórmula de Burkli-Ziegler
- Fórmula de Fuller
- Fórmula de Gete
- Fórmula de Mac Math
- Método racional
- Método Creager
- Método racional modificado

**Métodos hidrológicos**

- Hidrograma triangular
- SCS
- Clark
- Snyder

## CAPÍTULO 6. ANÁLISIS COSTO/BENEFICIO

### 6.1. Beneficios no financieros-

Para el desarrollo de la presente investigación se emplearon recursos humanos y logísticos tales como la data hidrométrica facilitada por la ALA y data meteorológica de 48 años de antigüedad proporcionada por el SENAMHI, del cual el gasto fue financiado por el tesista.

### 6.2. Evaluación económica - financiera

Es posible argumentar que esta investigación tiene un presupuesto alcanzable que el investigador puede costear porque se han analizado y utilizado todos los recursos necesarios.

**Tabla 4**

*Presupuesto del proyecto de investigación*

Descripción	Unidad	Precio unitario (S/)	Total (S/)
<b>Recursos humanos</b>			<b>5,150.00</b>
Equipo técnico	HH	2,000.00	
Mano de obra	HH	2,000.00	
Vehículo	Und	500.00	
Combustible	Galón	150.00	
Chofer	HH	500.00	
<b>Recursos materiales</b>			<b>1,900.00</b>
Útiles de escritorio	Und	100.00	
Materiales de impresión	Und	100.00	
Data meteorológica	GLB	1,700.00	
<b>Adquisición de software</b>	GLB	500.00	<b>500.00</b>
<b>Equipos</b>			<b>1,200.00</b>
Uso de programas	GLB	200.00	
Uso de Equipos hidrológicos	HM	1,000.00	
<b>Servicios</b>			<b>3,150.00</b>
Asesoramiento	HH	2,000.00	
Internet	GLB	100.00	
Telefonía	GLB	50.00	
Otros	GLB	1,000.00	
<b>Presupuesto total</b>			<b>11,900.00</b>

*Nota.* Elaboración propia

## CAPÍTULO 7. RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

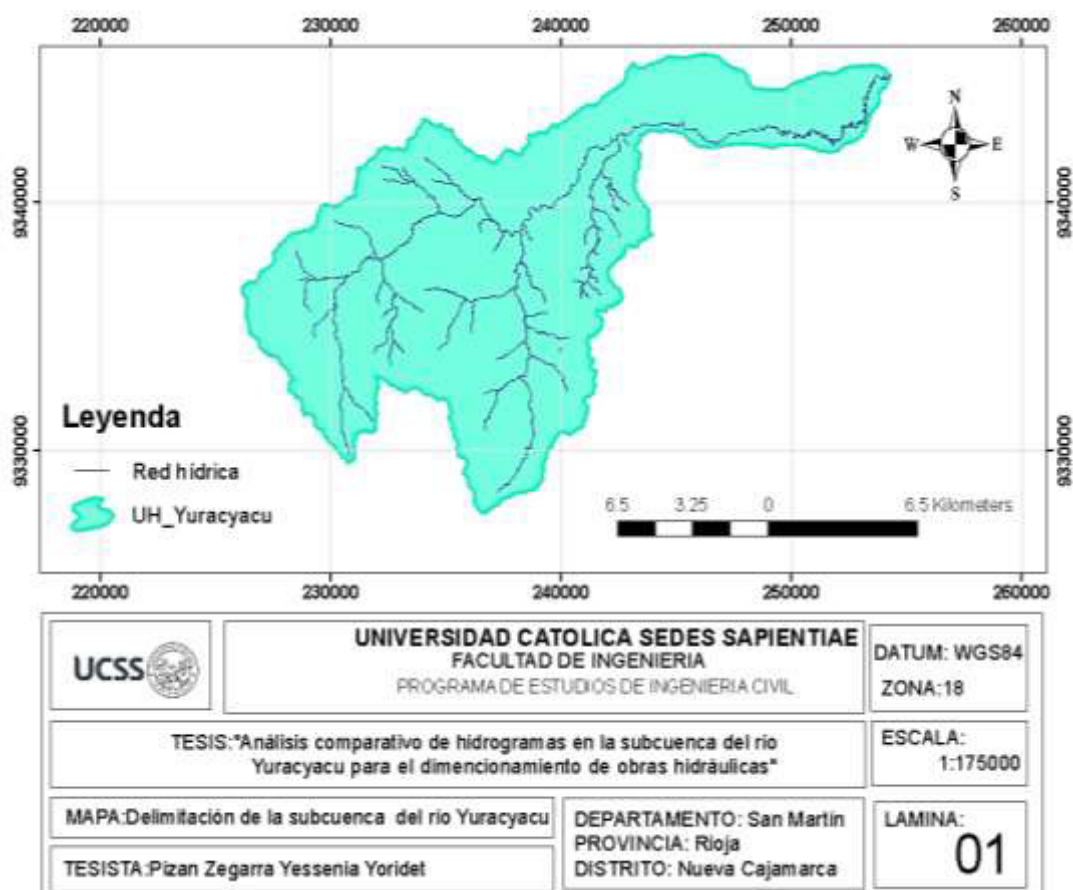
### 7.1. Cálculos y análisis de resultados

#### 7.1.1. Parámetros geomorfológicos de la subcuenca del río Yuracyacu

Para la obtención de los parámetros geomorfológicos de la subcuenca Yuracyacu se ha utilizado el software ArcGIS y Civil 3D, con las cuales se consiguieron las áreas parciales entre curvas de nivel. En consecuencia, los principales atributos de la subcuenca del río Yuracyacu son los siguientes:

**Figura 18**

*Cuenca delimitada*



*Nota.* Elaboración propia

En la tabla número 5 se muestran los resultados de los 28 parámetros geomorfológicos, los cuales están clasificados en parámetros de forma, relieve y red de drenaje.

Respecto a los parámetros de forma, la subcuenca tiene una clasificación pequeña ya que su área es menor a 202.39 km<sup>2</sup>, esto indica que responde a las lluvias de fuerte intensidad y pequeña duración; además el factor forma es de 0.26, que es un valor bajo, por lo cual se trata de una cuenca alargada que indica baja susceptibilidad de avenidas (Pérez, 1976). Asimismo, tiene una tendencia a ser oblonga rectangular, ya que su índice de compacidad es mayor a 1.75 (Gaspari, 2009); lo cual indica que disminuyen las probabilidades de que sean cubiertas por una tempestad.

Con respecto al relieve, la curva hipsométrica de la subcuenca del río Yuracyacu está en fase de equilibrio (fase de madurez), con tendencia inicial a ser una cuenca sedimentaria, o en fase de vejez (Gaspari, 2009)

La subcuenca presenta una pendiente media de 25.52, indicando que el terreno es fuertemente accidentado; además, la densidad de drenaje de la subcuenca del río Yuracyacu es de 0.57 km/km<sup>2</sup>, por lo que de acuerdo a Junco (2004), se encuentra en un rango de 0.1 a 1.8, que considera una densidad de drenaje baja.

**Tabla 5**

*Parámetros geomorfológicos*

No	Parámetros	Unidad de medida	Datos
	Provincia	--	Rioja
	Nombre de la Cuenca (Distrito)	--	Río Yuracyacu - Nueva Cajamarca
1	Coordenadas del centroide X; Y	UTM	237620-9337637
2	Área de la cuenca Ac	(km <sup>2</sup> )	202.39
3	Perímetro de la cuenca P	km	98.54
4	Altitud media Hmed	m	2,195.42

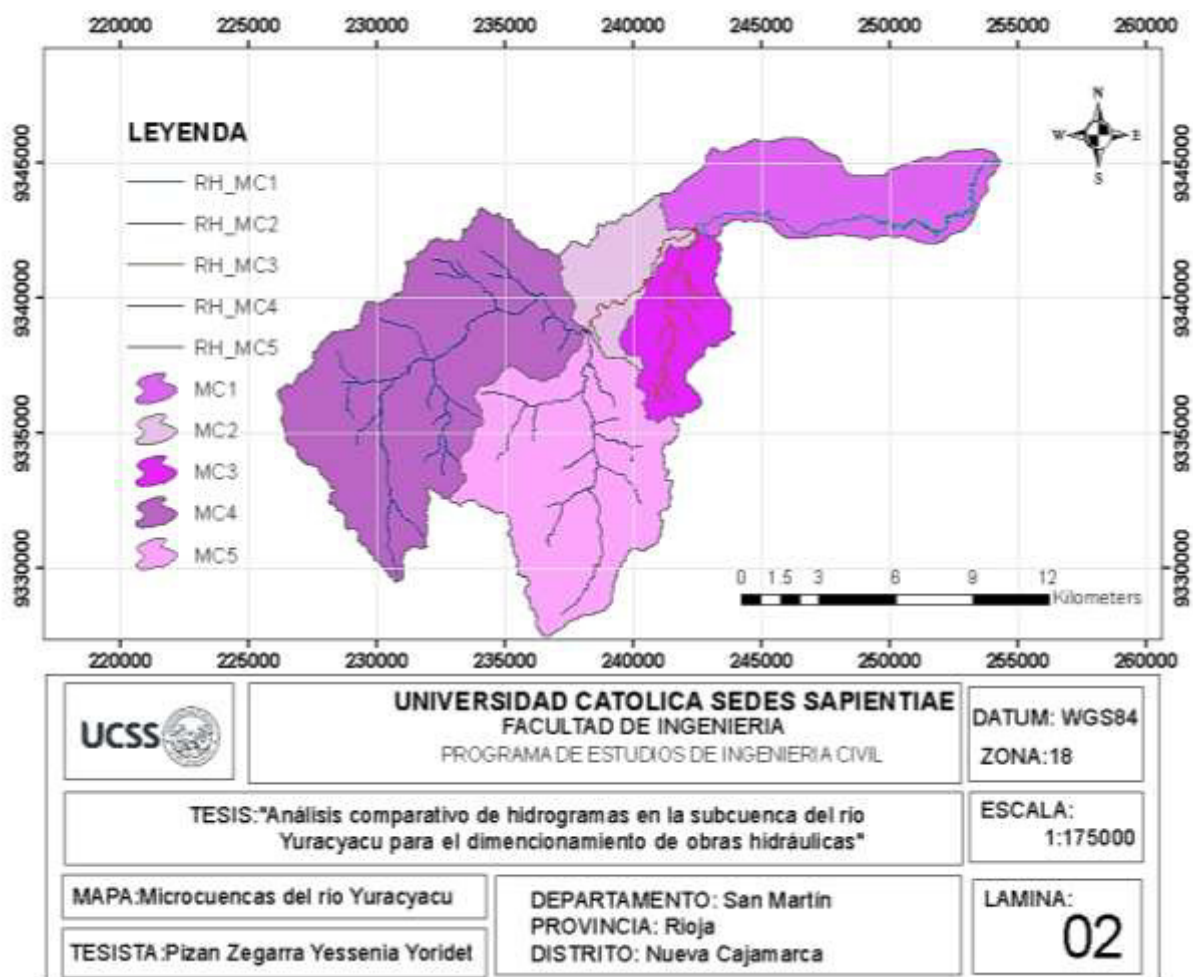
No	Parámetros	Unidad de medida	Datos	
5	Altitud más frecuente $H_f$	m	927.49	
6	Longitud de la cuenca $L_c$	km	27.94	
7	Cota mayor de la cuenca $H_M$	msnm	3,400.00	
8	Cota menor de la cuenca $H_m$	msnm	820.00	
9	Pendiente media de la cuenca $S_c$	(%)	25.52	
10	Pendiente media de la red hídrica ( $S_{rh}$ )	(%)	1.95	
11	Pendiente del río principal $S_r$	(%)	15.61	
12	Índice de compacidad o de Gravelious $K_c$	Adimensional	1.95	
13	Factor de forma $F$	Adimensional	0.26	
14	Relación de elongación $R_e$	Adimensional	0.57	
15	Factor de circularidad $F_c$	Adimensional	0.26	
16	Integral hipsométrica $I_H$	msnm	0.54	
17	Longitud del río principal $L_r$	km	47.53	
18	Orden de las corrientes $u_1, u_2, u_3, \dots$	Adimensional	4.00	
19	Número total de cauces $N_u$ de orden $u$		1	48.00
			2	12.00
			3	7.00
			4	2.00
20	Longitud media de la corriente ( $L_{mr}$ )	km	15.33	
21	Relación de bifurcación $R_b$	Adimensional	3.07	
22	Relación media de bifurcación $R_{mb}$	Adimensional	0.77	
23	Frecuencia de flujo $F_s$	1/km <sup>2</sup>	0.34	
24	Densidad de drenaje $D_d$	km/km <sup>2</sup>	0.72	
25	Textura de drenaje $T_d$	1/km <sup>2</sup>	0.70	
26	Longitud media del flujo $L_f$	km	0.69	
27	Constante de mantenimiento $C_m$	km <sup>2</sup> /km	1.39	
28	Coefficiente de rugosidad $C_r$	Adimensional	18.37	

Nota. Elaboración propia

En la figura número 19 se ha dividido la subcuenca en 5 microcuencas, además cada una cuenta con su red de drenaje.

**Figura 19**

*Delimitación de microcuencas.*



*Nota.* Elaboración propia

En la tabla 6 se muestran los parámetros geomorfológicos de las microcuencas, los cuales se clasifican en relieve, forma y red de drenaje.

Con respecto a los parámetros de forma de las microcuencas, podemos indicar que la primera cuenta el área más pequeña que las demás, mientras la cuarta es la mayor. Los valores

indican que en realidad todas las microcuencas son de área pequeña, lo cual manifiesta precipitaciones de fuerte intensidad y pequeña duración.

Las cuatro primeras microcuencas son muy alargadas ya que su factor forma es menor a 0.22, mientras que la microcuenca 5 no es ni alargada ni ensanchada ya que su factor forma es de 0.42 (Perez, 1979). Según el índice de Gravelius, la microcuenca 5 es Oval - Redonda a oval oblonga ya que se encuentra en el rango de 1.25 a 1.5, mientras que las demás se encuentran de 1.50 a 1.75; por ende, son Oval - oblonga a rectangular - oblonga (Gaspari et al., 2019).

Con respecto a la curva hipsométrica, la microcuenca 1 y 2 son sedimentarias en fase de vejez, la microcuenca 3 en fase de madurez con tendencia a vejez mientras que la microcuenca 4 y 5 se encuentra equilibrio en fase de madurez (Villodas, 2008). La envergadura de CH consiste en que es un indicador del estado de equilibrio dinámico de la cuenca.

La pendiente media de las microcuencas según Vera (2004), abarcan desde plano a escarpado; por lo que la microcuenca 1 cuenta con una pendiente suave ya que está en el rango de 3 a 7, las microcuencas 2 y 3 poseen una pendiente fuerte ya que se está en el rango de 35 a 50 y las microcuencas 4 y 5 tienen una pendiente muy fuerte por lo que están en el rango de 50 a 75.

La red de drenaje de las microcuencas es baja, al estar en un rango menor de 1.8, y por ende cuenta con suelos duros poco erosionables y con una cobertura vegetal densa.

**Tabla 6***Parámetros geomorfológicos las microcuencas*

No.	Parámetros	Unidad de medida	MC1	MC2	MC3	MC4	MC5
			239395;	239395;	241704;	231927;	237543;
1	Coordenadas del centroide X; Y	UTM	9340939	9340939	9338979	9337043	9333374
2	Área de la cuenca $A_c$	(km <sup>2</sup> )	34.79	14.91	17.66	77.86	57.16
3	Perímetro de la cuenca P	km	22.81	23.05	22.81	47.79	39.41
4	Altitud media de la cuenca $H_m$ (Z del Centroide)	msnm	861.43	1237.74	1353.40	2170.91	2048.28
5	Altitud más frecuente	msnm	839.00	952.00	952.00	1900.00	1900.00
6	Altitud de frecuencia media	msnm	1116.64	1423.04	1541.43	2117.65	1981.69
7	Longitud de la cuenca $L_c$	km	9.06	9.86	14.50	19.26	19.26
8	Cota mayor de la cuenca $H_M$	msnm	1381.00	1980.00	2123.00	3644.00	3078.00
9	Cota menor de la cuenca $H_m$	msnm	828.00	904.00	904.00	11111.00	1110.00
10	Cota de cierre del cauce $H_c$	msnm	828.00	904.00	904.00	1111.00	1110.00
11	Cota del origen del cauce $H_o$	msnm	904.00	1111.00	1883.00	3248.00	2484.00
12	Pendiente media de la cuenca $S_c$	(%)	6.85	37.69	38.49	51.94	52.94
13	Pendiente del río principal $S_r$ Taylor y Schwarz	(%)	0.30	6.98	9.65	12.72	10.51
14	Índice de compacidad o índice de Gravelius $K_c$	Adimensional	1.09	1.53	1.53	1.53	1.47
15	Factor de forma $F$	Adimensional	0.42	0.18	0.08	0.21	0.15
16	Relación de elongación $Re$	Adimensional	0.73	0.48	0.33	0.52	0.44

No.	Parámetros	Unidad de medida	MC1	MC2	MC3	MC4	MC5
17	Factor de circularidad $F_c$	Adimensional	0.84	0.43	0.43	0.43	0.46
18	Integral hipsométrica $IH$	msnm	0.06	0.31	0.37	1.20	0.48
19	Longitud del río principal $L_r$	km	21.95	7.22	8.27	19.05	13.55
20	Orden de las corrientes $u_1, u_2, u_3, \dots$	Adimensional	2	2	3	3	3
21	Número total de cauces $N_u$ de orden $u$	Adimensional	3	3	15	29	18
22	Longitud media de la corriente ( $L_{mr}$ )	km	7.50	2.70	1.27	1.86	2.00
23	Relación de bifurcación $R_b$	Adimensional	2.00	2.00	3.60	2.34	2.43
24	Relación media de bifurcación $R_{mb}$	Adimensional	1.00	1.00	1.20	0.78	0.81
25	Frecuencia de flujo $F_s$	1/km <sup>2</sup>	0.09	0.17	0.85	0.37	0.31
26	Densidad de drenaje $D_d$	km/km <sup>2</sup>	0.65	0.46	1.08	0.69	0.63
27	Textura de drenaje $T_d$	1/km <sup>2</sup>	0.44	0.08	0.39	0.56	0.34
28	Longitud media del flujo $L_f$	km	0.32	0.23	0.54	0.35	0.31
29	Constante de mantenimiento $C_m$	Km <sup>2</sup> /km	1.55	2.18	0.93	1.45	1.59
30	Coeficiente de rugosidad $C_r$		4.43	17.31	41.40	35.91	33.31

Nota. Elaboración propia (2024)

### 7.1.2. *Análisis estadístico de las precipitaciones*

Para el análisis estadístico de las precipitaciones se realizó la recolección de información hidrológica a través de la página virtual SENAMHI, de la cual se eligió la data histórica con precipitaciones máximas en 24 horas para un estudio de 48 años desde 1976 hasta el 2023, correspondiente a cada una de las estaciones meteorológicas de Naranjillo, Rioja y Chachapoyas.

Así mismo para poder ver cuál de las estaciones era la más cercana y la que ocupa mayor área en vista de trabajar con datos precisos, se realizó el polígono de Thiessen, obteniéndose como resultado que la estación Naranjillo tenía mayor área y la estación hidrométrica de la florida era la más cercana.

**Tabla 7**

Cálculo de áreas según polígono de Thiessen (Km<sup>2</sup>)

<b>Estaciones</b>	<b>Área</b>	<b>Perímetro</b>
Naranjillo	137.4	69.63
Rioja	10.07	60.01
Chachapoyas	0	0
Total	141.52	129.64

### 7.1.3. *Completación de datos faltantes de las estaciones*

Para la completación de datos faltantes de la estación Naranjillo de los años 2015, 2016 y 2018 entre los meses de noviembre y mayo, se realizó mediante el programa HEC 4; para lo cual se contó con las estaciones Naranjillo, Rioja y Moyobamba. De la misma manera, se tomó a la estación Moyobamba porque se encuentra dentro del Alto Mayo y es cercana a la estación hidrométrica de La Florida.

**Tabla 8***Estación Naranjillo con datos completados*

<b>Año/Mes</b>	<b>E</b>	<b>F</b>	<b>M</b>	<b>A</b>	<b>M</b>	<b>J</b>	<b>J</b>	<b>A</b>	<b>S</b>	<b>O</b>	<b>N</b>	<b>D</b>
1976	48	25	23	36	15	13.3	12.5	13	19.5	33	38	47
1977	20	31	69.5	41	33	51	37	27	24	50	26	25
1978	13	7	14	36	36	69	35	10	36	30	60	94.5
1979	35	30.5	64	40	34	10	35	15	45	22	89	67
1980	40	31	41	8	35	10	10	33	54	40.8	50	37
1981	30	62	41	43	64	18	7.5	20	15	45	130.5	42
1982	15	50	56.3	52	35	27	13	11	20	17	41	37.5
1983	20	31	50.5	53.5	21.3	10	3	15	15	32	15	27
1984	25	17.8	10	12	15	17.5	8	22	22	18	10	7
1985	10	13	13	70.3	15	13	20	14	10	12	32	21
1986	43	45	32	33	17	11	12	15	17	12	30	16
1987	17	12	12	11	8.3	8	11	10	13	44	18	14.5
1988	8	7	19	30	11	22	13	13	15	12	12	17
1989	70	13	12	17	13	15	16.5	20	16	7	9	4.5
1990	59	23	25	12	8.6	7.5	14	16	18	15	14	12
1991	10	13	16	21	13	10.1	17	8.5	14	16	17	17
1992	10	20.3	17	21.5	18	12	18	22	9.8	19	20	20
1993	29	48	82.5	30.5	27	14.5	11.5	41	24	34	15	17
1994	45	28	28.5	54.3	21	29	22	9	25	60	82	26
1995	12	30.5	30	69.5	19	20.8	13	5	26	34	68.5	37
1996	24	32	31.5	13.5	35	9.9	7	31	17	68	40	33
1997	15	61	18	30.3	24.2	14.6	11.1	20.7	40.5	47.5	41.7	31.2
1998	21.4	33.6	42.6	68.5	49.3	15.4	6	32.8	11	41.6	15.6	31.2
1999	40	50.7	37	22.5	46.4	24.5	13.8	34.7	15.1	26.8	11.5	25.5
2000	39	36	27.5	35.8	11.3	31.6	12.6	16.8	20.5	26.3	16.9	32.5
2001	23.8	41.4	53.1	23.5	67.4	23.7	17	14.8	42.8	82.8	51.4	59.8
2002	32.8	37.5	83.5	44	33.2	5.5	19.4	26.5	35.4	55.3	47.7	29.8
2003	24.8	36.9	36.5	33.3	36.4	19.6	10.5	15.2	77.7	46.6	33.3	37.7
2004	19.7	35.5	34.3	29.6	38.1	25.7	13.7	24.3	11.7	24.2	40.4	18.6
2005	38.9	25.5	29.5	68.5	40.8	26.1	19.6	11.7	24	19.5	61.3	36.7

<b>Año/Mes</b>	<b>E</b>	<b>F</b>	<b>M</b>	<b>A</b>	<b>M</b>	<b>J</b>	<b>J</b>	<b>A</b>	<b>S</b>	<b>O</b>	<b>N</b>	<b>D</b>
2006	39.3	47.4	33.4	12	8.3	18.3	15	14	39.2	31.5	39.3	24.4
2007	45.2	18.7	25.9	63.4	69	9.5	21.2	47.7	37.4	101.2	71.1	42.6
2008	20.5	72.6	38.2	134.8	22.8	68.2	82.3	24.8	29.5	45.6	41.6	18.8
2009	29.6	21.5	60.3	81.5	23.7	32.8	17	22.6	22.7	24.1	35.9	12.8
2010	9.3	85.4	28.1	40.9	33.7	8.2	32.6	18	40.4	22.8	29.3	64.2
2011	29.5	20.8	25.3	35.5	49.1	27.8	60.9	38.9	23	70.5	20.8	36.2
2012	38.8	45	65	66.4	41.5	16.5	7.5	22.5	32.2	29.9	34.4	47.8
2013	40.7	29.6	71.2	30.8	45.5	34.2	31.4	49.8	60	44.3	34	23.5
2014	40.2	21.4	41.4	30.5	33.8	30	35.7	37.2	13	52	57.2	76.2
2015	94.5	81.8	45.5	45.1	22.6	25.2	19.6	31	17.7	67	68.5	22.2
2016	30.5	24.4	46.3	40.5	27.8	9.8	14.7	64	81.5	91.8	33.8	41.9
2017	31.6	90.5	58.8	20.4	25	36.6	8.1	29.6	46.2	41.2	56.1	12.4
2018	66.2	55	39.5	160	78.2	31	28.5	14	39.7	85.4	36.7	60.1
2019	21.6	30	18	27.5	52.4	22.8	36.2	8.5	27.4	49.2	55.2	52.7
2020	5.4	19.2	21.9	22.8	12	13.8	15.9	8.1	14.4	26.4	34.2	13.8
2021	12.6	38.4	23.7	32.1	28.5	14.4	7.8	24.6	18.9	22.5	36	19.8
2022	12	8.7	18	3.6	6	25.5	12.3	4.8	47.4	37.8	7.2	3.3
2023	14.4	7.5	25.7	22.8	15.3	8.1	16.2	19.8	18.3	21.9	28.5	34.8

*Nota.* Elaboración propia

**Tabla 9***Estación Rioja con datos completados*

<b>Año/Mes</b>	<b>E</b>	<b>F</b>	<b>M</b>	<b>A</b>	<b>M</b>	<b>J</b>	<b>J</b>	<b>A</b>	<b>S</b>	<b>O</b>	<b>N</b>	<b>D</b>
1976	52.4	35.5	33	25.2	31.4	30.6	7.9	23	49.6	40	61.7	31.3
1977	23.2	44.4	34.5	51.8	26.5	33.7	13.8	22.2	13.6	52.8	54.9	47.2
1978	17.7	36.1	36.2	28.6	43.2	9.2	15.2	30	42.4	45.4	72.6	39.3
1979	24.8	16.2	50.9	17.9	42.8	19.4	33.4	30.5	58.6	54	68.4	39.7
1980	32	68	59	30	20	30.3	45	26	17.6	25.8	64	56.6
1981	30.7	70	75	46.8	65	54.7	4.6	20	0	54	48.2	30.3
1982	27.2	59	42.4	25.4	36	30	27	10	38	21.2	90.6	35
1983	24.6	48.6	46.4	30.6	28	35.4	15.8	15	19	37.6	69.4	32.65
1984	25.9	53.8	44.4	28	32	32.7	21.4	12.5	28.5	29.4	80	33.83
1985	25.3	51.2	45.4	29.3	30	34.05	18.6	13.75	23.75	33.5	74.7	33.24
1986	25.6	41.5	90	28.65	31	10.7	10.6	17.4	75.1	48.7	80.5	47.1
1987	30	39.2	36.4	85.7	40.3	20.6	30	28.7	24.1	53.5	73.8	27
1988	60.5	20.5	75.6	60	11.2	20	6	21.5	14	30.5	100.1	53.5
1989	44	41.2	57	39.8	25.7	29.5	9.5	19	32.7	40.5	23	16
1990	28.8	100	76.7	32.2	15.1	15.5	27.5	33.4	43	20.1	21.5	25.5
1991	13.2	60	59	69	60	66.5	10.5	26.6	34.5	27.2	32.2	25.2
1992	30.3	36.3	61.2	40.5	13	12.7	28.2	18.5	27.6	53.4	33.5	31.3
1993	21.5	49.5	53.7	35.1	44	13.6	15.5	11.9	37	29.5	52	21.2
1994	17.7	36.5	58.6	36.7	50.5	26	25.6	8.4	22.7	98.5	66.3	43.7
1995	59.1	37	74.8	29.5	40	21.3	35.2	13.8	29.3	14.5	27	46.3
1996	32.8	16.5	22	37.2	22.3	9.9	17.6	29.2	30.3	36.1	18	30.2
1997	43.6	70.3	78	52.2	30.8	9	3.6	15.3	27.2	25.7	37.5	43.4
1998	23.7	29.5	72.4	86.5	30.3	16.1	6.8	21	13.1	70.6	43.2	18.1
1999	54	45.8	31.1	13.2	48.5	14.1	22.1	33	12	63.6	22	22.1
2000	34	34.5	28.2	32.1	35.1	4.8	26.6	18.3	35.9	9	17.9	45
2001	13.9	40.2	33.8	38.6	30.5	13.5	11.4	12.4	38.2	70.5	40.2	71.3
2002	50.9	22.2	27.8	55.2	31.2	7.9	22.5	22.2	29.8	77.5	21.5	18.2
2003	33.8	24.8	119.4	33.9	27.6	21.5	12.7	20.6	34.6	65.2	82.4	111.5
2004	11.8	16.7	50.2	60.8	35.2	6	8.7	47.2	32.4	55.3	35.4	47.6
2005	34.8	55.4	38.7	43.5	17.6	13.7	19.8	12.3	11.7	43.2	41.3	72.3

Año/Mes	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
2006	10.9	84.3	25.9	19	21.2	22.8	26	40.8	13.4	13.2	26.3	35.3
2007	22.7	23	31.2	98.6	65.1	3.7	100	32.7	54.3	43.8	57.3	31.2
2008	26.5	23.5	42.5	25.5	68.3	30.2	35.2	17.8	22.1	47.7	36.2	22.4
2009	29.9	24.7	52	54.3	25.9	15.3	7.5	31.5	29.3	13.9	20.5	38.2
2010	14.8	38.6	28.7	90.2	21.6	9.5	40.3	5.3	21.7	21.4	35.3	48.6
2011	40.8	49.2	54.6	11.5	29.6	11.8	15.6	37.2	12.3	99.2	35.3	46.2
2012	65	32.3	76.5	94.3	30.4	14.4	8.2	24.3	14.2	41	49.7	48.2
2013	53	52.5	61	44.2	28.6	24.5	16	29.7	67.5	26.3	69.3	17.4
2014	50.8	63.3	59.3	91.6	47	30.4	45.6	23.4	45.2	47.1	48	43.4
2015	32.4	41.6	68.3	51.3	50.9	10.7	27.4	37.1	15.7	42.5	69.9	33.3
2016	12.7	61.7	52.8	32.3	32.4	11.7	4.9	14.6	48.3	55.8	89.2	43.3
2017	40.4	152.4	43.1	43.1	44.9	28.8	18.6	26.6	24.2	28.4	18.8	14.8
2018	25.7	55.2	24.1	70.5	31.6	25.8	22.3	26.2	73.1	44.7	35.6	18.7
2019	34.2	69.2	24.2	26.7	28.1	25.2	30.6	23.2	59.1	26.1	48.6	32.5
2020	60.4	13.2	48.4	34.9	72.5	19.5	12.9	10	21.3	42.8	56.7	31.4
2021	53	97.6	77.6	49.8	34.3	15.8	11.5	33.4	70.3	14.6	15.6	54
2022	49.3	40.3	44	39.5	30.8	10.6	15.6	6	32.5	31	35.5	16.5
2023	46.5	23.6	78	6.9	62.1	10.2	7.1	3.8	8.8	32	9.4	22.4

*Nota.* Elaboración propia

Según Pizarro et al. (2006), el método de la regresión lineal es uno de los más empleados; se recomienda para la estimación de datos mensuales y anuales de la estación en estudio.

#### **7.1.4. Análisis de consistencia**

Tras la recogida de datos de las estaciones más cercanas a la zona de estudio, es necesario comprobar la fiabilidad de la información obtenida mediante técnicas estadísticas y criterios físicos que faciliten reconocer, estimar y eliminar los errores sistemáticos que puedan haberse producido; ya sea como resultado de la intervención del hombre, como de causas naturales.

La no homogeneidad e inconsistencia son los orígenes del cambio al que se expone la información hidrológica, por tanto, el estudio es importante para determinar posibles errores sistemáticos que pueden afectarlas (Huamán, 2019).

En la tabla 10 se muestran los resultados obtenidos de los análisis de consistencia obtenidos por medio del software Trend, realizados según los métodos paramétricos y métodos no paramétricos.

En la presente tabla se indica que en la estación Naranjillo no hay tendencia, es decir, que es homogénea y estadísticamente presenta datos confiables.

**Tabla 10***Resultados de análisis de consistencia de la estación Naranjillo*

Pruebas estadísticas	Estación Naranjillo				Estación Rioja				Tipo de prueba	Prueba
	Z	a=0.05	Resultados	Homogeneidad	Z	a=0.05	Resultados	Homogeneidad		
Mann-Kendall	0.827	1.96			1.182	1.96			no paramétrico	
Spearman's Rho	0.789	1.96			1.162	1.96			no paramétrico	tendencias
Linear regression	0.93	2.014			1.383	2.014			paramétrico	
Cusum	7	9.422			5	9.422			no paramétrico	
Cumulative deviation	0.967	1.268			0.934	1.268			paramétrico	
Worsley likelihood	2.191	3.168			1.915	3.168			paramétrico	
Rank Sum	-1.62	1.96	NS	homogénea	-0.979	1.96	NS	homogénea	no paramétrico	
Student's t	-1.56	2.013			-1.287	2.013			paramétrico	saltos
Median Crossing	1.021	1.96			0.146	1.96			paramétrico	
Turning Point	-1.98	1.96			-0.582	1.96			paramétrico	
Rank Difference	-3.26	1.96			0.504	1.96			paramétrico	
Auto Correlation	2.17	1.96			-0.028	1.96			paramétrico	

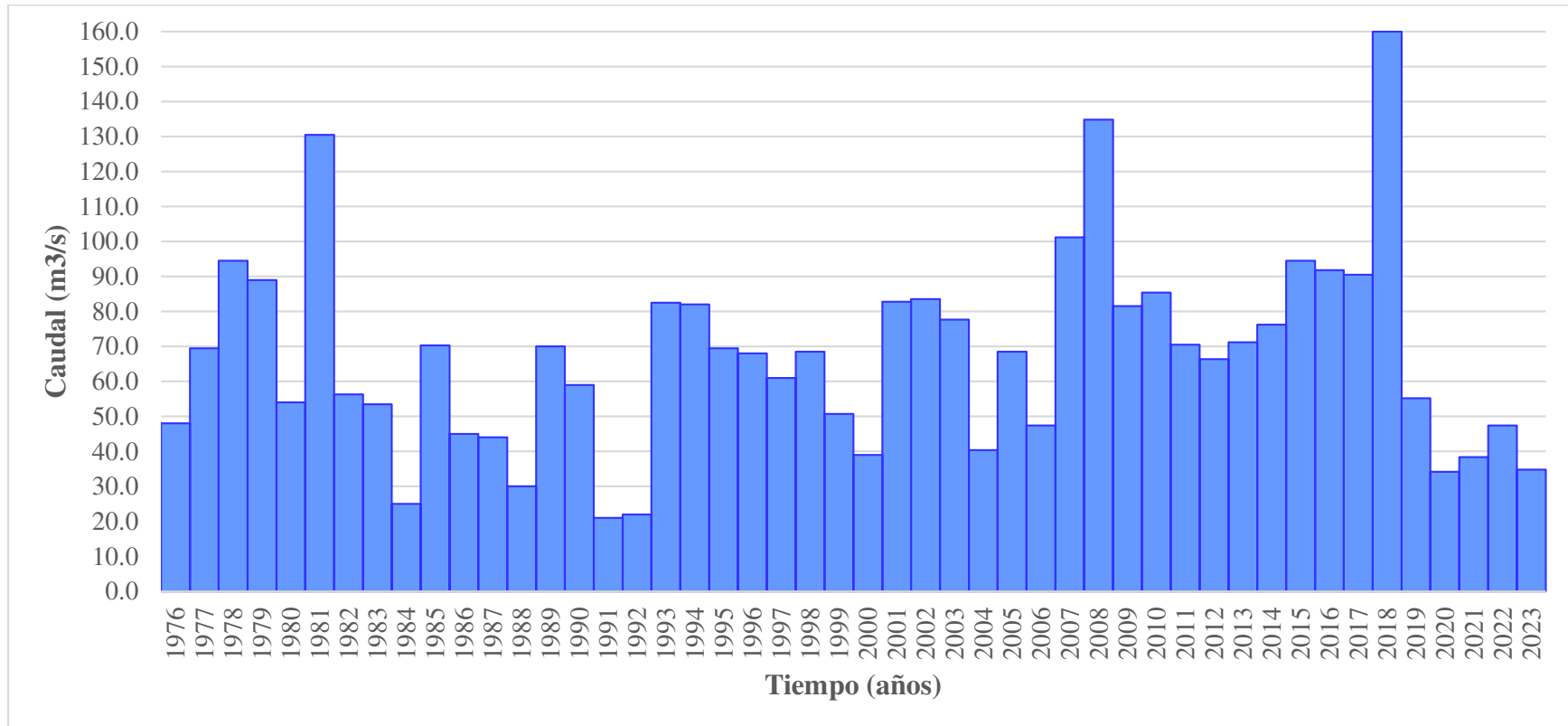
*Nota.* Elaboración propia

Se empleó la recopilación de datos de las estaciones pluviométricas Naranjillo y Rioja, dichos datos se recopilaron desde el año 1976 al 2023, obteniendo una data de 48 años. Así mismo, aceptando la modalidad de atención al ciudadano, se obtuvo la información meteorológica a través de una solicitud de la tesista dirigida al SENAMHI. Se utilizó el programa HEC 4 para aplicar la completación de datos faltantes para el procesamiento de la información.

La figura 20 muestra los caudales máximos completados para realizar el análisis de datos dudosos por el método Water Resources Council.

**Figura 20**

*Precipitación máxima 24 horas, promedio anual, en la estación Naranjillo*



*Nota.* Elaboración propia

Consecuentemente, después de la obtención de la data meteorológica, se realizó la estadística descriptiva para poder analizar la existencia de datos dudosos con relación a la precipitación máxima en 24 horas de la estación Naranjillo de los últimos 48 años (1976-2023).

**Tabla 11**

*Estadística descriptiva de la estación Naranjillo*

<b>Estadística descriptiva</b>	<b>Pmáx24h</b>	<b>Log (Pmáx24h)</b>
Media	67.44	1.79
Error típico	4.12	0.03
Mediana	68.50	1.84
Moda	69.50	1.84
Desviación estándar	28.51	0.19
Varianza de la muestra	813.08	0.04
Curtosis	1.66	0.25
Coefficiente de asimetría	0.92	-0.46
Coefficiente de variación	0.42	0.11
Rango	139.00	0.88
Mínimo	21.00	1.32
Máximo	160.00	2.20
Suma	3237.10	85.92
Cuenta	48.00	48.00
Nivel de confianza (95.0%)	8.28	0.06

*Nota.* Elaboración propia

#### **7.1.5. Determinación de datos dudosos (Método Water Resources Council)**

##### **Determinación de datos dudosos de la estación Naranjillo**

**N=47**

**Kn=2.753** (valor sugerido, varía según el valor de n - significancia: 10%)

Umbral de datos dudosos altos ( $X_H$ : unid. logarítmicas):

$$X_H = \bar{X} + k_n S$$

$$X_H = 2.321$$

Precipitación máxima aceptada:

$$P_H = 10^{X_H}$$

$$P_H = 209.56 \text{ mm}$$

Umbral de datos dudosos bajos (X<sub>L</sub>: Unid. Logarítmicas)

$$X_L = \bar{X} - k_n S$$

$$X_L = 1.259$$

Precipitación mínima aceptada

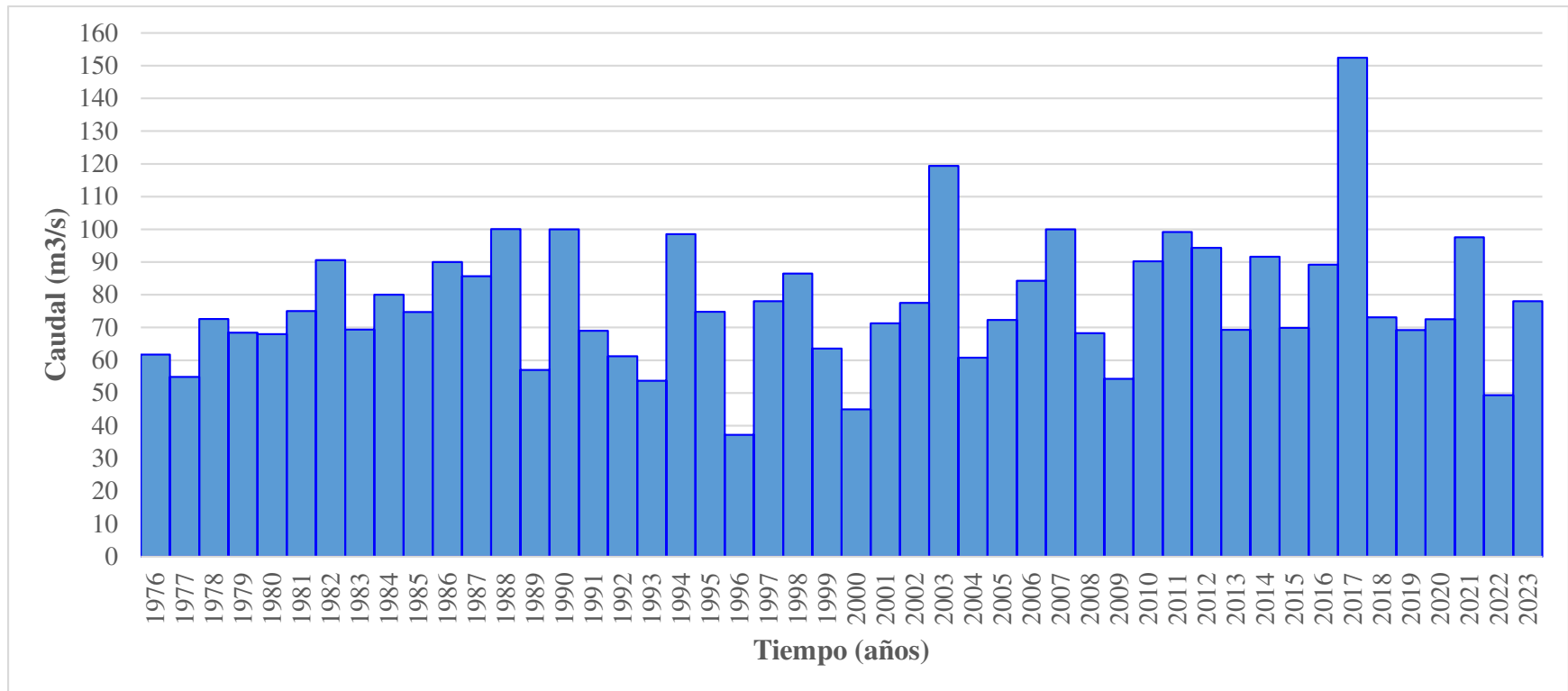
$$P_L = 10^{X_L}$$

$$P_L = 18.134 \text{ mm}$$

Según el estudio, se considera que todos los valores de 'Pmax24h' están entre 209,56 y 18,13 mm, lo que se encuentra dentro de las limitaciones de PH y PL; en consecuencia, la estación Naranjillo no cuenta con una muestra de datos dudosos.

**Figura 21**

*Precipitación máxima 24 horas, promedio anual, en la estación Naranjillo*



*Nota.* Elaboración propia

**Tabla 12***Estadística descriptiva de la estación Rioja*

<b>Estadística descriptiva</b>	<b>Pmáx24h</b>	<b>Log (Pmáx24h)</b>
Media	77.49	1.88
Error típico	2.88	0.02
Mediana	73.90	1.87
Moda	100.00	2.00
Desviación estándar	19.98	0.11
Varianza de la muestra	399.07	0.01
Curtosis	3.16	1.12
Coefficiente de asimetría	1.07	-0.11
Coefficiente de variación	0.26	0.06
Rango	115.20	0.61
Mínimo	37.20	1.57
Máximo	152.40	2.18
Suma	3719.60	90.03
Cuenta	48.00	48.00
Nivel de confianza (95.0%)	5.80	0.03

*Nota.* Elaboración propia**Determinación de datos dudosos de la estación Rioja****N=47****Kn=2.753** (valor sugerido, varía según el valor de n - significancia: 10 %)Umbral de datos dudosos altos ( $X_H$ : unid. logarítmicas):

$$X_H = \bar{X} + k_n S$$

$$X_H = 2.1781$$

Precipitación máxima aceptada:

$$P_H = 10^{X_H}$$

$$P_H = 150.71 \text{ mm}$$

Umbral de datos dudosos bajos ( $X_L$ : Unid. Logarítmicas)

$$X_L = \bar{X} - k_n S$$

$$X_L = 1.573$$

Precipitación mínima aceptada

$$P_L = 10^{X_L}$$

$$P_L = 37.435 \text{ mm}$$

Según el análisis, se contempla que existe presencia de datos dudosos de valores altos y bajos en la muestra debido a que la 'Pmáx24h' no se encuentra en el rango de los límites PH=150.71 mm y PL=37.435 mm, siendo el valor mínimo de 37.2 mm y el máximo de 152.4 mm. Por lo tanto, para la estación Rioja existe presencia de datos dudosos altos y bajos en la muestra.

Así mismo, con el polígono de Thiessen se tiene como resultado que la estación Rioja abarca un 10 % del área general de subcuenca del río Yuracyacu, siendo una superficie mínima y despreciable, como también se encuentra más alejada de la subcuenca. Por ende, el análisis de los hidrogramas se realizará con la estación Naranjillo puesto que abarca mayor área, se encuentra más cerca de la subcuenca y no existe presencia de datos dudosos en la muestra.

### 7.1.6. Prueba de bondad de ajuste

**Tabla 13**

*Resumen de prueba de bondad de ajuste - Estación Naranjillo*

N°	Función de distribución	Nivel de significancia	Estación Naranjillo		Jerarquía
			Teórico	Tabular	
1	Normal	0.05	0.0960	0.1993	1
2	Log. Normal 2 parámetros	0.05	0.1221	0.1993	4
3	Log. Normal 3 parámetros	0.05	0.0975	0.1993	6
4	Gamma 2 parámetros	0.05	0.0965	0.1993	2
5	Gamma 3 parámetros	0.05	0.1053	0.1993	5
6	Gumbel	0.05	0.1109	0.1993	3
7	Log Gumbel	0.05	0.1911	0.1993	7

*Nota.* Elaboración propia

### 7.1.7. Elaboración de las curvas IDF

**Tabla 14**

*Intensidades tiempo de duración de la estación Naranjillo*

Duración min	Período de retorno (años)									
	2	5	10	20	25	30	50	100	200	500
60	36.24	49.16	55.91	61.49	63.12	64.40	67.77	71.96	75.78	80.42
120	24.33	33.01	37.54	41.29	42.38	43.24	45.50	48.31	50.88	54.00
180	18.32	24.84	28.26	31.08	31.90	32.55	34.25	36.37	38.30	40.64
240	14.69	19.92	22.66	24.92	25.57	26.09	27.46	29.16	30.71	32.59
300	12.26	16.62	18.91	20.79	21.34	21.78	22.92	24.33	25.63	27.19
360	10.52	14.26	16.22	17.84	18.31	18.68	19.66	20.88	21.99	23.33
420	9.21	12.49	14.21	15.62	16.04	16.36	17.22	18.28	19.25	20.43
480	8.19	11.11	12.63	13.90	14.26	14.55	15.31	16.26	17.13	18.17
540	7.37	10.00	11.38	12.51	12.84	13.10	13.79	14.64	15.42	16.36
600	6.71	9.10	10.35	11.38	11.68	11.92	12.54	13.32	14.02	14.88
660	6.15	8.34	9.49	10.43	10.71	10.93	11.50	12.21	12.86	13.65
720	5.68	7.70	8.76	9.63	9.89	10.09	10.62	11.27	11.87	12.60

Duración min	Período de retorno (años)									
	2	5	10	20	25	30	50	100	200	500
780	5.27	7.15	8.14	8.95	9.18	9.37	9.86	10.47	11.03	11.70
840	4.92	6.68	7.60	8.35	8.57	8.75	9.21	9.77	10.29	10.93
900	4.62	6.26	7.12	7.83	8.04	8.20	8.63	9.17	9.65	10.24
960	4.35	5.89	6.70	7.37	7.57	7.72	8.13	8.63	9.09	9.64
1020	4.10	5.57	6.33	6.96	7.15	7.29	7.68	8.15	8.58	9.11
1080	3.89	5.28	6.00	6.60	6.77	6.91	7.27	7.72	8.13	8.63
1140	3.70	5.01	5.70	6.27	6.44	6.57	6.91	7.34	7.73	8.20
1200	3.52	4.77	5.43	5.97	6.13	6.25	6.58	6.99	7.36	7.81

*Nota.* Elaboración propia

### Ecuaciones de la curva IDF por el método de Talbot

$$I_2 =$$

$$I_{30} =$$

$$I_5 =$$

$$I_{50} =$$

$$I_{10} =$$

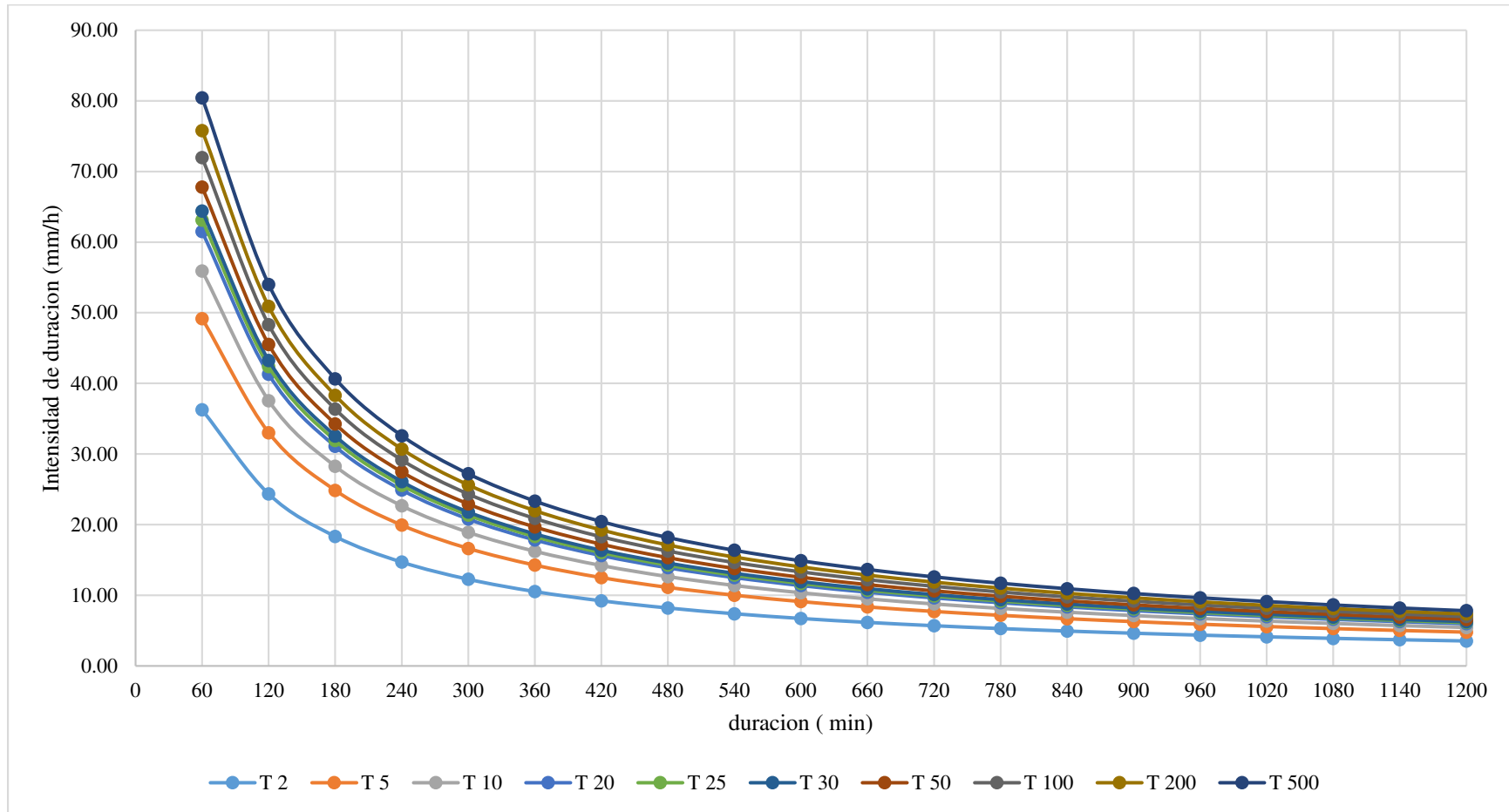
$$I_{100} =$$

$$I_{20} =$$

$$I_{200} =$$

$$I_{25} =$$

$$I_{500} =$$

**Figura 22***Curvas IDF de la estación Naranjillo**Nota.* Elaboración propia

### 7.1.8. *Tiempo de concentración*

En la tabla 15 se presenta el cálculo del tiempo de concentración utilizando diferentes fórmulas propuestas por varios autores; asimismo, el valor adecuado del tiempo de concentración se realizó el análisis estadístico y se obtuvo un tiempo de concentración de 2.54 horas.

**Tabla 15**

*Tiempo de concentración para la subcuenca del río Yuracyacu*

N°	Métodos	Tc
1	Kirpich	1.34
2	California Highway	1.35
3	Ecuación de retardo SCS	2.76
4	Rowe	1.34
5	Pizarro	2.92
6	Valencia y Zuluaga	3.16
7	Guari	3.13
8	Giandiotti	1.90
9	Passini	4.05
10	Ahn-Lee	1.41
11	Bransby-Williams	1.67
12	Chow	1.95
13	Chereque	1.34
14	Corps of Engineers	2.54
15	Dooge	3.92
16	Australiana	3.31
17	Federal Aviation Administration	2.04
18	Johnstone-Cross	1.19
19	Picking	1.19
20	Pilgrim-mac derm ott	4.99
21	Temez	3.98
22	USBR	1.34
23	Ventura	4.12
24	Yoon	3.42

N°	Métodos	Tc
	Media	2.51
	Error típico	0.24
	Mediana	2.29
	Desviación estándar	1.16
	Varianza de la muestra	1.34
	Curtosis	-1.00
	Coefficiente de asimetría	0.47
	Rango	3.80
	Mínimo	1.19
	Máximo	4.99
	Suma	60.34
	Cuenta	24.00
	Nivel de confianza (95.0%)	0.49

*Nota.* Elaboración propia

### 7.1.9. Prueba de bondad de ajuste

**Tabla 16**

*Prueba de bondad de ajuste (Smirnov-Kolmogorov) para la estación La Florida*

N°	Función de distribución	Nivel de significancia	Estación Naranjillo		Jerarquía
			Teórico	Tabular	
1	Normal	0.05	0.2209	0.3298	7
2	Log. Normal 2 parámetros	0.05	0.0900	0.3298	3
3	Log. Normal 3 parámetros	0.05	0.0831	0.3298	2
4	Gamma 2 parámetros	0.05	0.1222	0.3298	4
5	Log Pearson tipo III	0.05	0.0830	0.3298	1
6	Gumbel	0.05	0.1558	0.3298	6
7	Log Gumbel	0.05	0.1195	0.3298	5

*Nota.* Elaboración propia

Según la tabla 16, el método estadístico con mayor significancia al 95 % es el de Log-Pearson tipo III; por ende con éste se va trabajar en los posteriores resultados.

**Tabla 17**

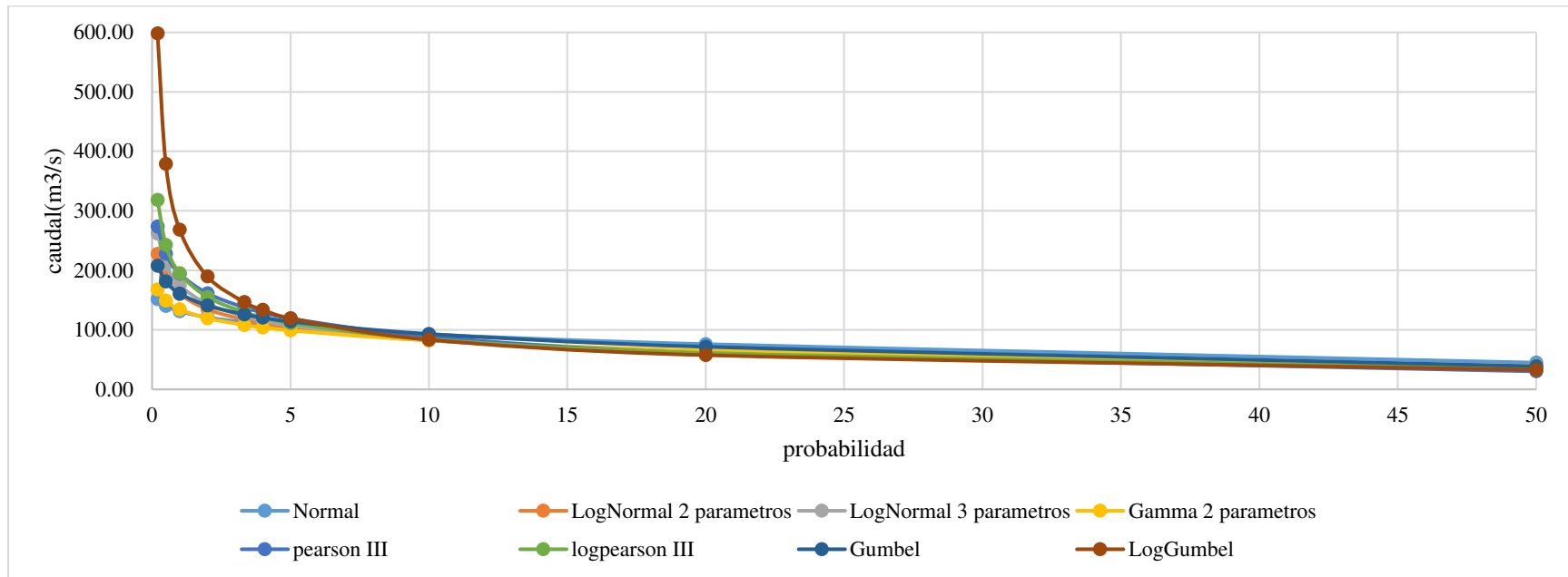
*Cálculo de caudal por el método estadístico para las diferentes probabilidades (m<sup>3</sup>/s).*

N°	Función de distribución	Probabilidad (%)									
		50	20	10	5	4	3.33	2	1	0.5	0.2
1	Normal	44.86	76.03	92.33	105.79	109.72	112.80	120.94	131.04	140.28	151.47
2	Log. Normal 2 parámetros	36.36	62.15	82.28	103.73	110.97	117.02	134.61	160.15	187.74	227.62
3	Log. Normal 3 parámetros	35.03	61.11	82.89	107.15	115.54	122.63	143.62	174.93	209.74	261.65
4	Gamma 2 parámetros	39.12	65.29	82.61	98.91	104.00	108.12	119.47	134.51	149.17	168.03
5	Log Pearson III	34.73	61.07	84.26	111.48	121.25	129.64	155.19	195.29	242.60	318.28
6	Gumbel	38.77	71.51	93.18	113.96	120.56	125.92	140.87	161.03	181.12	207.63
7	Log Gumbel	32.74	57.50	83.49	119.39	133.73	146.66	189.67	268.33	379.11	598.15

*Nota.* Elaboración propia

**Figura 23**

*Caudales máximos con distribuciones estadísticas para diferentes probabilidades.*



*Nota. Elaboración propia*

### 7.1.10. Modelación de hidrogramas

En la tabla 18 se realizó el cálculo del caudal máximo para la subcuenca del río Yuracyacu mediante las fórmulas empíricas de caudal instantáneo.

**Tabla 18**

*Cálculo de caudal por los métodos empíricos*

Nº	Métodos	Qi(m³/s)
1	Fórmula de Quijano	446.67
2	Fórmula de Zapata	409.93
3	Fórmula de Santi	497.92
4	Fórmula de Forti	4.72
5	Fórmula de Meyer	295.69
6	Fórmula Hec Ras	820.82
7	Fórmula de Kresnik	158.68
Media		371.58
Error típico		96.53
Mediana		403.87
Desviación estándar		255.40
Varianza de la muestra		65228.65
Curtosis		0.56
Coefficiente de asimetría		0.31
Coefficiente de variación		0.69
Coefficiente de sesgo		0.36
Rango		795.91
Mínimo		4.78
Máximo		800.69
Suma		2601.05
Cuenta		7.00
Nivel de confianza (95.0%)		236.20

*Nota.* Elaboración propia

En la tabla 18 se observa el cálculo de caudal máximo mediante fórmulas empíricas para diferentes probabilidades. Asimismo, se muestra el análisis estadístico descriptivo sin considerar los valores máximos y mínimos, puesto que tienen un error bastante significativo (análisis de campana de Gauss).

**Tabla 19**

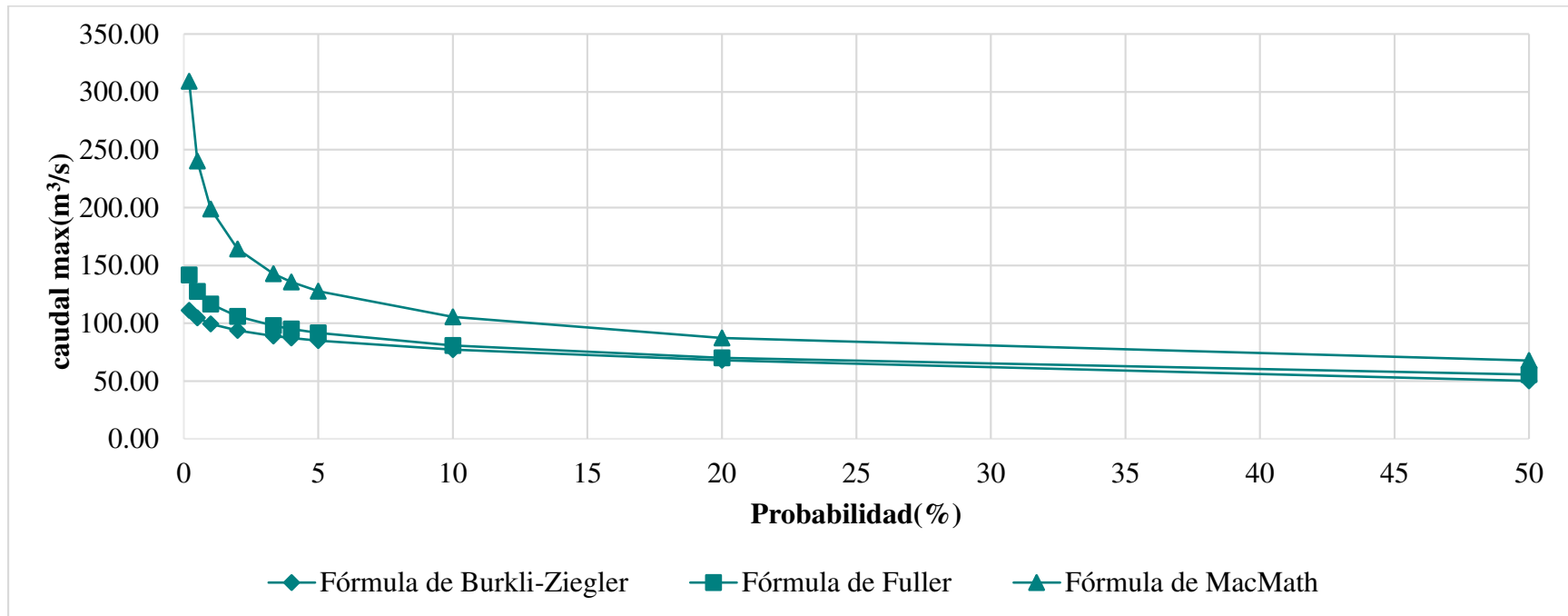
*Cálculo de caudal por métodos empíricos para diferentes probabilidades de la estación Naranjillo (m<sup>3</sup>/s).*

N°	Método	Probabilidad (%)									
		50	20	10	5	4	3.33	2	1	0.5	0.2
1	Fórmula de Burkli-Ziegler	50.08	67.93	77.27	84.98	87.22	88.99	93.66	99.44	104.73	111.14
2	Fórmula de Fuller	55.66	69.94	80.75	91.55	95.03	97.87	105.83	116.64	127.44	141.72
3	Fórmula de Mac Math	67.83	87.25	105.54	127.68	135.75	142.73	164.23	198.67	240.34	309.13
4	Método Creager	27.36	63.54	90.90	118.27	127.08	134.27	154.44	181.81	209.17	245.34
5	Fórmula de Gete	104.88	180.63	237.92	295.22	313.67	328.74	370.97	428.26	485.56	561.31
6	Método racional modificado	735.17	997.17	1134.19	1247.33	1280.30	1306.26	1374.72	1459.60	1537.26	1631.35
7	Método racional	612.64	830.97	945.16	1039.44	1066.92	1088.55	1145.60	1216.34	1281.05	1359.46
Media		57.86	75.04	87.85	101.40	106.00	109.86	121.24	138.25	157.50	187.33
Error típico		5.24	6.13	8.90	13.28	15.05	16.63	21.78	30.62	41.93	61.54
Mediana		55.66	69.94	80.75	91.55	95.03	97.87	105.83	116.64	127.44	141.72
Desviación estándar		9.07	10.62	15.42	22.99	26.06	28.80	37.72	53.03	72.63	106.59
Varianza de la muestra		82.35	112.72	237.75	528.72	679.09	829.67	1423.06	2812.13	5275.56	11360.41
Coeficiente de asimetría		1.03	1.66	1.63	1.57	1.56	1.55	1.53	1.53	1.54	1.57
Coeficiente de variación		0.16	0.14	0.18	0.23	0.25	0.26	0.31	0.38	0.46	0.57
coeficiente de sesgo		1.03	1.66	1.63	1.57	1.56	1.55	1.53	1.53	1.54	1.57
Rango		17.75	19.31	28.28	42.70	48.53	53.73	70.57	99.23	135.61	197.99
Mínimo		50.08	67.93	77.27	84.98	87.22	88.99	93.66	99.44	104.73	111.14
Máximo		67.83	87.25	105.54	127.68	135.75	142.73	164.23	198.67	240.34	309.13
Suma		173.58	225.12	263.56	304.21	318.01	329.59	363.71	414.75	472.51	561.99
Cuenta		3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00
Nivel de confianza (95.0%)		22.54	26.37	38.30	57.12	64.73	71.55	93.71	131.73	180.43	264.77

*Nota.* Elaboración propia

**Figura 24**

*Caudales máximos por métodos empíricos de Estación Naranjillo*



*Nota. Elaboración propia*

**Tabla 20**

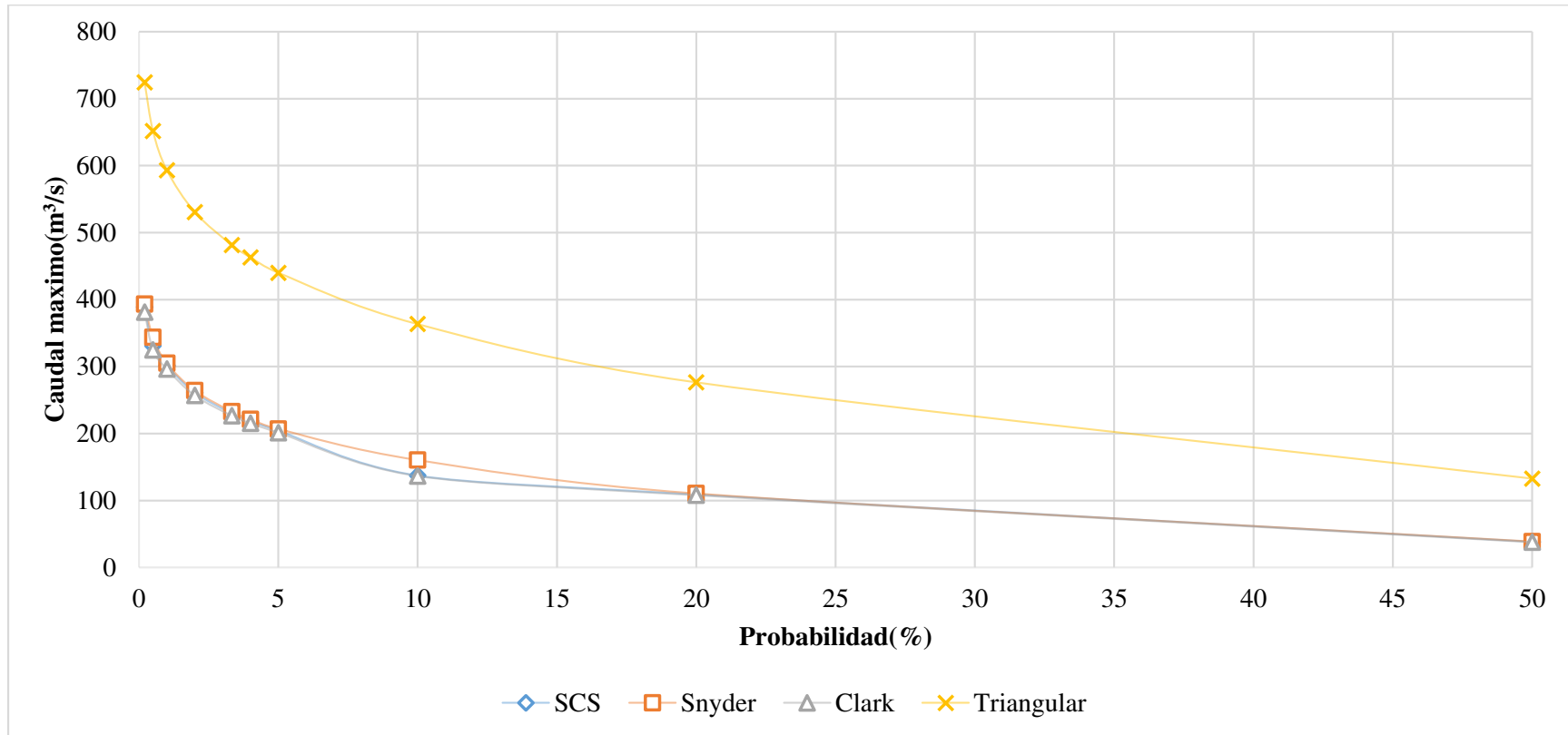
*Cálculo de caudal por métodos hidrológicos para diferentes probabilidades (m<sup>3</sup>/s)*

N°	Método	Probabilidad (%)									
		50	20	10	5	4	3.3	2	1	0.5	0.2
1	SCS	32.9	98.3	127	186.00	199.2	209.7	238.40	280.6	309.1	361.30
2	Snyder	32.7	97.7	143.6	186.70	202.9	210.9	240.2	278.4	315	361.30
3	Clark	31.6	94.7	122.5	181	194	204.5	232.9	269.9	297.4	350.2
4	Triangular	132.7	276.4	363.3	439.9	463.0	481.3	530.5	593.1	651.7	724.3
	Media	32.4	96.9	131.0	184.6	198.7	208.4	237.2	276.3	307.2	357.6
	Error típico	0.40	1.11	6.42	1.79	2.58	1.96	2.20	3.26	5.17	3.70
	Mediana	32.70	97.70	127.00	186.00	199.20	209.70	238.40	278.40	309.10	361.30
	Desviación estándar	0.70	1.93	11.11	3.11	4.47	3.40	3.80	5.65	8.96	6.41
	Varianza de la muestra	0.49	3.72	123.50	9.66	19.99	11.57	14.46	31.93	80.24	41.07
	Coefficiente de asimetría	-1.57	-1.55	1.42	-1.63	-0.50	-1.49	-1.31	-1.44	-0.93	-1.73
	Coefficiente de variación	0.02	0.02	0.08	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.03	0.02
	Rango	1.30	3.60	21.10	5.70	8.90	6.40	7.30	10.70	17.60	11.10
	Mínimo	31.60	94.70	122.50	181.00	194.00	204.50	232.90	269.90	297.40	350.20
	Máximo	32.90	98.30	143.60	186.70	202.90	210.90	240.20	280.60	315.00	361.30
	Suma	97.20	290.70	393.10	553.70	596.10	625.10	711.50	828.90	921.50	1072.80
	Cuenta	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00
	Nivel de confianza (95.0%)	1.74	4.79	27.61	7.72	11.11	8.45	9.45	14.04	22.25	15.92

*Nota.* Elaboración propia

**Figura 25**

*Caudales máximos por métodos hidrológicos de la Estación Naranjillo*

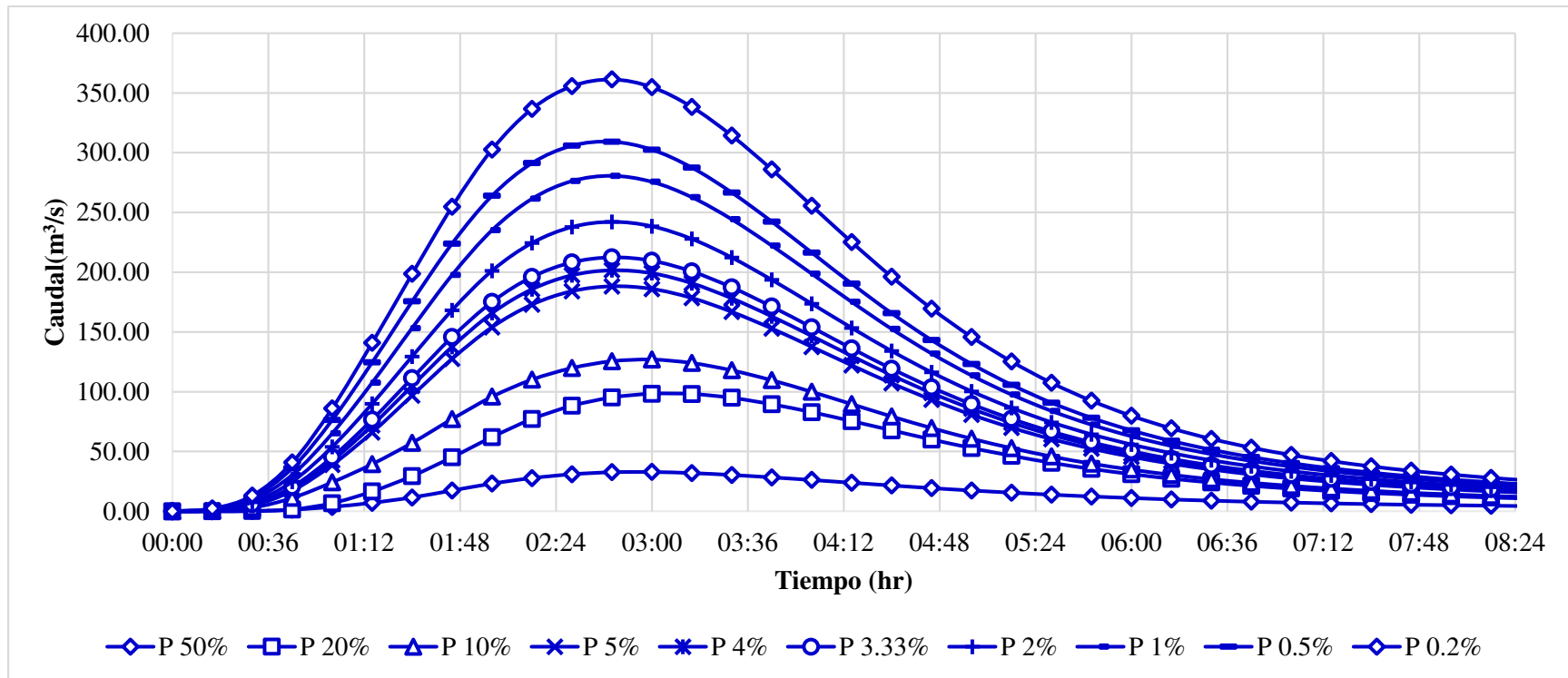


*Nota.* Elaboración propia

## 7.2. Comparación de hidrogramas

**Figura 26**

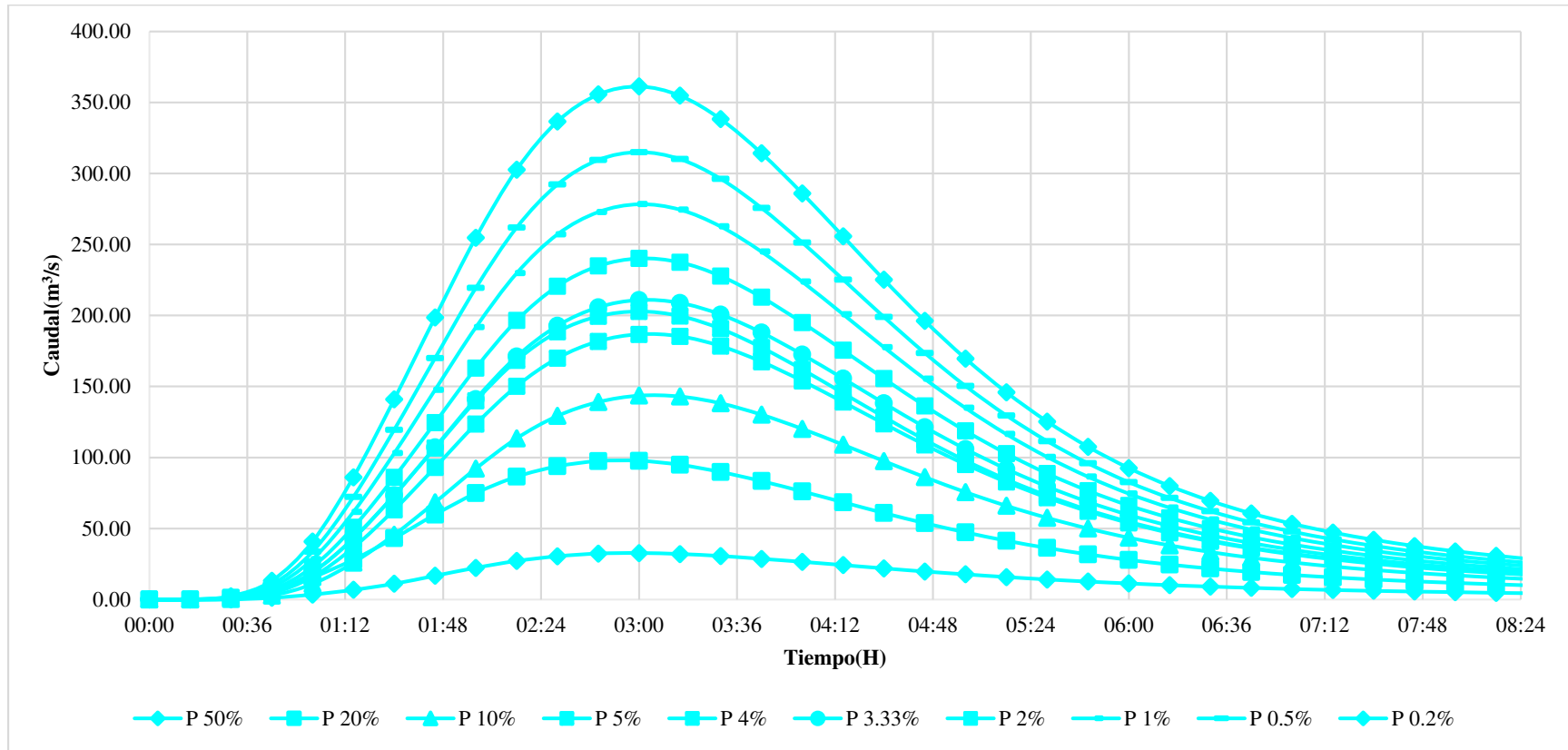
*Hidrograma unitario SCS para diferentes probabilidades de ocurrencia*



*Nota.* Elaboración propia

**Figura 27**

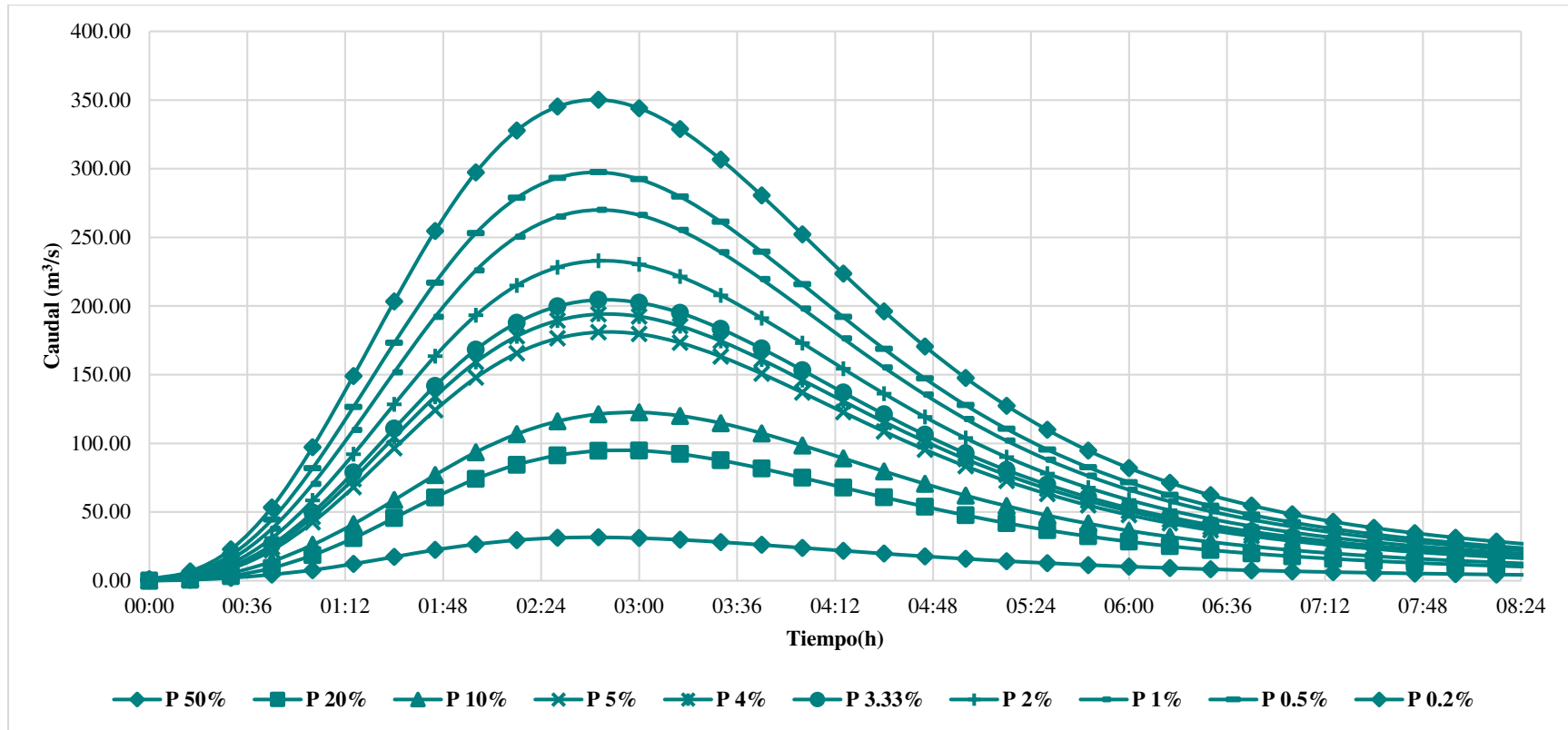
*Hidrograma de Snyder para diferentes probabilidades de ocurrencia*



Nota. Elaboración propia

**Figura 28**

*Hidrograma de Clark para diferentes probabilidades de ocurrencia*

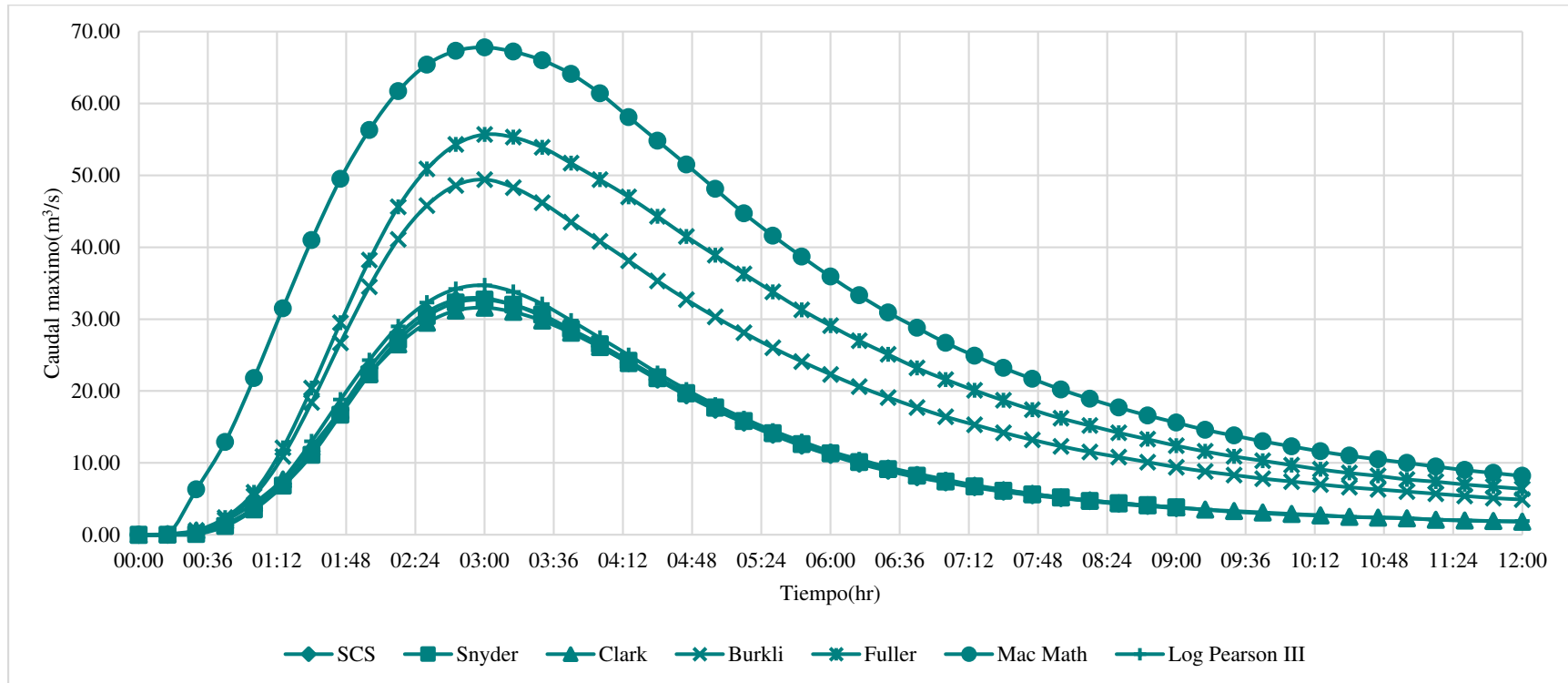


*Nota.* Elaboración propia

## Caudales máximos por el método hidrológico

**Figura 29**

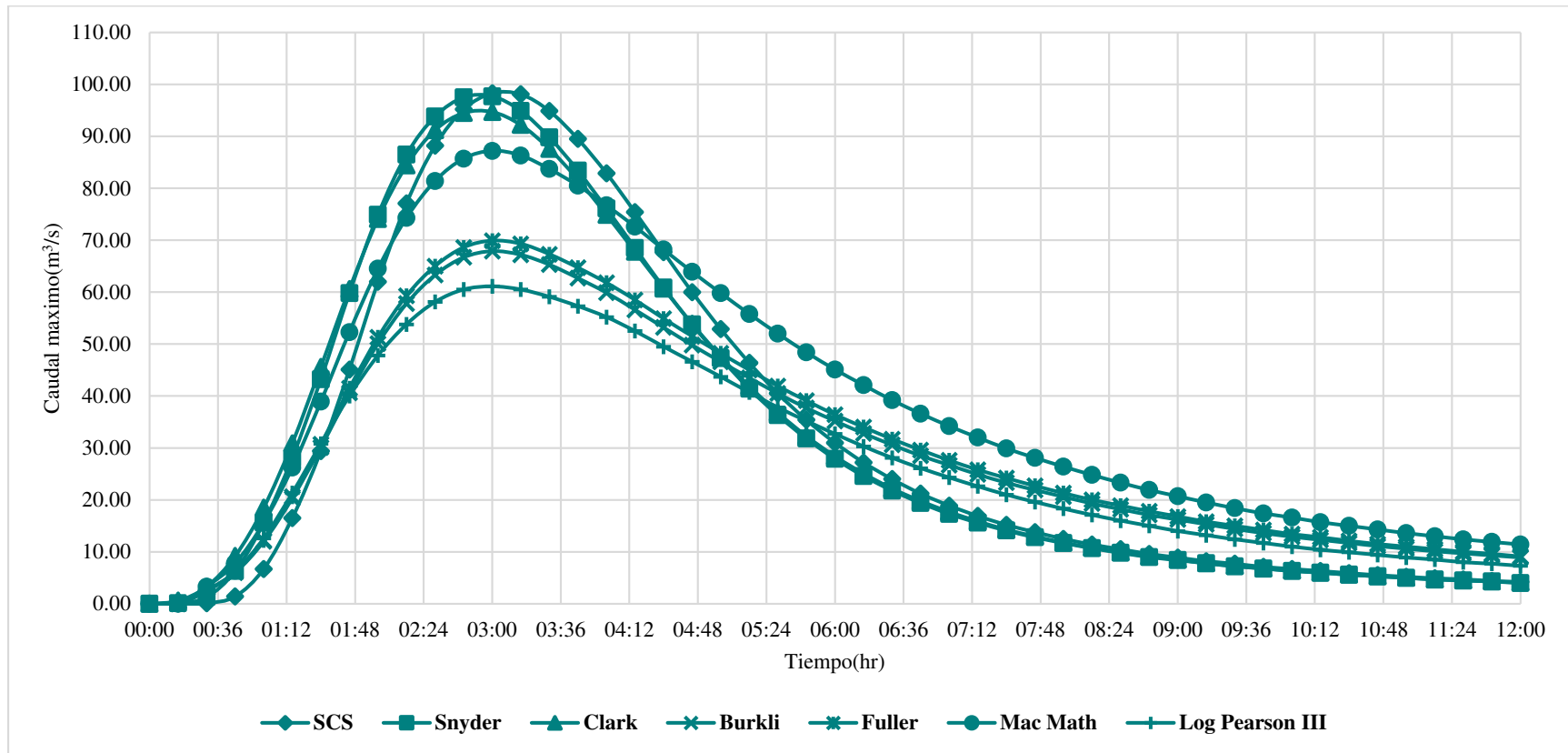
*Hidrograma de caudales máximos por diferentes métodos para una probabilidad de 50%*



*Nota. Elaboración propia*

**Figura 30**

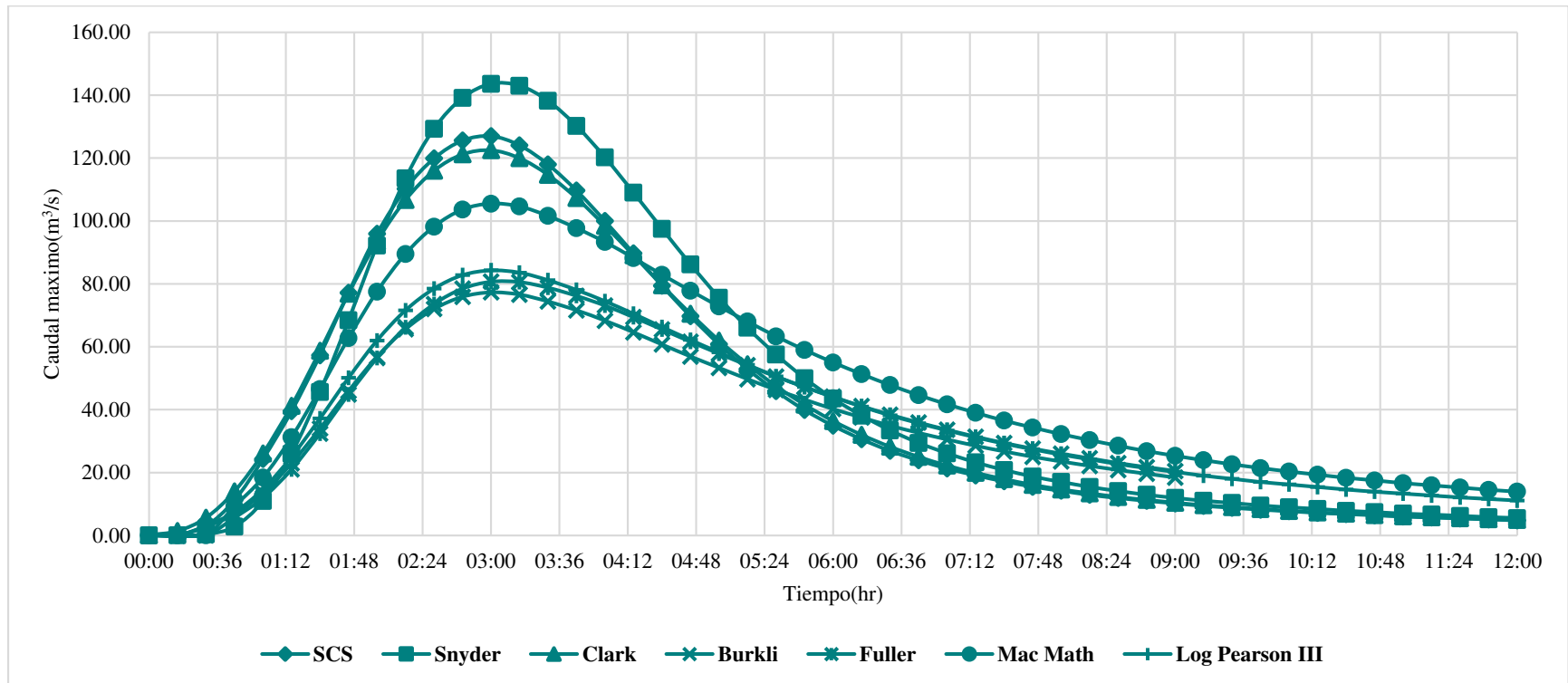
*Hidrogramas de caudales máximos por diferentes métodos para una probabilidad de 20%*



*Nota.* Elaboración propia

**Figura 31**

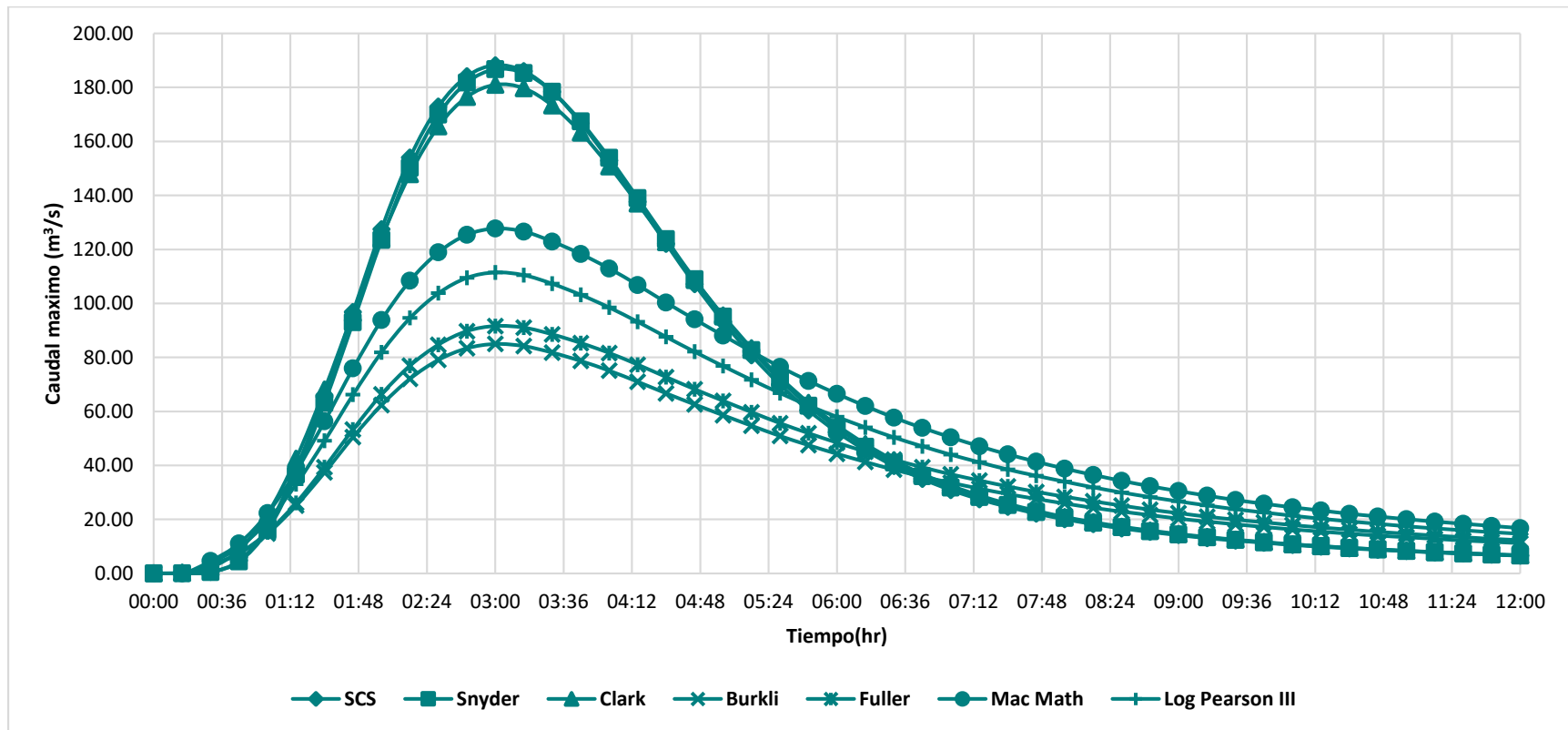
*Hidrogramas de caudales máximos por diferentes métodos para una probabilidad de 10%*



*Nota. Elaboración propia*

**Figura 32**

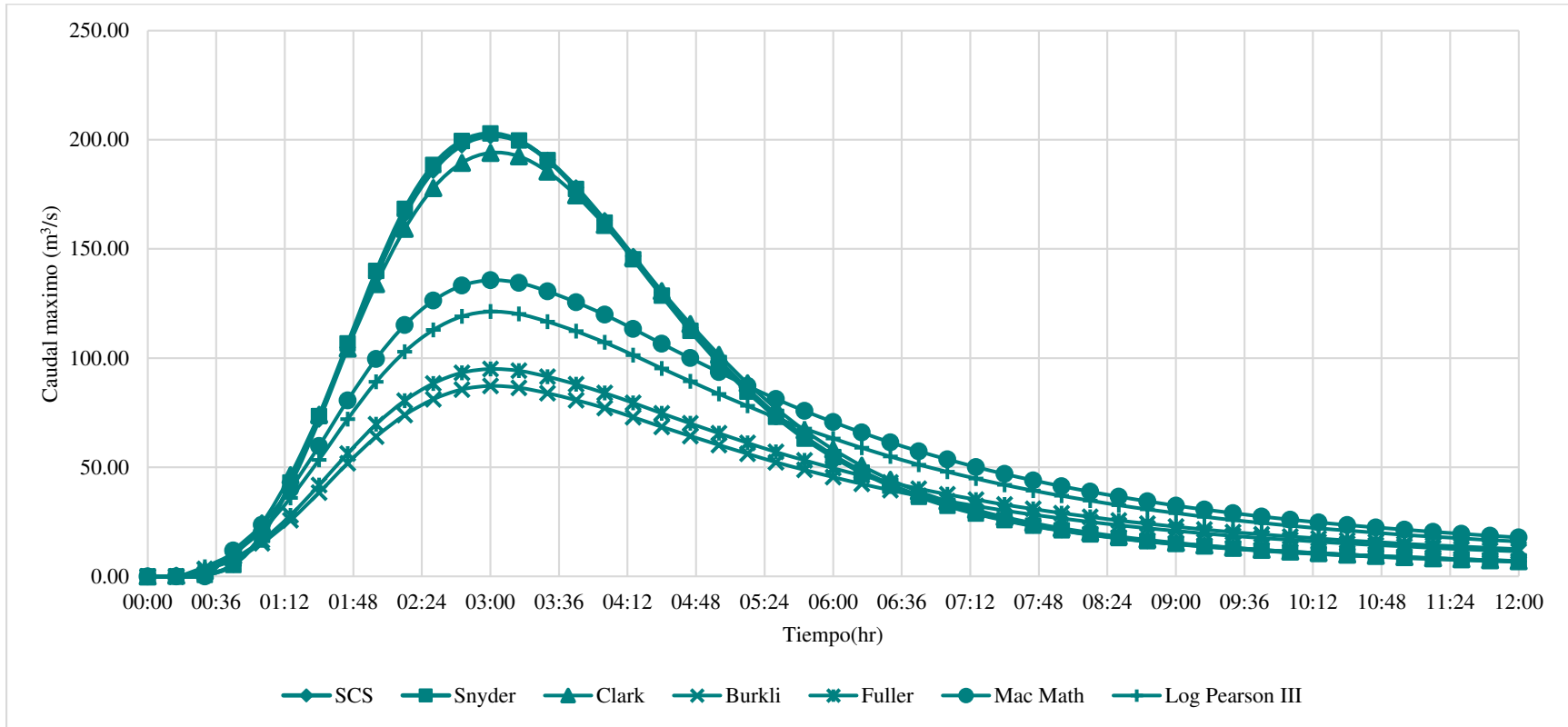
*Hidrogramas de caudales máximos por diferentes métodos para una probabilidad de 5%*



*Nota.* Elaboración propia

**Figura 33**

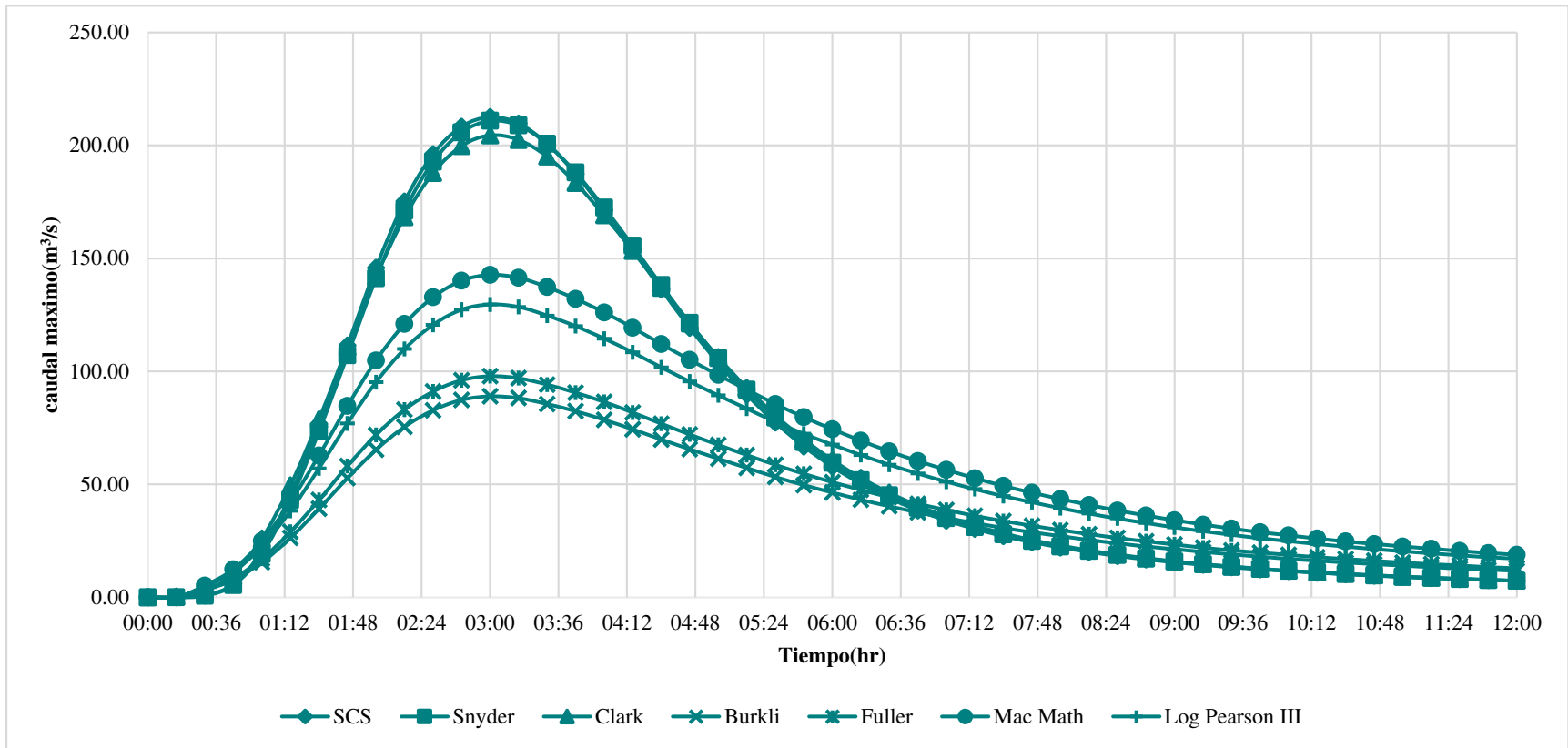
*Hidrogramas de caudales máximos por diferentes métodos para una probabilidad de 4%*



*Nota.* Elaboración propia

**Figura 34**

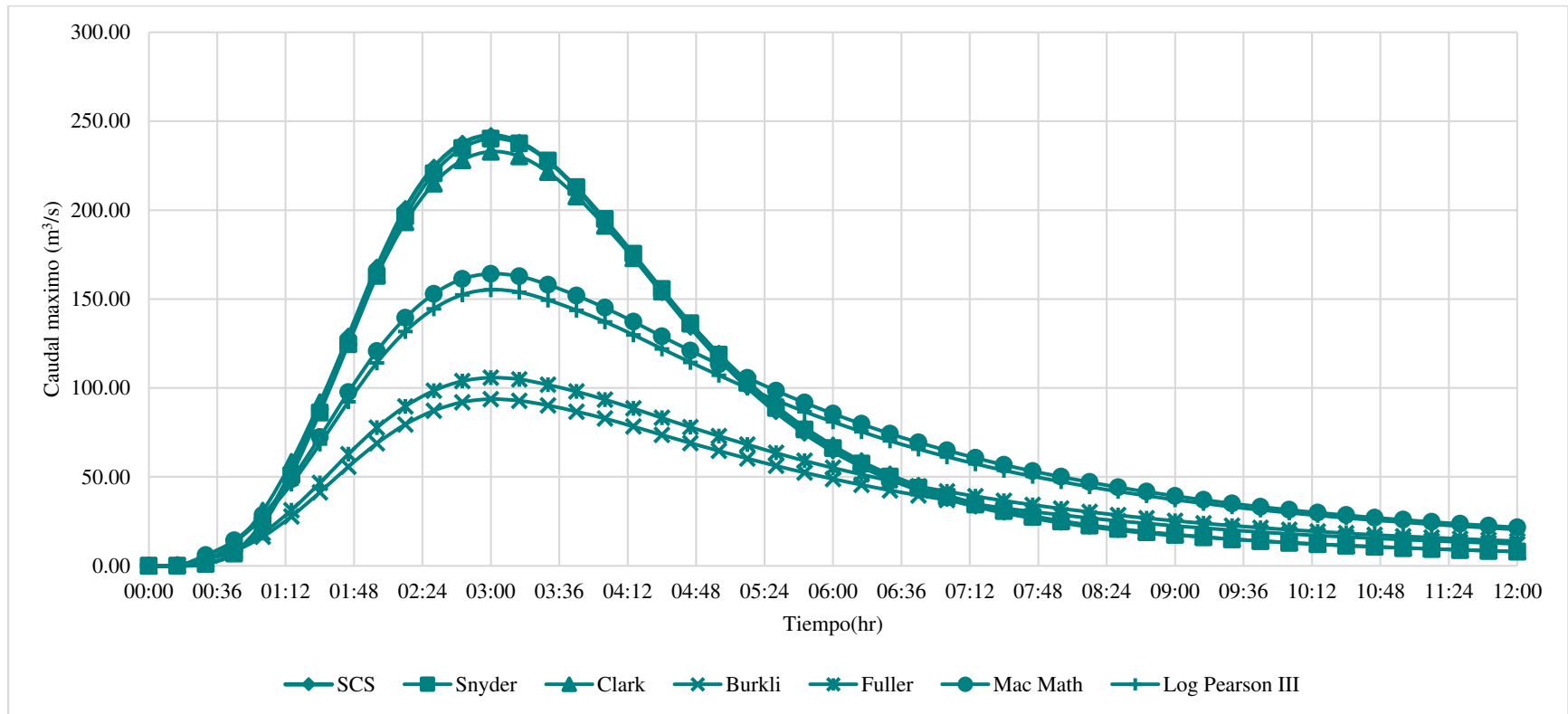
*Hidrogramas de caudales máximos por diferentes métodos para una probabilidad de 3.33%*



*Nota. Elaboración propia*

**Figura 35**

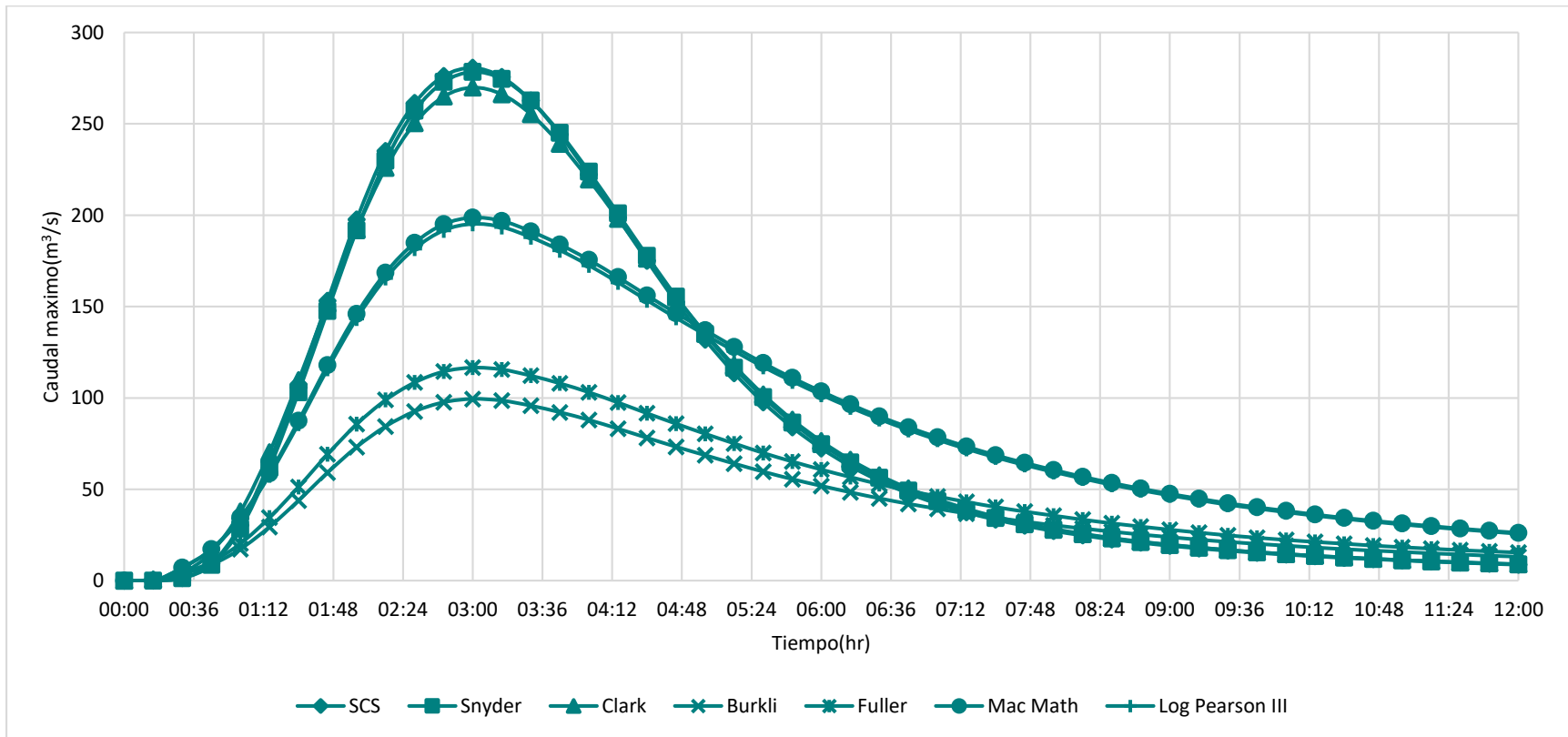
*Hidrogramas de caudales máximos por diferentes métodos para una probabilidad de 2%*



*Nota. Elaboración propia*

**Figura 36**

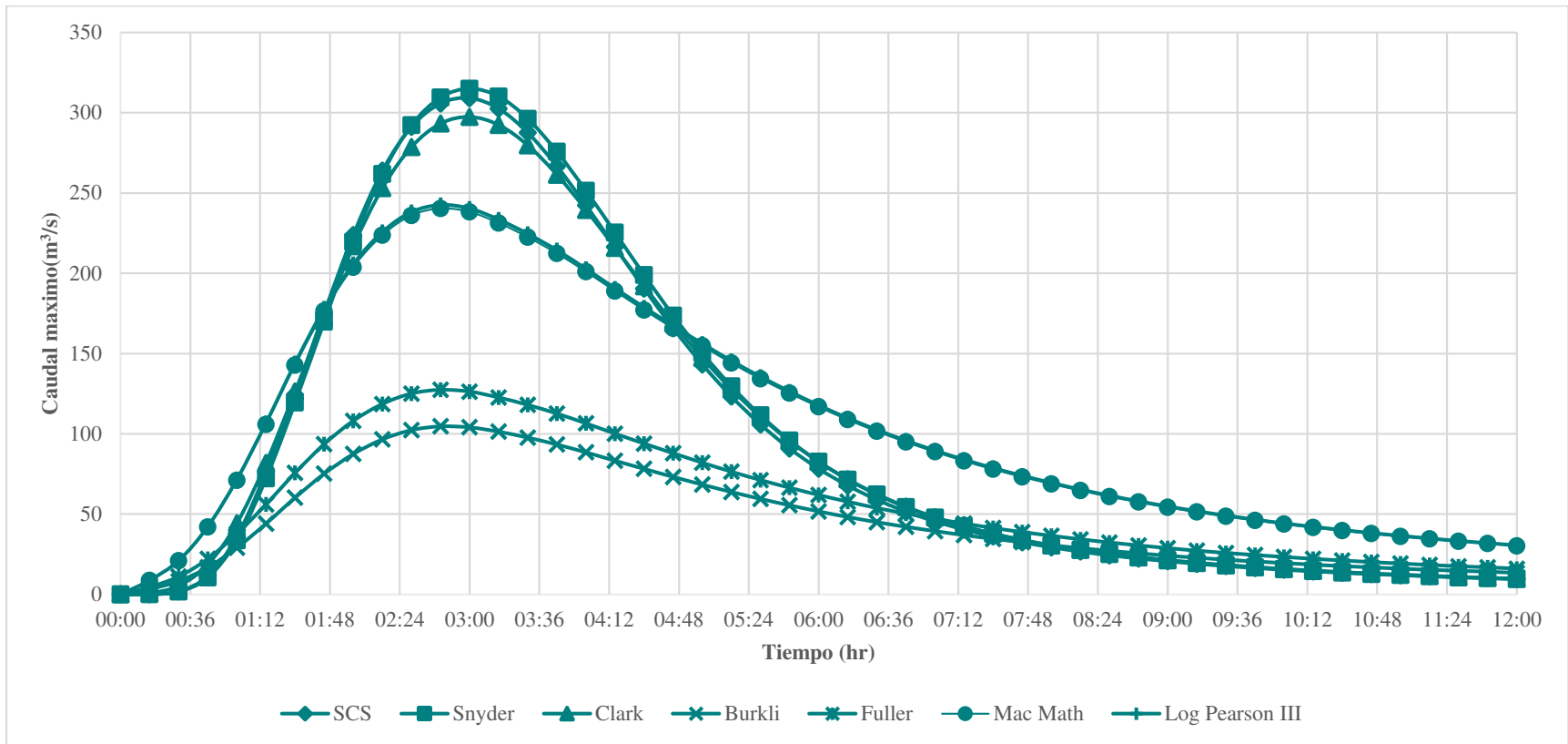
*Hidrogramas de caudales máximos por diferentes métodos para una probabilidad de 1%*



*Nota.* Elaboración propia

**Figura 37**

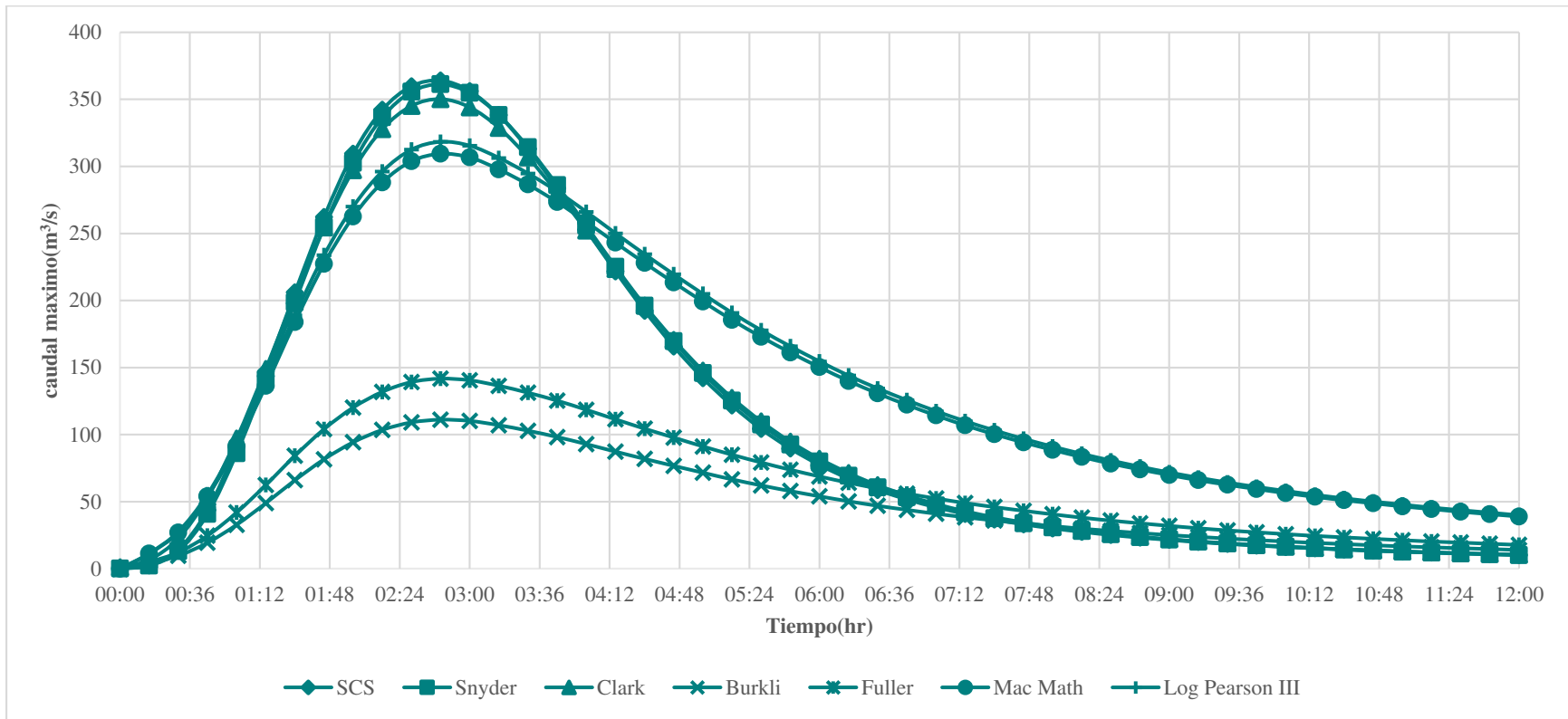
*Hidrogramas de caudales máximos por diferentes métodos para una probabilidad de 0.5%*



*Nota. Elaboración propia*

**Figura 38**

*Hidrogramas de caudales máximos por diferentes métodos para una probabilidad de 0.2 %*



*Nota.* Elaboración propia

**Tabla 21**

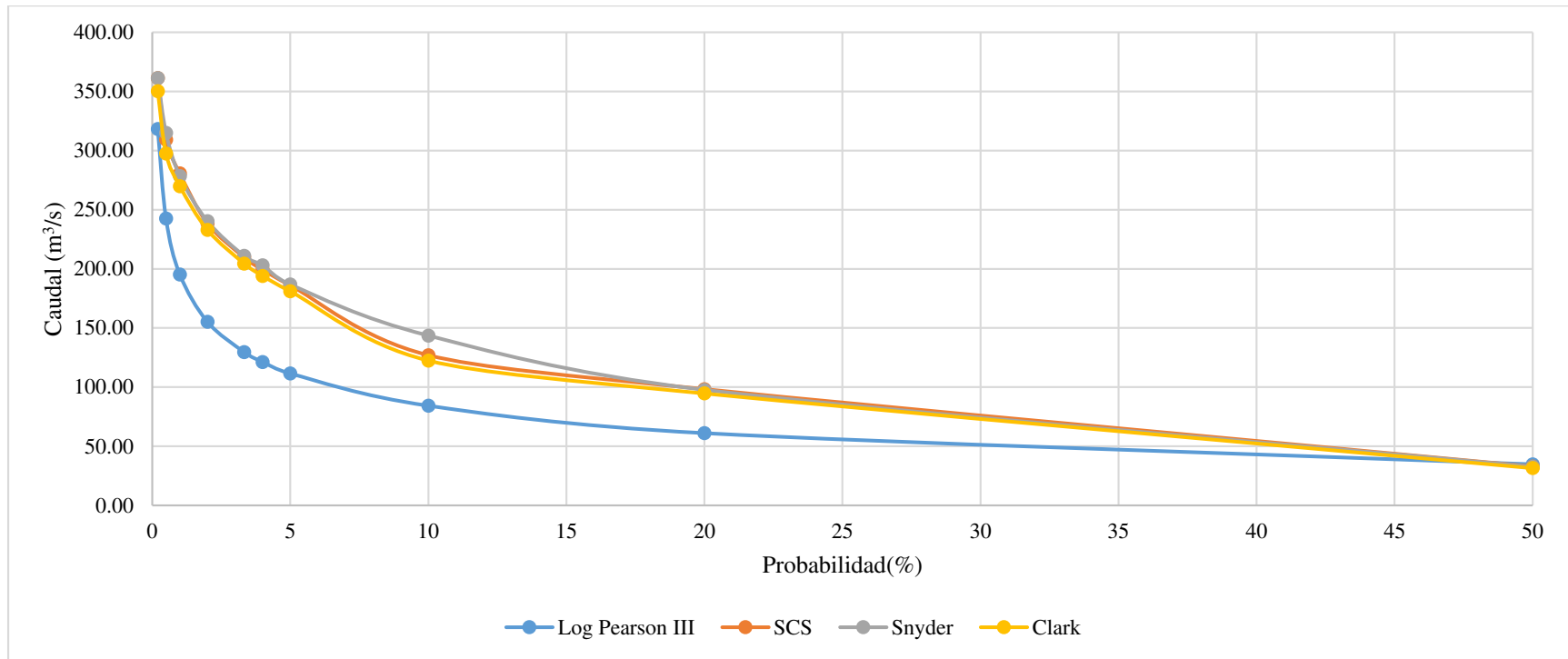
*Resumen de caudales máximos por diferentes métodos para la estación Naranjillo (m<sup>3</sup>/s).*

N°	Fórmula	Probabilidad (%)									
		50	20	10	5	4	3.33	2	1	0.5	0.2
1	Log Pearson III	34.73	61.07	84.26	111.48	121.25	129.64	155.19	195.29	242.60	318.28
5	SCS	32.9	98.3	127	186.00	199.2	209.7	238.40	280.6	309.1	361.30
6	Snyder	32.7	97.7	143.6	186.7	202.9	210.9	240.2	278.4	315.0	361.3
7	Clark	31.6	94.7	122.5	181.0	194.0	204.5	232.9	269.9	297.4	350.2
Media		32.98	87.94	119.34	166.30	179.34	188.68	216.67	256.05	291.03	347.77
Error típico		0.65	8.99	12.54	18.31	19.45	19.73	20.55	20.38	16.55	10.17
Mediana		32.80	96.20	124.75	183.50	196.60	207.10	235.65	274.15	303.25	355.75
Desviación estándar		1.30	17.98	25.09	36.63	38.90	39.46	41.11	40.77	33.10	20.35
Coefficiente de variación		0.04	0.20	0.21	0.22	0.22	0.21	0.19	0.16	0.11	0.06
Varianza de la muestra		1.68	323.42	629.33	1341.75	1512.84	1557.35	1689.81	1662.10	1095.58	413.97
Curtosis		1.76	3.84	2.19	3.90	3.82	3.90	3.88	3.73	2.99	2.52
Coefficiente de asimetría		0.81	-1.95	-1.20	-1.97	-1.95	-1.97	-1.97	-1.93	-1.72	-1.64
Rango		3.13	37.23	59.34	75.22	81.65	81.26	85.01	85.31	72.40	43.02
Mínimo		31.60	61.07	84.26	111.48	121.25	129.64	155.19	195.29	242.60	318.28
Máximo		34.73	98.30	143.60	186.70	202.90	210.90	240.20	280.60	315.00	361.30
Suma		131.93	351.77	477.36	665.18	717.35	754.74	866.69	1024.19	1164.10	1391.08
Cuenta		4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
Nivel de confianza (95.0%)		2.06	28.62	39.92	58.29	61.89	62.79	65.41	64.87	52.67	32.38

*Nota.* Elaboración propia

**Figura 39**

*Caudales máximos más significativos*



*Nota. Elaboración propia*

### 7.1.11. Cálculo de errores

En la tabla 22 se realiza el cálculo del error relativo y R2 con el caudal calibrado por método de Clark y los caudales observados.

**Tabla 22**

*Error relativo y R2 para las diferentes probabilidades*

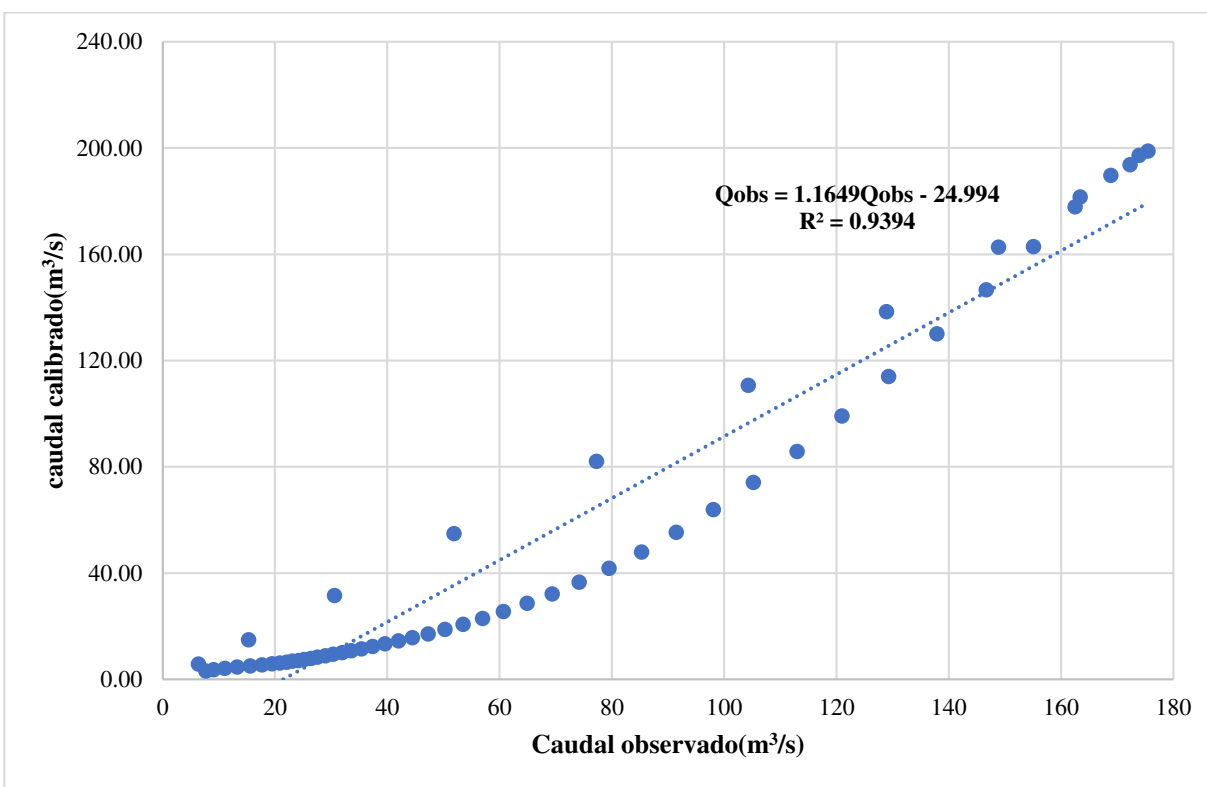
<b>Año</b>	<b>Probabilidad (%)</b>	<b>Caudal calibrado</b>	<b>Caudal observado</b>	<b>Error relativo</b>	<b>R<sup>2</sup></b>
2005	50	88.8	175.5	0.4940	0.9290
	20	198.8	175.5	0.1328	0.9394
	10	213	175.5	0.2137	0.9260
	5	176.8	175.5	0.0074	0.8964
	4	206.9	175.5	0.1789	0.9254
	3.3	173.8	175.5	0.0097	0.9014
	2	163.2	175.5	0.0701	0.9109
	1	185.8	175.5	0.0587	0.9089
	0.5	267.5	175.5	0.5242	0.8875
	0.2	310.1	175.5	0.7670	0.8786
2008	50	18.8	24.2	0.2231	0.8870
	20	73.8	24.2	2.0496	0.9577
	10	109.2	24.2	3.5124	0.9110
	5	150.5	24.2	5.2190	0.9702
	4	163.1	24.2	5.7397	0.9744
	3.3	174.4	24.2	6.2066	0.9869
	2	207.1	24.2	7.5579	0.9769
	1	238.3	24.2	8.8471	0.9773
	0.5	271.2	24.2	-10.2066	0.9296
	0.2	310.3	24.2	-11.8223	0.9681
2013	50	44.7	55.4	0.19	0.9638
	20	54.9	55.4	0.01	0.9582
	10	107.3	55.4	-0.94	0.9207
	5	150.2	55.4	-1.71	0.9478
	4	165.1	55.4	-1.98	0.9422
	3.3	174.4	55.4	-2.15	0.9617
	2	206.2	55.4	-2.72	0.9507
	1	238.2	55.4	-3.30	0.9568
	0.5	208.5	55.4	-2.76	0.9193
	0.2	310.3	55.4	-4.60	0.8968

*Nota.* Elaboración propia

Como método de calibración alternativa y predicción de modelos futuros se aplicó la inteligencia artificial mediante el software Weka. Se analizó el modelo la regresión lineal con una base de datos de 1035; luego se les aplicó el método M5, la selección no atribuida, y el método de Greedy, dando como resultado que el modelo de mejor predicción para caudales de escorrentía en la cuenca fue el de M5, con errores mínimos.

### Figura 40

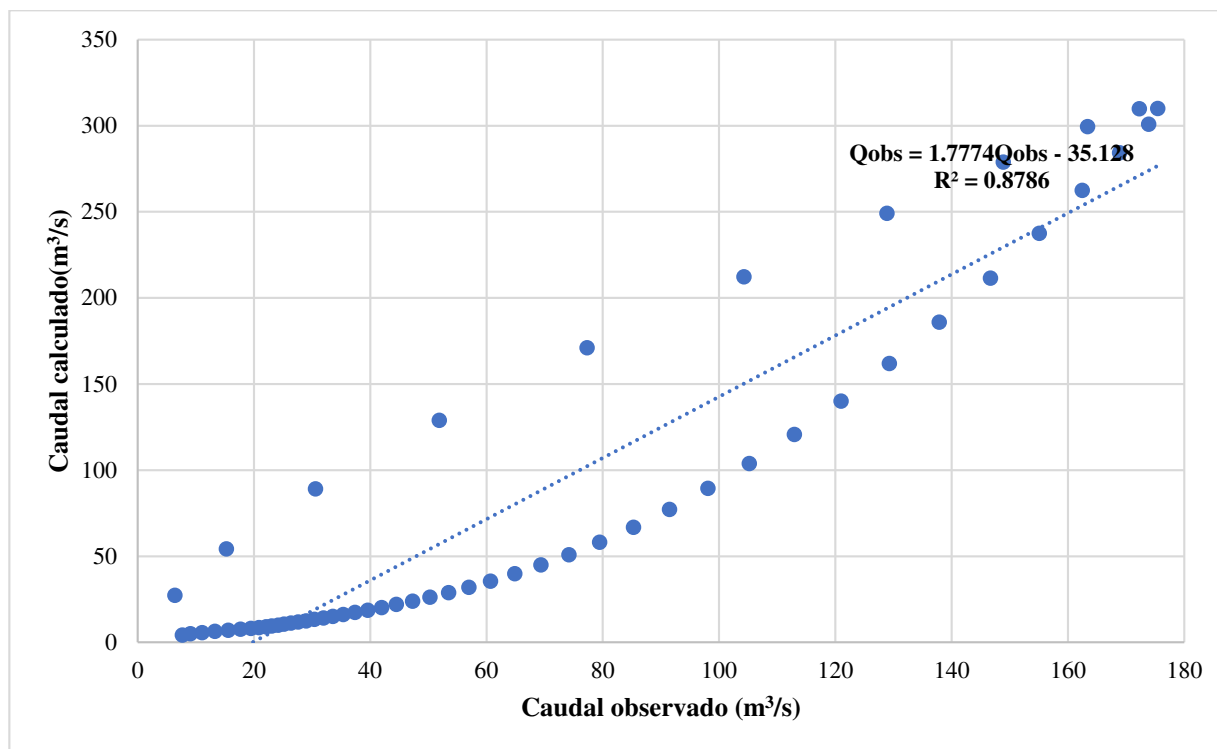
*Gráfico de dispersión para una probabilidad de 20% del año 2005.*



*Nota.* Elaboración propia

**Figura 41**

Gráfico de dispersión para una probabilidad de 0.2% del año 2005



Nota. Elaboración propia

**Tabla 23***Error relativo y R2 para las diferentes probabilidades*

Proba- bilidad	M5					Selección no atribuida					Greedy				
	R	MAE	MSE	EAR	RECR	R	MAE	MSE	EAR	RECR	R	MAE	MSE	EAR	RECR
50	0.930	14.43	19.59	31.97	36.22	0.932	14.43	19.23	31.98	35.56	0.930	14.42	19.58	31.95	36.21
20	0.915	16.82	21.47	37.25	39.69	0.916	16.68	21.33	36.95	39.43	0.916	16.51	21.32	36.58	39.42
10	0.839	23.33	28.99	51.68	53.60	0.838	23.36	29.01	51.75	53.64	0.841	23.06	28.81	51.08	53.26
5	0.494	38.97	46.29	86.34	85.58	0.491	40.13	46.45	88.90	85.88	0.481	39.15	46.70	86.74	86.34
4	0.562	37.99	44.03	84.16	81.41	0.561	38.14	44.13	84.49	81.58	0.559	37.57	44.14	83.24	81.62
3.33	0.321	43.94	50.69	97.33	93.71	0.344	43.53	50.18	96.44	92.77	0.302	44.13	51.25	97.76	94.75
2	0.244	42.27	51.73	93.66	95.64	0.219	43.87	52.22	97.19	96.54	0.244	42.28	51.73	93.66	95.64
1	0.244	42.27	51.73	93.65	95.64	0.215	43.63	52.27	96.65	96.62	0.244	42.28	51.73	93.66	95.64
0.5	0.393	41.80	49.13	92.61	90.83	0.393	41.81	49.13	92.62	90.83	0.373	42.13	49.74	93.33	91.96
0.2	0.347	43.82	50.10	97.09	92.62	0.347	43.82	50.10	97.09	92.62	0.348	43.80	50.08	97.02	92.59

*Nota.* Elaboración propia

Ecuaciones definidas por el software WEKA

$$Q_{obs} = -0.3108 * P_{10} + 1.782 * Q_{cali} \pm 1.7239$$

$$Q_{obs} = -0.6683 * P_2 + 0.3483 * Q_{cali} + 30.0826$$

$$Q_{obs} = -8.4414 * P_{50} + 4.6922 * P_4 + 0.9425 * Q_{cali} \pm 4.251$$

$$Q_{obs} = -1.1978 * P_4 + 74.8164$$

$$Q_{obs} = 5.2289 * P_4 \pm 5.1745 * P_3 + 0.876 * Q_{cali} \pm 19.5556$$

$$Q_{obs} = -1.1978 * P_4 + 74.8164$$

$$Q_{obs} = -5.2289 * P_{10} + 4.34 * P_5 + 0.5794 * Q_{cali} + 7.0084$$

$$Q_{obs} = -0.6535 * P_1 + 0.2745 * Q_{cali} + 26.1865$$

$$Q_{obs} = 0.6239 * Q_{cali} \pm 12.0154$$

$$Q_{obs} = -1.0042 * P_{10} + 0.184 * Q_{cali} + 35.4461$$

## 7.2. Contrastación de hipótesis

### *Contrastación de la hipótesis general*

La hipótesis general se cumple en su totalidad porque se demostró que cada hidrograma contempla diferentes parámetros que a consecuencia generan diferentes resultados. En efecto, el modelo lluvia escorrentía influye significativamente en el dimensionamiento de obras hidráulicas.

### *Contrastación de las hipótesis específicas*

Los parámetros geomorfológicos influyen significativamente en las características de la subcuenca del río Yuracyacu, con la cual se pueden interpretar de forma mucho más adecuada sus parámetros, y por consiguiente mejor predicción en el dimensionamiento de obras hidráulicas. En tal sentido, los parámetros indican que es una cuenca alargada con baja susceptibilidad de caudales, una pendiente accidentada y una densidad de drenaje baja.

Se constató que el análisis estadístico de las precipitaciones y la estación hidrométrica sí facilitan los datos probabilísticos para la obtención de hidrogramas del río Yuracyacu, siendo la precipitación máxima de 160 mm y la mínima de 21 mm, durante los años 2018 y 1991, así como para la estación hidrométrica que alcanzó un caudal máximo de 175.5 m<sup>3</sup>/s, y un mínimo de 11.59 m<sup>3</sup>/s en los años 2005 y 2010 respectivamente.

Aplicando los 19 modelos de hidrogramas estadísticos empíricos e hidrológicos, se obtuvieron diferentes hidrogramas para probabilidades de ocurrencia de 50%, 20%, 10%, 5%, 4%, 3.33%, 2%, 1%, 0.5% y 0.2%, para la subcuenca del río Yuracyacu, facilitando un mejor pronóstico en dimensionamiento de obras hidráulicas.

Mediante la comparación de los hidrogramas estadísticos, empíricos e hidrológicos, se determinó el hidrograma que más se adecua a la subcuenca del río Yuracyacu, siendo el modelo de Clark el que generó un mejor ajuste de acuerdo al análisis estadístico con caudales de 31.6 m<sup>3</sup>/s

a 350.20 m<sup>3</sup>/s, con probabilidades de ocurrencia de 50 % y 0.2 %. Como factores extras se aplicó la programación lineal con sus tres modelos; selección no atribuida, Greedy y M5, siendo este último el de mejor ajuste con un coeficiente de correlación de 0.932.

### **7.3. Conclusiones**

Se determinaron los parámetros geomorfológicos de la subcuenca del río Yuracyacu correspondientes a los parámetros de forma, relieve y red de drenaje; obteniendo un área de 202.39 km<sup>2</sup>, un perímetro de 98.54 km y un factor de forma de 0.26. En tal sentido, indica que es una cuenca alargada con baja susceptibilidad de avenidas y con tendencia oblonga rectangular porque su índice de compacidad es mayor a 1.75. La relación pendiente media de la subcuenca de 25.52 % indica que el terreno es fuertemente accidentado. Por otro lado, la densidad de drenaje de la subcuenca alcanzó un valor de 0.57 km/km<sup>2</sup>, que representa una escasa red hídrica que llegó al orden de corriente nivel 4.

Se establecieron siete modelos probabilísticos a partir de la prueba de bondad de ajuste Smirnov-Kolmogorov, que más se ajustan a los factores hidrológicos implementados en el software Hidrognomon. El más destacado, es decir, la función de distribución de mejor ajuste fue Log-Pearson tipo III, con un delta teórico de 0.0830 inferior al tabulado con 0.3298, con un nivel de significancia de 0.05.

Se aplicaron 19 modelos de lluvia escorrentía contemplando métodos estadísticos, empíricos e hidrológicos para probabilidades de 50%, 20%, 10%, 5%, 4%, 3.33%, 2%, 1%, 0.5%, y 0.2% de ocurrencia de los caudales máximos. El método estadístico óptimo fue la distribución log-Pearson tipo III, con caudales que oscilaron de 34.72 m<sup>3</sup>/s hasta 318.28 m<sup>3</sup>/s. Para el modelo empírico fue el método de Creager con valores de 27.36 m<sup>3</sup>/s hasta 181.81 m<sup>3</sup>/s, y finalmente, el hidrograma unitario de Clark que generó caudales entre 31.6m<sup>3</sup>/s y 350.20m<sup>3</sup>/s.

Se realizó la comparación de hidrogramas y se demostró que el hidrograma unitario de Clark proporcionó mejores factores de predicción de los caudales de escorrentía para las diferentes probabilidades analizadas. Según el análisis del error absoluto, error relativo y error porcentual fueron de 1.3, 0.074 y 0.7%. No obstante, se concluye que persiste un sesgo en los caudales máximos obtenidos con el modelo de Clark, siendo de utilidad para el dimensionamiento de obras hidráulicas, pero con ciertas precauciones en sus resultados. Como factores agregados, se aplicaron modelos basados en aprendizajes automáticos y arrojó como resultado que el modelo M5 reflejó un óptimo ajuste al caudal máximo de escorrentía con un coeficiente de correlación de 0.932 y un error absoluto de 14.43. En efecto, para la subcuenca del río Yuracyacu se recomienda la utilización del modelo M5.

#### **7.4. Recomendaciones**

Se recomienda realizar el cálculo de todos los parámetros geomorfológicos de la subcuenca para determinar sus características con mayor detalle y de este modo saber el comportamiento de dicha unidad hidrográfica.

Se recomienda realizar un riguroso análisis estadístico para determinar la consistencia de datos meteorológicos mejores de las estaciones involucradas, y por tanto contar con caudales más exactos para las diferentes probabilidades de ocurrencia.

Se recomienda utilizar la mayor cantidad de hidrogramas para obtener información más precisa respecto a la subcuenca en estudio.

Se recomienda aplicar la inteligencia artificial para obtener con mayor precisión los caudales de escorrentía máximos, siempre y cuando exista una base de datos para los cuales el aprendizaje automático brinde mayor precisión.

Se recomienda utilizar diferentes modelos de aprendizaje automático para que brinde mayor precisión de los caudales máximos. En particular, se sugiere la aplicación del modelo supervisado y no supervisado que acompañan el modelo del árbol de decisión (M5), modelo de bosque aleatorio (RF), regresión de vectores de soporte (SVR), regresión gaussiana (GTR), y el modelo vecino más cercano (KNN).

## REFERENCIAS

- Administración Local de Agua (2018). *Actualización de Unidades Hidrográficas y Codificación Integral de cursos de agua superficial en ámbitos de Administraciones Locales de Agua: Administración Local de Agua Barranca*. Lima, Perú.
- Administración Local del Agua (2020). *Cuencas en el alto mayo*. Rioja. Perú.
- Albarracín, F., Alvarenga, F., Sanclement, E. y Pauluzek, A. (2020). *Aspectos morfológicos de la cuenca del arroyo Nagel (Misiones, Argentina)*. Revista de Ciencia Tecnología e innovación, 2(2), 81-89. <https://doi.org/10.36995/j.masingenio.2021.02.02.007>
- Alfaro, C. (2012). *Metodología de investigación científica aplicado a la ingeniería*. Obtenido de Universidad Nacional del Callao: <http://tesis-investigacioncientifica.blogspot.com/2018/03/delimitacion-espacial-en-una.htm>
- Alor, M. (2009). Desastres asociados a fenómenos hidrometeorológicos. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. [https://www.imta.gob.mx/biblioteca/libros\\_html/desastres-fenomenos/libro-desastres-asociados-fenomenos-hidrometeorologicos.pdf](https://www.imta.gob.mx/biblioteca/libros_html/desastres-fenomenos/libro-desastres-asociados-fenomenos-hidrometeorologicos.pdf)
- Anaya, O. (2012). *Caracterización morfométrica de la cuenca hidrográfica Chinchao, distrito de Chinchao, provincia Huánuco*. Universidad Nacional Agraria de la Selva. <https://www.studocu.com/pe/document/universidad-tecnologica-del-peru/hidrologia-aplicada/caracterizacion-morfometrica-de-la-cuenca-hidrografica-chinchao-distrito-de-chinchao-provincia-de-huanuco/26075340>
- Aparicio, F. (2018). *Fundamentos de hidrología de superficie*. Limusa. [http://www.ana.gob.pe/sites/default/files/normatividad/files/Capitulo%202\\_0.pdf](http://www.ana.gob.pe/sites/default/files/normatividad/files/Capitulo%202_0.pdf)

- Asfaw, D. & Workineh, G. (2019). Quantitative analysis of morphometry on Ribb and Gumara watersheds: Implications for soil and water conservation. *International Soil and Water Conservation Research*, 7(2), 150-157. 10.1016/j.iswcr.2019.02.003
- Astorayme, v., García, H., Suarez, W., (2016) *análisis comparativo de los modelos hidrológicos en la cuenca del río chillón*, Perú. <https://www.researchgate.net/publication/312946611>
- Atunez, S. (2017) Instructivo de medición de caudal laboratorio de calidad ambiental. Facultad de ciencias del ambiente de la Universidad Nacional. [https://biorem.univie.ac.at/fileadmin/user\\_upload/p\\_biorem/education/research/protocols/INSTRUCTIVO\\_DE\\_MEDICINA\\_DE\\_CAUDAL\\_ANEXO\\_INF.CORREGIDO\\_Guliana.pdf](https://biorem.univie.ac.at/fileadmin/user_upload/p_biorem/education/research/protocols/INSTRUCTIVO_DE_MEDICINA_DE_CAUDAL_ANEXO_INF.CORREGIDO_Guliana.pdf)
- Ayuso, J., Peña, A. y Montesinos, P. (1994) *Estimación del hidrograma unitario. Estudio comparativo de cuatro métodos lineales*. *Ingeniería del agua* (1 (2): 21–32. <https://doi.org/10.4995/ia.1994.2635>
- Autoridad Nacional del Agua. (2015). *Generación del Mapa Temático de Curva Número (CN)*. Lima, Perú.
- Autoridad Nacional del Agua (2020). *Política y estrategia de los recursos hídricos*. San Isidro. Perú. [https://www.ana.gob.pe/sites/default/files/default\\_images/politica\\_y\\_estrategia\\_nacional\\_de\\_recursos\\_hidricos\\_ana.pdf](https://www.ana.gob.pe/sites/default/files/default_images/politica_y_estrategia_nacional_de_recursos_hidricos_ana.pdf)
- Autoridad Nacional del Agua (2021). *Información básica de la cuenca*. Lima. Perú. Avellaneda, V (2014). *Proyecto Travase Olmos*. Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo – Escuela Profesional de Arquitectura
- Avellaneda y Montalvo (2019). *Análisis comparativo de los métodos Racional modificado Témez, Hidrogramas unitarios SCS, Clark y Snyder en la obtención de caudales*

- máximos para las subcuencas Cañad y Alto Chancay Lambayeque – Cuenca Chancay* (Tesis de pregrado). Universidad Pedro Ruiz Gallo. <https://repositorio.unprg.edu.pe/handle/20.500.12893/8601>
- Ávila, N. Cardenas J. y Gonzalez, D. (2015) *Comparación de los métodos racional e hidrograma unitario para el cálculo de caudales en sectores hidrológicos rurales en el departamento del Tolima*. Trabajo de grado para obtener el título de especialista en Recursos Hídricos. <https://repository.ucatolica.edu.co/entities/publication/339b6a63-c4ef-401f-b541-a24ca5a41977>
- Balochi, F. Pizarro, R. Andrade, F. Sanguesa, C. Vargas, J. Morales, C. Vera, Valdez, R. Vallejos, C. Mendoza, R. Olivares, Claudio. Abarza, A. y Fuentes, R. (2014) *Análisis comparativo de tres hidrogramas unitarios sintéticos en dos cuencas mediterráneas de Chile, región del Maule*. RevistaChapingo serie ciencias forestales y del ambiente. <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2012.09.054>
- Baldeon, L. C. (2016). *Modelamiento Hidrológico de la sub cuenca del río Achamayo*. [Tesis de maestría, Universidad Nacional del Centro del Perú - Huancayo]. <https://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/4588>
- Bateman, A. (2007). *Hidrología Básica y Aplicada*. 35 – 56. Universidad Politécnica de Cataluña.
- Borja M. (2012) *Metodología de la investigación científica para ingenieros*, Universidad Nacional. Pedro Ruiz. [https://www.academia.edu/33692697/Metodolog%C3%ADa\\_de\\_Investigaci%C3%B3n\\_Cient%C3%ADfica\\_para\\_ingenier%C3%ADa\\_Civil](https://www.academia.edu/33692697/Metodolog%C3%ADa_de_Investigaci%C3%B3n_Cient%C3%ADfica_para_ingenier%C3%ADa_Civil)

- Busnelli, J. y Horta, L. R. (2014). Morfometría de cuencas montañas y metamorfosis fluvial, Tucumán. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*. 71(1), 11. <http://www.scielo.org.ar/pdf/raga/v71n1/v71n1a02.pdf>
- Cachuan, D (2017). *Modelo Hidrológico para la generación de crecidas máximas empleando hidrograma unitario instantáneo geomorfológico en la sub cuenca del río Shullcas*. (Tesis de pregrado). Universidad nacional del centro del Perú. <https://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/3870>
- Cahuana, A., & Yugar, W. (2009). *Material de apoyo didáctico para la enseñanza y aprendizaje de la asignatura de hidrología CIV-233*
- Cardona, B.L. (2016). *Conceptos básicos de morfometría de cuencas hidrográficas*. Maestría En Energía y Ambiente, 8. <http://www.repositorio.usac.edu.gt/4482/>
- Castillo, A. (2020). Umbrales de precipitación basados en intensidad para crecidas torrenciales en la quebrada Manizales, Colombia. *Revista EIA*, 17(33). <https://doi.org/10.24050/reia.v17i33.1302>
- Cevallos, K. Loaiza, R. y Vargas, L. (2024) Identificación de zonas potenciales de recarga hídrica aplicando sistemas de información geográfica en la microcuenca San Agustín. *Proyectos de investigación*. Universidad Técnica de Machala. <https://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/22833/1/Cevallos%20Cisneros%20Karelys%20AMB%2006.pdf>
- Cordova, D. (2016). Determinación del parámetro hidrológico número de curva en la cuenca de la quebrada El Batán, usando técnicas S.I.G y percepción remota. Quito: UCE. <https://www.dspace.uce.edu.ec/entities/publication/b5d603d9-933a-48a8-b929-f67da211f237>

- Chow, V., Maidment, D., Mays, L. (2001). Hidrologia aplicada. Editora Marta Edna Suarez R. segunda edición ISBN:958-600-171-7. <https://www.hidrosm.com/2021/01/libro-hidrologia-aplicada-ven-te-chow.html>
- Dávila, J. y Oscar C. (2017) *Modelo hidrológico para la generación de crecidas máximas empleando el hidrograma unitario instantáneo geomorfológico en la sub cuenca del Río Shullcas*. Tesis de pregrado. <https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/3870/Cachuan%20Davila.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Delgadillo, A. y Páez, G. (2008). Aspectos hidrológicos, subcuencas susceptibles a crecidas, escenarios de riesgo. En C. Ferrer & M. Duarte (Eds.). (2008). Plan de desarrollo urbano del Municipio Antonio Pinto Salinas, bajo el enfoque de gestión del riesgo. Caracterización del riesgo de la cuenca del valle Mocoties. Mérida: FUNDAPRIS.
- Dolores, D., y Gabriel, N. (2018). Delimitación Hidrográfica y caracterización morfométrica de la cuenca Río Anzulon.editorial INTA. [https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta-delimitacion\\_y\\_caracterizacion\\_de\\_la\\_cuenca\\_del\\_rio\\_anzulon\\_1.pdf](https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta-delimitacion_y_caracterizacion_de_la_cuenca_del_rio_anzulon_1.pdf)
- Escobar H., Vaya, A., Mancilla, O., Can, A., Sanchez, E., Flores, H., y Olguin, J. (2020). Water and Riverbank Quality Assessment in two tributary basins of the Tuxcacuesco River, Jalisco, Mexico. <https://doi.org/10.20937/rica.53595>
- Fajardo, J. R. (2010). *Desarrollo de una propuesta de gerenciamiento del recurso hídrico en la cuenca del Jubones*. [Tesis de licenciatura, Universidad Politécnica Salesiana Sede Quito - Ecuador]. <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/2343>.
- Fuentes, J. J. A. (2004). Análisis morfométrico de cuencas: caso de estudio del Parque Nacional Pico de Tancítaro. México: Dirección General de Investigación de Ordenamiento Ecológico y Conservación de Ecosistemas. Instituto Nacional de Ecología (INE) de

México.

[https://agua.org.mx/wp-content/uploads/2009/02/morfometria\\_pico\\_tancitaro.pdf](https://agua.org.mx/wp-content/uploads/2009/02/morfometria_pico_tancitaro.pdf)

Flores Nieto, V (2016) *Incertidumbres en mediciones de caudal con perfiladores de corriente acústicos Doppler desde plataformas móviles*. Tesis de grado. Universidad Nacional de Córdoba.

[https://repositoriosdigitales.mincyt.gob.ar/vufind/Record/RDUUNC\\_e089f6a90259ab373d8bf404cf02deff](https://repositoriosdigitales.mincyt.gob.ar/vufind/Record/RDUUNC_e089f6a90259ab373d8bf404cf02deff)

Gaspari F., Rodriguez, A. Senisterra, G. y Delgado, M. (2019) *Elementos metodológicos para el manejo de cuencas hidrográficas*. Editorial universidad nacional de la plata.  
<https://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/27877>

GEO GPS PERÚ, (2020). Cartas Geográficas Nacionales. Recuperado de:  
<https://www.geogpsperu.com/2019/05/cuencas-hidrograficas-descargar-cartas.html>

Geokuin, (2016). (Versión 10.30) [software]. ArcGIS.  
<https://drive.google.com/file/d/0BwMyRzni8TRsX1JVUFJmUIA3Z28/view>

Hanke, J. y Wichern, D. (2006) *Pronostico en los negocios*. Editorial Mexicana. Reg. Núm. 1031. [https://gc.scalahed.com/recursos/files/r161r/w25599w/L1EF118\\_S1\\_R1.pdf](https://gc.scalahed.com/recursos/files/r161r/w25599w/L1EF118_S1_R1.pdf)

Hernández, R., Fernández, C., y Pilar Baptista, M. (2014). *Metodología de la investigación*. México: Editorial Mexicana. McGrwall Hill Education.

Ibáñez, S., Ramon, H. y Blanquer, J. (2011) *Morfología de las cuencas hidrográficas*. Universidad politécnica de valencia. <http://hdl.handle.net/10251/10782>

Instituto Geográfico Nacional, (2020). *Infraestructura nacional de datos geoespaciales fundamentales*. IGN. Recuperado de:  
<https://www.idep.gob.pe/geovisor/VisorDeMapas/>

- Intriago, P. Rodríguez, E. Caicedo, M. Rodrigo F. y Cabrera, E. (2021) *Estudio hidromorfológico de la cuenca efímera Maconta con relación al riesgo de inundaciones repentinas*. Revista Dilemas Contemporáneos. V. N°14  
<https://doi.org/10.46377/dilemas.v8i.2597>
- Jiménez, R. (2015). *El manejo de cuencas desde un enfoque socio ecosistémico*. México
- Jiménez, A. (2016). *Desarrollo de metodologías para mejorar la estimación de hidrogramas de diseño para el cálculo de órganos de desagüe de presas*. [tesis doctoral , universidad politécnica de Madrid ]. <https://oa.upm.es/39115/>
- Juárez, A. (2014). Métodos estadísticos para el cálculo de precipitación media. Universidad de Veracruz. [https://issuu.com/aldojuarez8/docs/metodos\\_de\\_cal.\\_de\\_presipitacion](https://issuu.com/aldojuarez8/docs/metodos_de_cal._de_presipitacion)
- Manual de Hidrología Hidráulica y Drenaje (2014) *Hidrogramas*  
[http://transparencia.mtc.gob.pe/idm\\_docs/normas\\_legales/1\\_0\\_2950.pdf](http://transparencia.mtc.gob.pe/idm_docs/normas_legales/1_0_2950.pdf)
- Meyer, S.J., Hubbard, K.G., 1992. Nonfederal automated weather stations and networks in the United States and Canada: a preliminary survey. *Bulletin of the American Meteorological Society*. 73(4):449-457.  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/0168192394900833>
- Ministerio de Transporte y Comunicaciones (2012). Manual de hidrología, hidráulica y drenaje. Ministerio de Transporte y Comunicaciones, Lima. Lima: MTC.  
[http://transparencia.mtc.gob.pe/idm\\_docs/normas\\_legales/1\\_0\\_2950.pdf](http://transparencia.mtc.gob.pe/idm_docs/normas_legales/1_0_2950.pdf)
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2018). *Manual de hidrología, hidráulica y drenaje*, Lima. Lima: MTC.  
[http://transparencia.mtc.gob.pe/idm\\_docs/normas\\_legales/1\\_0\\_2950.pdf](http://transparencia.mtc.gob.pe/idm_docs/normas_legales/1_0_2950.pdf)

- Mundaca, T (2020). *Simulación hidráulica con fines de estimación de las áreas inundables del río Yuracyacu en la ciudad de Nueva Cajamarca- Rioja- san Martín*. [Tesis de pregrado, universidad nacional de Jaén]. <http://repositorio.unj.edu.pe/handle/UNJ/265>
- Ordoñez, J. (2011). “Contribuyendo al desarrollo de una Cultura del Agua y la Gestión Integral del Recurso Hídrico”. Sociedad geográfica de Lima. Global Water Partnership [.https://www.gwp.org/globalassets/global/gwpsam\\_files/publicaciones/varios/cuenca\\_hidrologica.pdf](https://www.gwp.org/globalassets/global/gwpsam_files/publicaciones/varios/cuenca_hidrologica.pdf)
- Ortíz, O. (2004). *Evaluación Hidrológica*. En HIDRORED, Red Latinoamericana de Micro Hydroenergía. Vol. 1/2004, ITDG. Perú.
- Ortiz, O. (2011). *Similitud Hidráulica de Sistemas Hidrológicos Altoandinos y Transferencia de Información Hidrometeorológica*, <https://www.scielo.org.mx/pdf/tca/v6n4/v6n4a2.pdf>
- Pascual, J. y Díaz, M. (2016). Cuadernos de Geogramática. *Guía práctica sobre la modelización hidrológica y el modelo HEC-HMS*. Civilscape.1.1-155. [http://eprints.imdeaagua.org:13000/711/1/Cuadernos%20de%20Geom%C3%A1tica%204\\_b.pdf](http://eprints.imdeaagua.org:13000/711/1/Cuadernos%20de%20Geom%C3%A1tica%204_b.pdf)
- Pizarro, R. (2006). Bosque Valdivia. *Coefficientes de escorrentía instantáneos para la cuenca del río Tutuvén, VII Región del Maule, Chile*. valdivia.vol.27-1-1. [https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0717-92002006000200002](https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0717-92002006000200002)
- Quimbayo, L. y Molina, Y. (2015) *Análisis y Comparación del Cálculo de Caudales Máximos Mediante Aplicación de los Métodos Racional y Estadístico para Diferentes Estaciones Hidrometeorológicas en Colombia*. Monografía para optar el título de ingeniero civil <https://repository.udistrital.edu.co/items/2788792d-6fd7-4b28-a6d1-9fc44a3cb2e8>

- Ramírez, P. Alfaro, K. Álvarez, M. (2019) *Morfometría de la subcuenca hidrográfica del río Páez, Cartago, Costa Rica*. Revista Geográfica de América Central. pp.121-143.  
<https://doi.org/10.15359/rgac.67-2.5>
- Reguant-Alvarez, M. y Martínez-Olmo, F. (2014). *Operacionalización de conceptos/variables*. Universidad de Barcelona, Barcelona, España.  
<https://diposit.ub.edu/dspace/bitstream/2445/57883/1/Indicadores-Repositorio.pdf>
- Reguant, M. y Martínez, F. (2014) *La matriz de operacionalización del problema científico*. Barcelona España <https://diposit.ub.edu/dspace/bitstream/2445/57883/1/Indicadores-Repositorio.pdf>
- Rodríguez, C. y Alarcón, J. (2021) *Estudio hidromorfológico de la cuenca La Mona, El Cady y el riesgo de inundaciones imprevistas*. A n°15  
<https://doi.org/10.46377/dilemas.v8i.2598>
- Rodríguez, R., Benito, Á y Portela, A (2004). *Meteorología y Climatología*. FECYT (Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología) .
- Romero, M. A., López, F. 1987.- *Morfometría de redes fluviales: revisión crítica de los parámetros más utilizados y aplicación al Alto Guadalquivir*. Papeles de Geografía (Física). 12: 47-62. <https://escueladeaviadores.es/wp-content/uploads/2020/04/Meteorologia.pdf>
- Ramírez, J. L. (2015). *Alternativas de manejo sustentable de la subcuenca del río Pitura, provincia de Imbabura*. [Tesis de maestría, Universidad Nacional de la Plata - Ecuador]. <https://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/49801>
- Renard, E. (2018). AutoCAD Civil 3D Topografía y Diseño Civil.
- Rojas, N., Barboza, E., Gamarra, O., Oliva, M., Leiva, D., Barrena, M..., (2020). *Priorización morfométrica, clasificación fluvial, y Calidad Hidro geomorfológica en Alto Andino*

- Microcuencas ganaderas en el norte de Perú*. ISPRS Int. J. Geo-Inf, 9, 305.  
doi:10.3390/ijgi9050305
- Sabino, C. A. (2014) *El proceso de la investigación*. Guatemala  
<https://polidoc.usac.edu.gt/opac/record/29625>
- Santisteban, I. (2010). *Gestión Integral de Cuencas Hidrográficas*. 2da edición Alonso moreno.  
[http://ingenierosantisteban.mywebcommunity.org/tipos\\_cuencas.php](http://ingenierosantisteban.mywebcommunity.org/tipos_cuencas.php)
- Sevilla L. (2018) Análisis Comparativo Y Propuesta Metodológica para la Evaluación de Incertidumbres en Métodos de Medida Indirecta de Ángulos. Tesis Doctoral. Universidad de Málaga. file:///C:/Users/HP/Downloads/16275123.pdf
- SENAMHI (2018). *Manual de Hidrometría. Servicio de Meteorología e Hidrología del Perú*  
<https://www.senamhi.gob.pe/load/file/00701SENA-924.pdf>
- SENAMHI, (2020). *Datos Meteorológicos a nivel nacional. Ministerio del Ambiente. Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú*.  
<https://www.senamhi.gob.pe/?&p=descarga-datos-hidrometeorologicos>
- Vásconez, M., Mancheno, A., Álvarez, C., Prehn, C., Cevallos, K., & Ortíz, L. (2019). *Cuencas Hidrográficas*. 25-136. <http://dspace.unach.edu.ec/handle/51000/10021>
- Vera, D (2002). *Estudio de comparación entre coeficientes de escorrentía en cuencas experimentales del sur de Chile*. [Tesis de pregrado, Universidad Austral de Chile].  
<http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2010/bmfciv473e/doc/bmfciv473e.pdf>
- Vélez, J. Aristizábal, V. y Botero, B. (2000) *Manual de hidrología para obras viales basadas en el uso de sistemas de información geográfica*. Dirección de Investigación y Extensión de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura.

[https://www.academia.edu/27542985/Manual\\_de\\_hidrolog%C3%ADa\\_para\\_obras\\_viales\\_basado\\_en\\_el\\_uso\\_de\\_Sistemas\\_de\\_Informaci%C3%B3n\\_Geogr%C3%A1fica](https://www.academia.edu/27542985/Manual_de_hidrolog%C3%ADa_para_obras_viales_basado_en_el_uso_de_Sistemas_de_Informaci%C3%B3n_Geogr%C3%A1fica)

Villodas, R. (2008) *La hidrología el ciclo hidrológico*. Guía de Estudio para las cátedras:

[https://www.academia.edu/36851515/Hidrologia\\_I\\_y\\_II\\_Ruben\\_Villodas](https://www.academia.edu/36851515/Hidrologia_I_y_II_Ruben_Villodas)

Villón, M. (2022). *Hidrología – Conceptos básicos*. Cartago Villon.

Yáñez y Tapia (2017). *Estimación de los hidrogramas sintéticos en función de las características geomorfológicas de la cuenca del río pindo grande y afluente s/n* (Tesis de pre grado). Universidad estatal amazónica.

<https://repositorio.uea.edu.ec/xmlui/handle/123456789/480>

Zaldívar, J. P. (2017). *La cuenca hidrográfica como propuesta de unidad de análisis y gestión sustentable del territorio. Caso de estudio cuencas de los ríos Limarí y Rapel a partir de la información del VII Censo Nacional Agropecuario*. [Tesis de maestría, Universidad de Chile].

<https://mgpa.forestaluchile.cl/Tesis/Zaldivar%20Juan%20Pablo.pdf>

Zanía, L. y Morelo, E. (2007). *Manual Básico de HEC – RAS 3.1.3 y HEC -GeoRAS 3.1.1*. Universidad de Granada.

Zapata, A. (2008) *Análisis de precipitación*. Universidad de san Carlos Guatemala.

<https://www.academia.edu/38645513/REPORTE>

## ANEXOS

Tabla 24

Definición y operacionalización de variable

Variable Principal	Sub variable	Definición conceptual	Dimensiones de las sub variables	Indicador	Instrumento
<b>Estudio Hidrológico</b>	<b>Independiente:</b> <b>Estudio hidrológico</b>	Es un documento que define cuáles son las características hidráulicas que una obra o proyecto puede llegar a tener una cuenca hidrológica.	Estudio hidrológico de la cuenca del río Yuracyacu  Estadística de las precipitaciones y la estación hidrométrica y meteorológica	Uso de software.  Plataforma libre de SENAMHI, Administración local de agua.	Software: AutoCAD Civil 3D, y ArcGIS  Encuestas
	<b>Dependiente:</b> <b>Hidrogramas unitarios</b>	Un hidrograma unitario es un hidrograma ( $Q = f(t)$ ) resultante de un escurrimiento correspondiente a un volumen unitario proveniente de una lluvia con una determinada duración y determinadas características de distribución en la cuenca hidrográfica (Lizney, 2019)	Aplicación de los métodos Nash, mínimos cuadrados, mínimos cuadrados suavizados, programación lineal y lineal programado	Lluvia escorrentía, tirantes máximos  Medida de las capacidades del alumno.	Análisis de datos hidrológicos.

Nota. Elaboración propia

Tabla 25

## Matriz de consistencia

Preguntas	Objetivos	Hipótesis	Técnica, alcance, universo, tamaño, muestra, ensayos e instrumento
<p><b>General</b></p> <p>¿Cómo realizar un análisis comparativo de hidrogramas en la subcuenca del río Yuracyacu para el dimensionamiento de obras hidráulicas?</p> <p><b>Específicas</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• ¿Cuáles son los parámetros geomorfológicos a tener en cuenta en el estudio para realizar el análisis comparativo de hidrogramas en la subcuenca del río Yuracyacu para el dimensionamiento de obras hidráulicas?</li> <li>• ¿Qué modelos y/o métodos probabilísticos nos ayudaran a determinar los hidrogramas del río Yuracyacu para el dimensionamiento de obras hidráulicas?</li> <li>• ¿Qué modelo matemático nos permitirá obtener los hidrogramas del río Yuracyacu?</li> <li>• ¿Cómo comparar los hidrogramas de posible aplicación en la subcuenca del río Yuracyacu?</li> </ul>	<p><b>General</b></p> <p>Realizar el análisis comparativo de hidrogramas en la subcuenca del río Yuracyacu para el dimensionamiento de obras hidráulicas.</p> <p><b>Específicos</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Determinar los parámetros geomorfológicos de la subcuenca del río Yuracyacu, Nueva Cajamarca.</li> <li>• Realizar el análisis estadístico de las precipitaciones y la estación hidrométrica de la subcuenca del río Yuracyacu, Nueva Cajamarca.</li> <li>• Realizar la modelación matemática utilizando diferentes métodos para la obtención de los hidrogramas.</li> <li>• Comparar los hidrogramas de la subcuenca del río Yuracyacu, para el dimensionamiento de obras hidráulicas.</li> </ul>	<p><b>General</b></p> <p>El análisis comparativo de hidrogramas, influye significativamente en la determinación de un modelo lluvia escurrentía en la subcuenca del río Yuracyacu para el dimensionamiento de obras hidráulicas.</p> <p><b>Específicas</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• La determinación de parámetros geomorfológicos, se obtienen las características principales de la subcuenca del río Yuracyacu para el dimensionamiento de obras hidráulicas.</li> <li>• El análisis estadístico de las precipitaciones y la estación hidrométrica, facilita datos probabilísticos para la obtención de los hidrogramas del río Yuracyacu.</li> <li>• Con la aplicación de los métodos Nash, mínimos cuadrados, mínimos cuadrados suavizados, de programación lineal y de programación lineal modificado se obtienen diferentes hidrogramas para la cuenca del río Yuracyacu para el dimensionamiento de obras hidráulicas.</li> <li>• Al realizar la comparación de hidrogramas, se obtiene el que más se adecúa a las características hidrográficas de la subcuenca del río Yuracyacu.</li> </ul>	<p><b>Técnicas</b></p> <p>Revisión de fuentes documentales y estadísticas, en este caso, el registro de las precipitaciones de la estación la Florida que serán obtenidos del SENHAMI análisis comparativo de cuatro tipos de hidrogramas sintéticos.</p> <p><b>Alcance de la investigación:</b> Descriptiva (aplicada)</p> <p><b>Universo de investigación:</b> Sub cuenca del río Yuracyacu</p> <p><b>Tamaño muestra y ensayos</b> Sub cuenca del río Yuracyacu</p> <p><b>Instrumentos:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Equipos y Herramientas de Registro y Toma de Datos: Un pluviómetro, una regla milimétrica, una Cámara, un cuaderno de anotaciones.</li> <li>– Softwares: ArcGIS, AutoCAD y AutoCAD Civil 3D, Microsoft Office (Ms. Excel, Ms. Word y Power Point).</li> <li>– Fuentes de Información: Publicaciones y registro de precipitaciones del SENAMHI, Información cartográfica del IGN, Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje (MTC), Guías de investigación, Tesis, Libros, Artículos científicos</li> <li>– Herramientas de Escritorio: Computadora, impresora, papel bond, Lápices, lapiceros, reglas, compás, etc.</li> </ul>

Nota. Elaboración propia

Tabla 26

Precipitaciones máximas mensuales de la estación Naranjillo

ESTACIÓN NARANJILLO														
<b>Estación:</b>	<b>Naranjillo</b>							<b>Lat:</b>	<b>05° 50'</b>	<b>Dpto.:</b>	<b>San Martín</b>			
<b>Parámetro:</b>	<b>Precipitación máxima en 24 horas (mm)</b>							<b>Lon:</b>	<b>77° 23'</b>	<b>Prov.:</b>	<b>Rioja</b>			
								<b>Alt :</b>	<b>1090 m s.n.m.</b>	<b>Dist.:</b>	<b>Nva. Cajamarca</b>			
Meses/Años	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Max	
<b>1976</b>	48.0	25.0	23.0	36.0	15.0	13.3	12.5	13.0	19.5	33.0	38.0	47.0	48.0	
<b>1977</b>	20.0	31.0	69.5	41.0	33.0	51.0	37.0	27.0	24.0	50.0	26.0	25.0	69.5	
<b>1978</b>	13.0	7.0	14.0	36.0	36.0	69.0	35.0	10.0	36.0	30.0	60.0	94.5	94.5	
<b>1979</b>	35.0	30.5	64.0	40.0	34.0	10.0	35.0	15.0	45.0	22.0	89.0	67.0	89.0	
<b>1980</b>	40.0	31.0	41.0	8.0	35.0	10.0	10.0	33.0	54.0	40.8	50.0	37.0	54.0	
<b>1981</b>	30.0	62.0	41.0	43.0	64.0	18.0	7.5	20.0	15.0	45.0	130.5	42.0	130.5	
<b>1982</b>	15.0	50.0	56.3	52.0	35.0	27.0	13.0	11.0	20.0	17.0	41.0	37.5	56.3	
<b>1983</b>	20.0	31.0	50.5	53.5	21.3	10.0	3.0	15.0	15.0	32.0	15.0	27.0	53.5	
<b>1984</b>	25.0	17.8	10.0	12.0	15.0	17.5	8.0	22.0	22.0	18.0	10.0	7.0	25.0	
<b>1985</b>	10.0	13.0	13.0	70.3	15.0	13.0	20.0	14.0	10.0	12.0	32.0	21.0	70.3	
<b>1986</b>	43.0	45.0	32.0	33.0	17.0	11.0	12.0	15.0	17.0	12.0	30.0	16.0	45.0	
<b>1987</b>	17.0	12.0	12.0	11.0	8.3	8.0	11.0	10.0	13.0	44.0	18.0	14.5	44.0	
<b>1988</b>	8.0	7.0	19.0	30.0	11.0	22.0	13.0	13.0	15.0	12.0	12.0	17.0	30.0	
<b>1989</b>	70.0	13.0	12.0	17.0	13.0	15.0	12.0	16.0	16.0	7.0	9.0	4.5	70.0	
<b>1990</b>	17.0	23.0	25.0	12.0	8.5	7.5	14.0	16.0	18.0	15.0	14.0	18.0	25.0	
<b>1991</b>	10.0	13.0	16.0	21.0	13.0	10.1	17.0	8.5	14.0	16.0	17.0	17.0	21.0	
<b>1992</b>	10.0	20.3	24.0	21.5	18.0	12.0	28.0	22.0	9.8	19.0	20.0	20.0	28.0	
<b>1993</b>	29.0	48.0	82.5	30.5	27.0	14.5	11.5	41.0	24.0	34.0	15.0	17.0	82.5	
<b>1994</b>	45.0	28.0	28.5	54.3	21.0	29.0	22.0	9.0	25.0	60.0	82.0	26.0	82.0	
<b>1995</b>	12.0	30.5	30.0	69.5	19.0	20.8	13.0	5.0	26.0	34.0	68.5	37.0	69.5	
<b>1996</b>	24.0	32.0	31.5	13.5	35.0	9.9	7.0	31.0	17.0	68.0	40.0	33.0	68.0	
<b>1997</b>	15.0	61.0	18.0	30.3	24.2	14.6	11.1	20.7	40.5	47.5	41.7	31.2	61.0	
<b>1998</b>	21.4	33.6	42.6	68.5	49.3	15.4	6.0	32.8	11.0	41.6	15.6	31.2	68.5	

<b>ESTACIÓN NARANJILLO</b>														
<b>Estación:</b>	<b>Naranjillo</b>						<b>Lat:</b>	<b>05° 50'</b>	<b>Dpto.:</b>	<b>San Martín</b>				
<b>Parámetro:</b>	<b>Precipitación máxima en 24 horas (mm)</b>						<b>Lon:</b>	<b>77° 23'</b>	<b>Prov.:</b>	<b>Rioja</b>				
							<b>Alt :</b>	<b>1090 m s.n.m.</b>	<b>Dist.:</b>	<b>Nva. Cajamarca</b>				
<b>Meses/Años</b>	<b>Ene</b>	<b>Feb</b>	<b>Mar</b>	<b>Abr</b>	<b>May</b>	<b>Jun</b>	<b>Jul</b>	<b>Ago</b>	<b>Sep</b>	<b>Oct</b>	<b>Nov</b>	<b>Dic</b>	<b>Max</b>	
<b>1999</b>	40.0	50.7	37.0	22.5	46.4	24.5	13.8	34.7	15.1	26.8	11.5	25.5	50.7	
<b>2000</b>	39.0	36.0	27.5	35.8	11.3	31.6	12.6	16.8	20.5	26.3	16.9	32.5	39.0	
<b>2001</b>	23.8	41.4	53.1	23.5	67.4	23.7	17.0	14.8	42.8	82.8	51.4	59.8	82.8	
<b>2002</b>	32.8	37.5	83.5	44.0	33.2	5.5	19.4	26.5	35.4	55.3	47.7	29.8	83.5	
<b>2003</b>	24.8	36.9	36.5	33.3	36.4	19.6	10.5	15.2	77.7	46.6	33.3	37.7	77.7	
<b>2004</b>	19.7	35.5	34.3	29.6	38.1	25.7	13.7	24.3	11.7	24.2	40.4	18.6	40.4	
<b>2005</b>	38.9	25.5	29.5	68.5	40.8	26.1	19.6	11.7	24.0	19.5	61.3	36.7	68.5	
<b>2006</b>	39.3	47.4	33.4	12.0	8.3	18.3	15.0	14.0	39.2	31.5	39.3	24.4	47.4	
<b>2007</b>	45.2	18.7	25.9	63.4	69.0	9.5	21.2	47.7	37.4	86.1	71.1	42.6	86.1	
<b>2008</b>	20.5	72.6	38.2	44.2	22.8	68.2	82.3	24.8	29.5	45.6	41.6	18.8	82.3	
<b>2009</b>	29.6	21.5	60.3	81.5	23.7	32.8	17.0	22.6	22.7	24.1	35.9	12.8	81.5	
<b>2010</b>	9.3	85.4	28.1	40.9	33.7	8.2	32.6	18.0	40.4	22.8	29.3	64.2	85.4	
<b>2011</b>	29.5	20.8	25.3	35.5	49.1	27.8	60.9	38.9	23.0	70.5	20.8	36.2	70.5	
<b>2012</b>	38.8	45.0	65.0	66.4	41.5	16.5	7.5	22.5	32.2	29.9	34.4	47.8	66.4	
<b>2013</b>	40.7	29.6	71.2	30.8	45.5	34.2	31.4	49.8	60.0	44.3	34.0	23.5	71.2	
<b>2014</b>	40.2	21.4	41.4	30.5	33.8	30.0	35.7	37.2	13.0	52.0	57.2	76.2	76.2	
<b>2015</b>	94.5	81.8	45.5	45.1	22.6	25.2	19.6	31.0	17.7	67.0	S/D	22.2	94.5	
<b>2016</b>	30.5	24.4	46.3	40.5	27.8	9.8	14.7	64.0	81.5	91.8	S/D	41.9	91.8	
<b>2017</b>	S/D	90.5	58.8	20.4	25.0	36.6	8.1	29.6	46.2	41.2	56.1	12.4	90.5	
<b>2018</b>	66.2	55.0	39.5	160.0	S/D	31.0	28.5	14.0	39.7	85.4	36.7	60.1	160.0	
<b>2019</b>	21.6	30.0	18.0	27.5	52.4	22.8	36.2	8.5	27.4	49.2	55.2	52.7	55.2	
<b>2020</b>	5.4	19.2	21.9	22.8	12.0	13.8	15.9	8.1	14.4	26.4	34.2	13.8	34.2	
<b>2021</b>	12.6	38.4	23.7	32.1	28.5	14.4	7.8	24.6	18.9	22.5	36.0	19.8	38.4	
<b>2022</b>	12.0	8.7	18.0	3.6	6.0	25.5	12.3	4.8	47.4	37.8	7.2	3.3	47.4	
<b>2023</b>	14.4	7.5	25.7	22.8	15.3	8.1	16.2	19.8	18.3	21.9	28.5	34.8	34.8	

Nota. SENAMHI

Tabla 27

Precipitaciones máximas mensuales de la estación Rioja

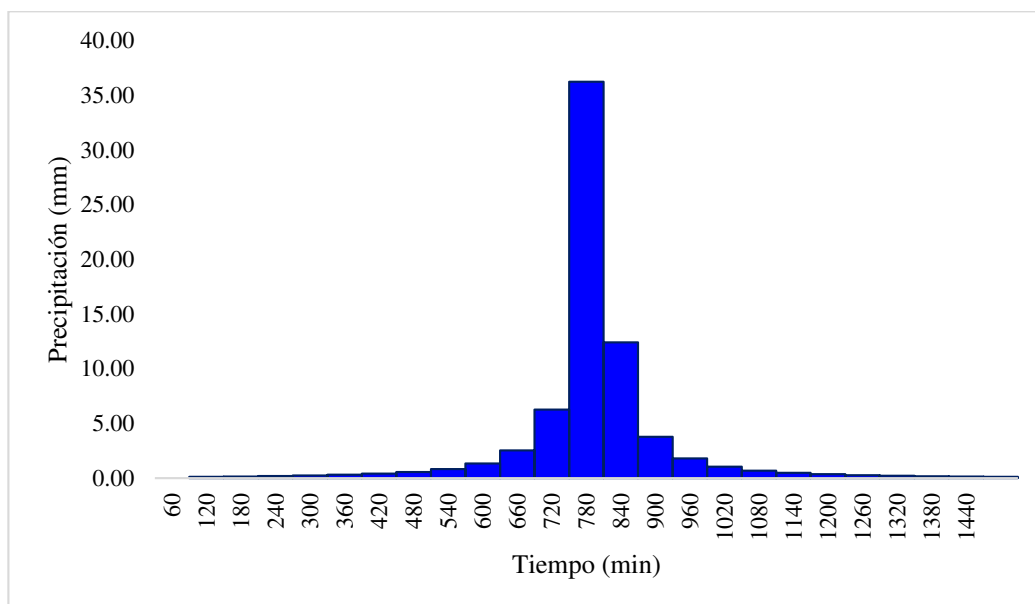
ESTACIÓN RIOJA														
<b>Estación:</b>	<b>Rioja</b>						<b>Lat:</b>	<b>06° 02'</b>	<b>Dpto.:</b>	<b>San Martín</b>				
<b>Parámetro:</b>	<b>Precipitación máxima en 24 horas (mm)</b>						<b>Lon:</b>	<b>70° 10'</b>	<b>Prov.:</b>	<b>Rioja</b>				
<b>Meses/Años</b>	<b>Ene</b>	<b>Feb</b>	<b>Mar</b>	<b>Abr</b>	<b>May</b>	<b>Jun</b>	<b>Jul</b>	<b>Ago</b>	<b>Sep</b>	<b>Oct</b>	<b>Nov</b>	<b>Dic</b>	<b>Max</b>	
1976	52.4	35.5	33	25.2	31.4	30.6	7.9	23	49.6	40	61.7	31.3	61.7	
1977	23.2	44.4	34.5	51.8	26.5	33.7	13.8	22.2	13.6	52.8	54.9	47.2	54.9	
1978	17.7	36.1	36.2	28.6	43.2	9.2	15.2	30	42.4	45.4	72.6	39.3	72.6	
1979	24.8	16.2	50.9	17.9	42.8	19.4	33.4	30.5	58.6	54	68.4	39.7	68.4	
1980	32	68	59	30	20	30.3	45	26	17.6	25.8	64	56.6	68.0	
1981	30.7	70	75	46.8	65	54.7	4.6	20	0	54	48.2	30.3	75.0	
1982	27.2	59	42.4	25.4	36	30	27	10	38	21.2	90.6	35	90.6	
1983	24.6	48.6	46.4	30.6	28	35.4	15.8	15	19	37.6	69.4	32.65	69.4	
1984	25.9	53.8	44.4	28	32	32.7	21.4	12.5	28.5	29.4	80	33.83	80.0	
1985	25.3	51.2	45.4	29.3	30	34.05	18.6	13.75	23.75	33.5	74.7	33.24	74.7	
1986	25.6	41.5	90	28.65	31	10.7	10.6	17.4	75.1	48.7	80.5	47.1	90.0	
1987	30	39.2	36.4	85.7	40.3	20.6	30	28.7	24.1	53.5	73.8	27	85.7	
1988	60.5	20.5	75.6	60	11.2	20	6	21.5	14	30.5	100.1	53.5	100.1	
1989	44.0	41.2	57.0	39.8	25.7	29.5	9.5	19.0	32.7	40.5	23.0	16.0	57.0	
1990	28.8	100.0	76.7	36.5	15.1	15.5	27.5	33.4	43.0	20.1	21.5	25.5	100.0	
1991	13.2	60.0	69.0	69.0	60.0	66.5	10.5	26.6	34.5	27.2	32.2	24.5	69.0	
1992	30.3	36.3	61.2	40.5	13.0	12.7	28.2	18.5	27.6	53.4	33.5	31.3	61.2	
1993	21.5	49.5	53.7	35.1	44.0	13.6	15.5	11.9	37.0	29.5	52.0	21.2	53.7	
1994	17.7	36.5	58.6	36.7	50.5	26.0	25.6	8.4	22.7	98.5	66.3	43.7	98.5	
1995	59.1	37.0	74.8	29.5	40.0	21.3	35.2	13.8	29.3	14.5	27.0	46.3	74.8	
1996	32.8	16.5	22.0	37.2	22.3	9.9	17.6	29.2	30.3	36.1	18.0	30.2	37.2	
1997	43.6	70.3	78.0	52.2	30.8	9.0	3.6	15.3	27.2	25.7	37.5	43.4	78.0	
1998	23.7	29.5	72.4	86.5	30.3	16.1	6.8	21.0	13.1	70.6	43.2	18.1	86.5	

ESTACIÓN RIOJA														
<b>Estación:</b>	<b>Rioja</b>						<b>Lat:</b>	<b>06° 02'</b>	<b>Dpto.:</b>	<b>San Martín</b>				
<b>Parámetro:</b>	<b>Precipitación máxima en 24 horas (mm)</b>						<b>Lon:</b>	<b>70° 10'</b>	<b>Prov.:</b>	<b>Rioja</b>				
<b>Meses/Años</b>	<b>Ene</b>	<b>Feb</b>	<b>Mar</b>	<b>Abr</b>	<b>May</b>	<b>Jun</b>	<b>Jul</b>	<b>Ago</b>	<b>Sep</b>	<b>Oct</b>	<b>Nov</b>	<b>Dic</b>	<b>Max</b>	
1999	54.0	45.8	31.1	13.2	48.5	14.1	22.1	33.0	12.0	63.6	22.0	22.1	63.6	
2000	34.0	34.5	28.2	32.1	35.1	4.8	26.6	18.3	35.9	9.0	17.9	45.0	45.0	
2001	13.9	40.2	33.8	38.6	30.5	13.5	11.4	12.4	38.2	70.5	40.2	71.3	71.3	
2002	50.9	22.2	27.8	55.2	31.2	7.9	22.5	22.2	29.8	77.5	21.5	18.2	77.5	
2003	33.8	24.8	119.4	33.9	27.6	21.5	12.7	20.6	34.6	65.2	82.4	111.5	119.4	
2004	11.8	16.7	50.2	60.8	35.2	6.0	8.7	47.2	32.4	55.3	35.4	47.6	60.8	
2005	34.8	55.4	38.7	43.5	17.6	13.7	19.8	12.3	11.7	43.2	41.3	72.3	72.3	
2006	10.9	84.3	25.9	19.0	21.2	22.8	26.0	40.8	13.4	13.2	26.3	35.3	84.3	
2007	22.7	23.0	31.2	98.6	65.1	3.7	100.0	32.7	54.3	43.8	57.3	31.2	100.0	
2008	26.5	23.5	42.5	25.5	68.3	30.2	35.2	17.8	22.1	47.7	36.2	22.4	68.3	
2009	29.9	24.7	52.0	54.3	25.9	15.3	7.5	31.5	29.3	13.9	20.5	38.2	54.3	
2010	14.8	38.6	28.7	90.2	21.6	9.5	40.3	5.3	21.7	21.4	35.3	48.6	90.2	
2011	40.8	49.2	54.6	11.5	29.6	11.8	15.6	37.2	12.3	99.2	35.3	46.2	99.2	
2012	65.0	32.3	76.5	94.3	30.4	14.4	8.2	24.3	14.2	41.0	49.7	48.2	94.3	
2013	53.0	52.5	61.0	44.2	28.6	24.5	16.0	29.7	67.5	26.3	69.3	17.4	69.3	
2014	50.8	63.3	59.3	91.6	47.0	30.4	45.6	23.4	45.2	47.1	48.0	43.4	91.6	
2015	32.4	41.6	68.3	51.3	50.9	10.7	27.4	37.1	15.7	42.5	69.9	33.3	69.9	
2016	12.7	61.7	52.8	32.3	32.4	11.7	4.9	14.6	48.3	55.8	89.2	43.3	89.2	
2017	40.4	152.4	43.1	43.1	44.9	28.8	18.6	26.6	24.2	28.4	18.8	14.8	152.4	
2018	25.7	55.2	24.1	70.5	31.6	25.8	22.3	26.2	73.1	44.7	35.6	18.7	73.1	
2019	34.2	69.2	24.2	26.7	28.1	25.2	30.6	23.2	59.1	26.1	48.6	32.5	69.2	
2020	60.4	13.2	48.4	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	60.4	
2021	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	54.0	54.0	
2022	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	31.0	35.5	16.5	35.5	
2023	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	3.8	8.8	32.0	9.4	22.4	32.0	

Nota. SENAMHI

**Figura 42**

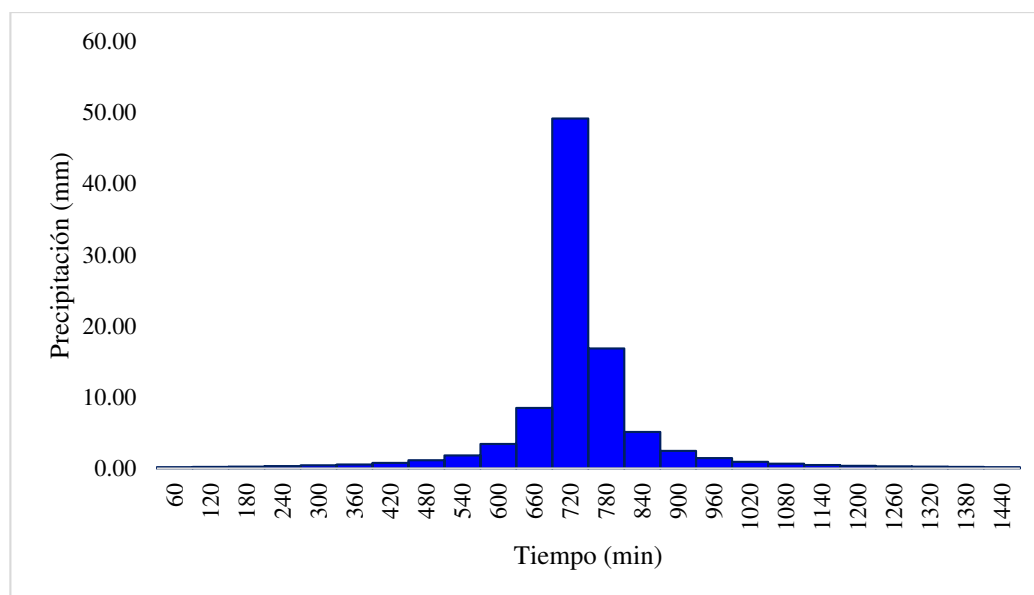
*Hietograma de la estación Naranjillo para P 50%*



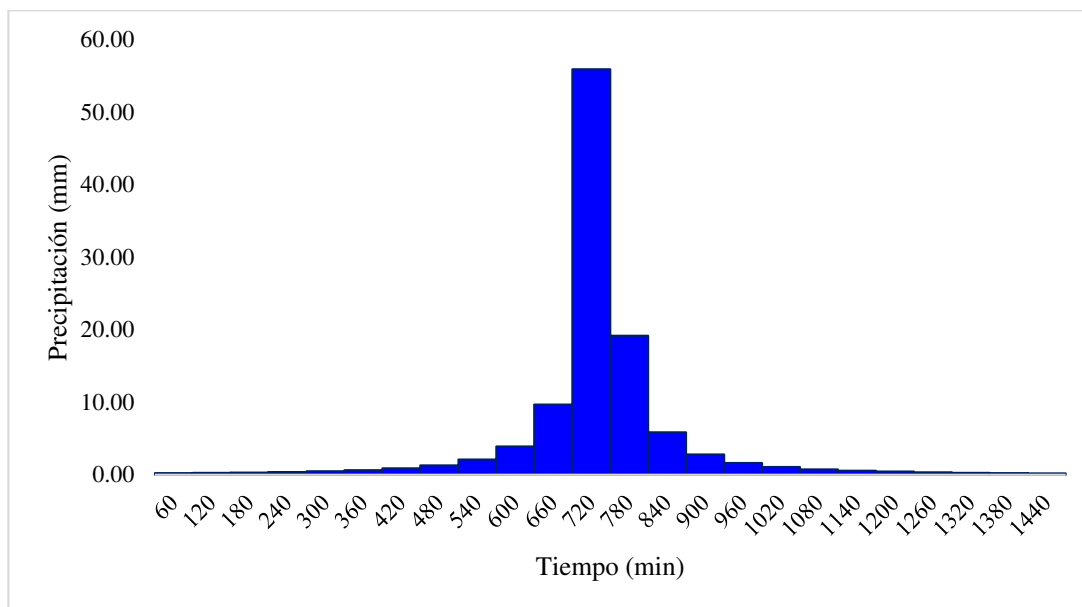
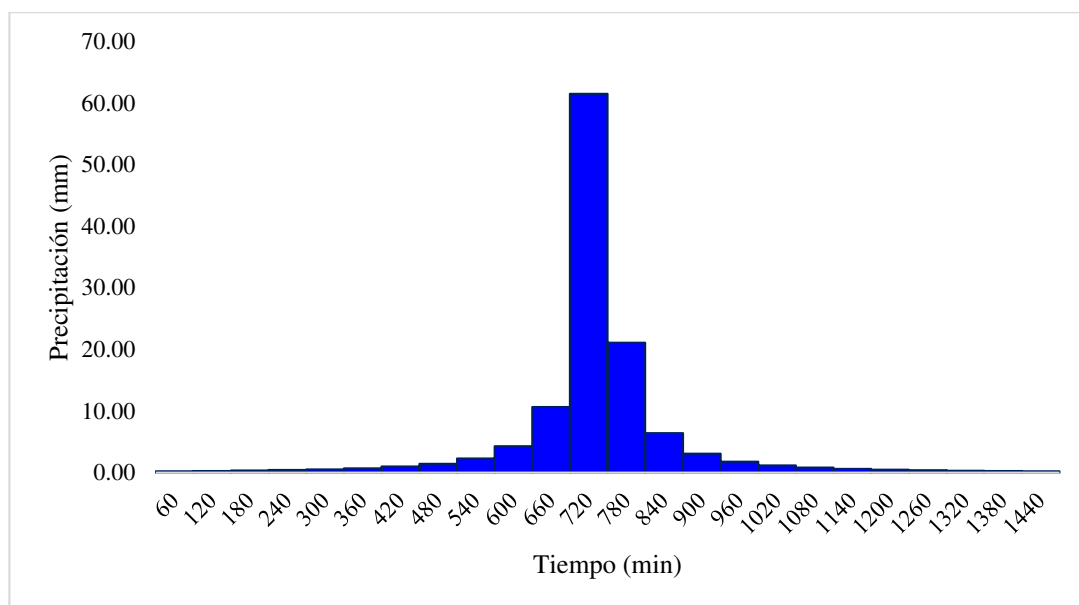
*Nota.* Elaboración propia

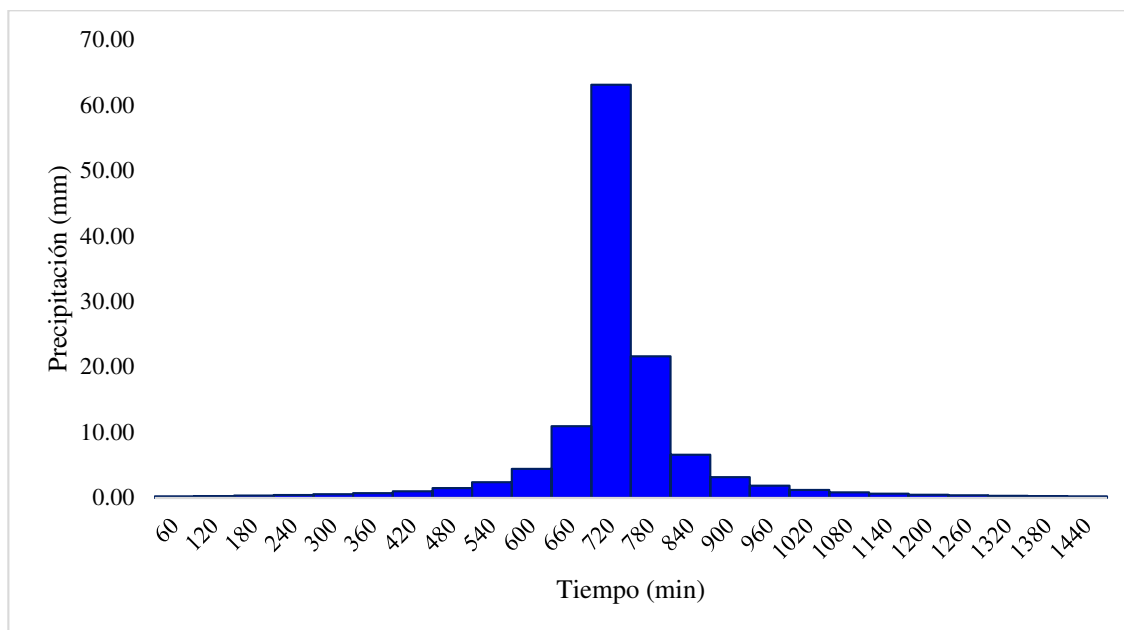
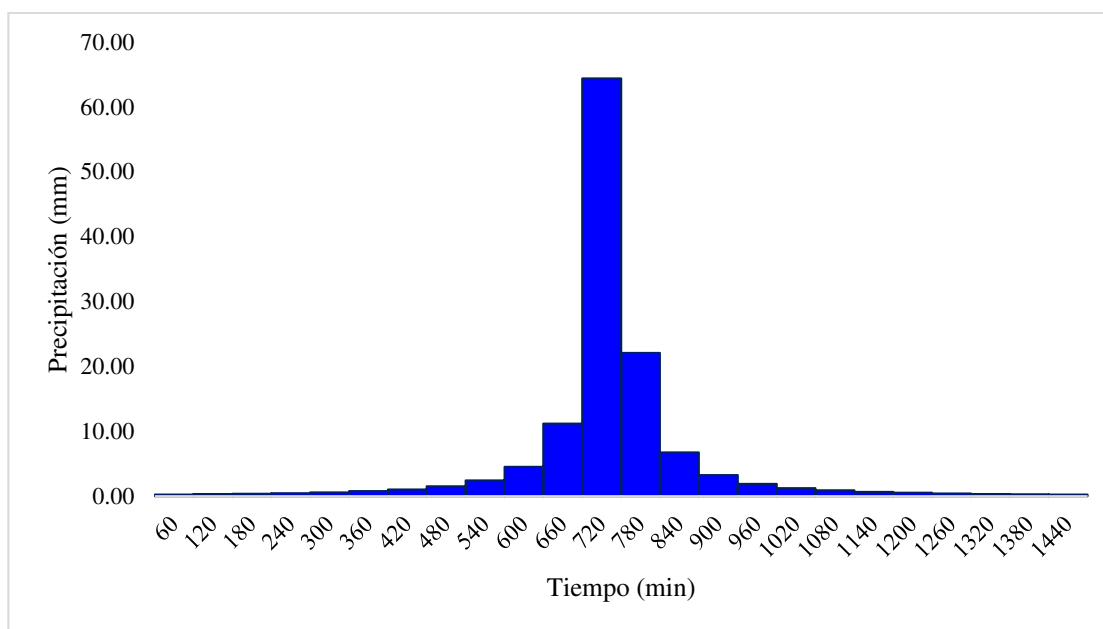
**Figura 43**

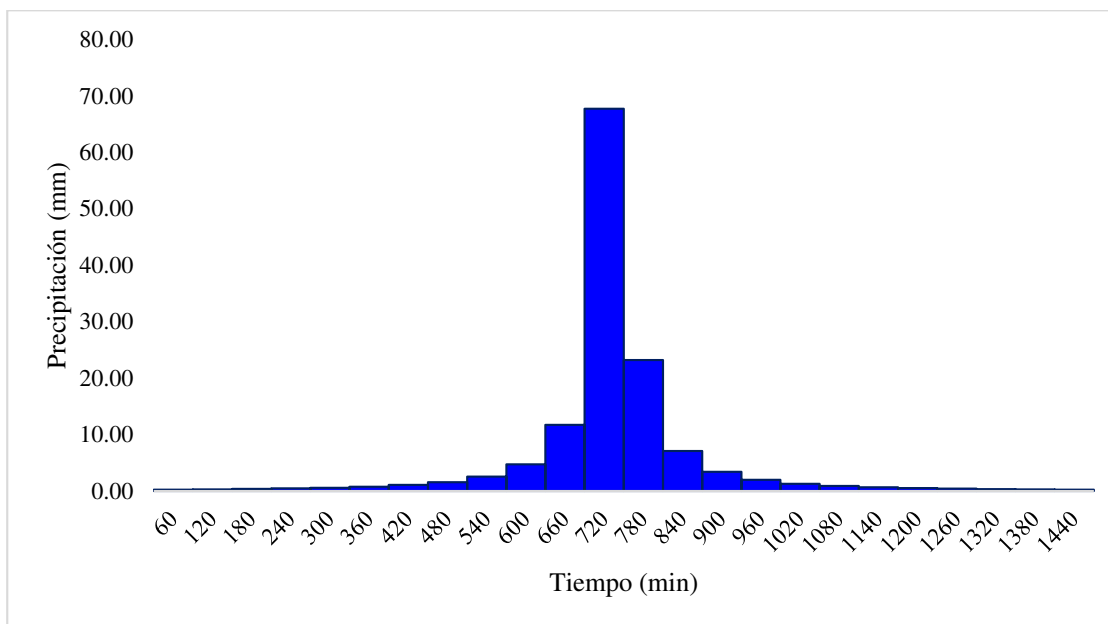
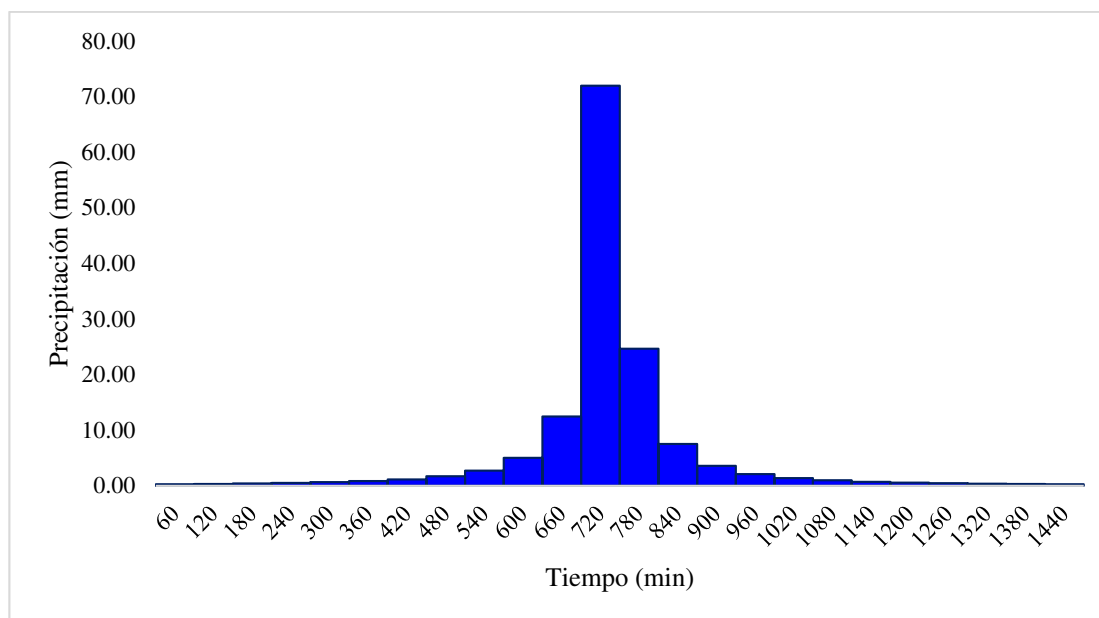
*Hietograma de la estación Naranjillo para P 20%*

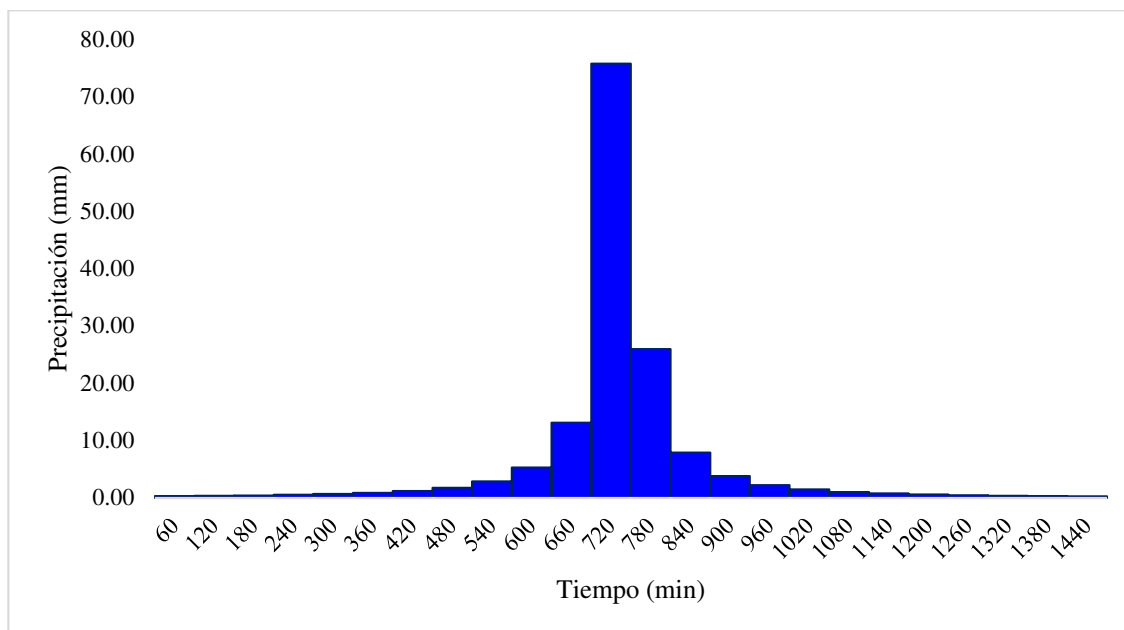
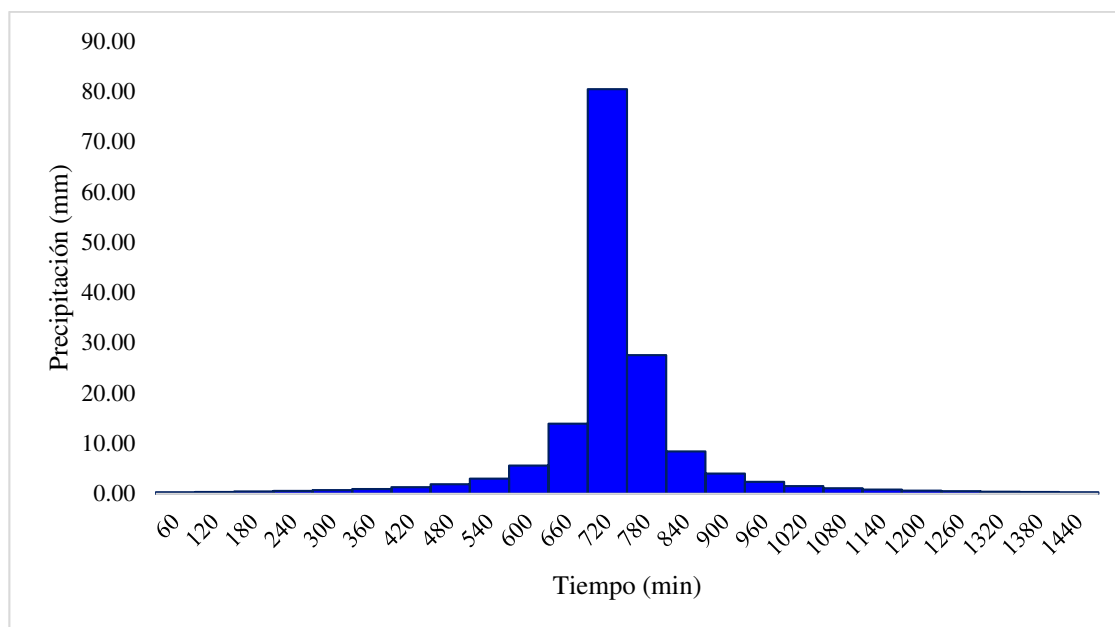


*Nota.* Elaboración propia

**Figura 44***Hietograma de la estación Naranjillo para P 10%**Nota. Elaboración propia***Figura 45***Hietograma de la estación Naranjillo para P 5%**Nota. Elaboración propia*

**Figura 46***Hietograma de la estación Naranjillo para P 4%**Nota.* Elaboración propia**Figura 47***Hietograma de la estación Naranjillo para P 3.3%**Nota.* Elaboración propia

**Figura 48***Hietograma de la estación Naranjillo para P 2%**Nota. Elaboración propia***Figura 49***Hietograma de la estación Naranjillo para P 1%**Nota. Elaboración propia*

**Figura 50***Hietograma de la estación Naranjillo para P 0.5%**Nota.* Elaboración propia**Figura 51***Hietograma de la estación Naranjillo para P 0.2%**Nota.* Elaboración propia

**Tabla 28**Teoría de errores para un caudal de 175.5 m<sup>3</sup>/s

<b>Probabilidad</b>	<b>Calculado</b>	<b>Calibrado</b>	<b>Observado</b>	<b>Error Relativo</b>	<b>Error Porcentual</b>
50	31.6	88.8	175.5	0.4940	49.4%
20	94.7	198.8	175.5	0.1328	13.3%
10	122.5	213	175.5	0.2137	21.4%
5	181	176.8	175.5	0.0074	0.7%
4	194	206.9	175.5	0.1789	17.9%
3.3	204.5	173.8	175.5	0.0097	1.0%
2	232.9	163.2	175.5	0.0701	7.0%
1	269.9	185.8	175.5	0.0587	5.9%
0.5	297.4	267.5	175.5	0.5242	52.4%
0.2	350.2	310.1	175.5	0.7670	76.7%

*Nota.* Elaboración propia**Tabla 29**Teoría de errores para un caudal de 24.2 m<sup>3</sup>/s

<b>Probabilidad</b>	<b>Calculado</b>	<b>Calibrado</b>	<b>Observado</b>	<b>Error relativo</b>	<b>Error porcentual</b>
50	31.6	18.8	24.2	0.2231	22.31
20	94.7	73.8	24.2	2.0496	204.96
10	122.5	109.2	24.2	3.5124	351.24
5	181	150.5	24.2	5.2190	521.90
4	194	163.1	24.2	5.7397	573.97
3.3	204.5	174.4	24.2	6.2066	620.66
2	232.9	207.1	24.2	7.5579	755.79
1	269.9	238.3	24.2	8.8471	884.71
0.5	297.4	271.2	24.2	10.2066	1020.66
0.2	350.2	310.3	24.2	11.8223	1182.23

*Nota.* Elaboración propia

**Tabla 30***Teoría de errores para un caudal de 55.4 m<sup>3</sup>/s*

<b>Probabilidad</b>	<b>Calculado</b>	<b>Calibrado</b>	<b>Observado</b>	<b>Error relativo</b>	<b>Error porcentual</b>
50	37.7	44.7	55.4	0.19	19.3
20	107.9	54.9	55.4	0.01	0.9
10	136.5	107.3	55.4	0.94	93.7
5	201.4	150.2	55.4	1.71	171.1
4	215.3	165.1	55.4	1.98	198.0
3.3	226.5	174.4	55.4	2.15	214.8
2	256.9	206.2	55.4	2.72	272.2
1	296.3	238.2	55.4	3.30	330.0
0.5	324.8	208.5	55.4	2.76	276.4
0.2	381.4	310.3	55.4	4.60	460.1

*Nota.* Elaboración propia